

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE
SİSTEMLERİN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Alperen ÖRGEV

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE
SİSTEMLERİN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ahmet Alperen ÖRGEV
(501211001)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER

HAZİRAN 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF SPECIAL
CONCENTRICALLY BRACED FRAME SYSTEMS WITH HIGH DUCTILITY**

M.Sc. THESIS

**Ahmet Alperen ÖRGEV
(501211001)**

Department of Civil Engineering

Structural Engineering Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Cüneyt VATANSEVER

JUNE 2024



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501211001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet Alperen ÖRGEV, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMLERİN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Haluk Emre ALÇİÇEK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Edip SEÇKİN
İstanbul Kültür Üniversitesi

Teslim Tarihi : 24 Mayıs 2024
Savunma Tarihi : 26 Haziran 2024





Aileme,



ÖNSÖZ

Öncelikle desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem, babam ve kardeşlerime teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim sürecince her türlü bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan, beni yönlendiren danışman Hocam Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda yardım ve desteklerini esirgemeyen Dr. Selahattin AKALP, Murat ÇELİK ve Pelin OKUTAN'a teşekkür ederim. Tüm süreç boyunca destek olan arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Boğaziçi Üniversitesi'nde çalışmış olduğum süre boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili çalışma arkadaşlarıma ve sayın hocalarıma da teşekkürlerimi sunarım.

TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2211-Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında aldığım destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Haziran 2024

Ahmet Alperen ÖRGEV
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
SEMBOLLER	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ	xxiii
ŞEKİL LİSTESİ	xxxi
ÖZET	xxxv
SUMMARY	xxxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. PROJE VE YAPI HAKKINDA GENEL BİLGİLER	5
2.1 Proje Bilgileri	5
2.2 Bina Taşıyıcı Sistemi	5
2.2.1 Tali kirişlerin yerleşimi	7
2.2.2 Kat planı ve sistem enkesitleri	8
2.3 Döşeme Sisteminin Belirlenmesi	11
2.3.1 Trapez profilli sac levha seçimi	11
2.3.2 Betonarme döşeme hesabı	14
2.3.3 Sabit ve hareketli yüklerin belirlenmesi	18
2.4 Yapıların SAP2000 Yapısal Analiz Programında Modellenmesi	20
3. YATAY ETKİLERİN BELİRLENMESİ	23
3.1 Deprem Yükleri	23
3.1.1 Bina kullanım sınıfının belirlenmesi	24
3.1.2 Deprem tasarım sınıfının belirlenmesi	25
3.1.3 Bina yükseklik sınıfı	29
3.1.4 Düzensizliklerin kontrolü	29
3.1.5 Bina performans hedefinin belirlenmesi	33
3.1.6 Eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması	34

3.1.6.1 Yapıların hakim doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi	35
3.1.6.2 Depreme katılan yapı kütlelerinin belirlenmesi	36
3.1.6.3 Deprem yükü azaltma katsayısının belirlenmesi.....	37
3.1.6.4 Toplam yatay eşdeğer deprem yükü hesabı	38
3.1.7 Düşey deprem etkisinin belirlenmesi	43
3.1.8 Yatay deprem etkilerinin etki noktaları.....	44
3.2 Rüzgar Etkilerinin Belirlenmesi	44
3.3 Yük Birleşimlerinin Belirlenmesi.....	52
4. BİNA TAŞIYICI SİSTEMİNLERİNİN YAPISAL ANALİZİ	57
4.1 Etkin Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü	57
4.2 İkinci Mertebe Etkiler.....	61
5. YAPILARIN TASARIMI.....	63
5.1 Tali Kirişlerin Boyutlandırılması	63
5.1.1 Enkesit koşulları kontrolü	65
5.1.2 Tasarım kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi.....	67
5.1.3 Tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi.....	67
5.1.4 Kullanılabilirlik sınır durumu kontrolü	68
5.2 Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Çaprazlarının Boyutlandırılması.....	69
5.2.1 X doğrultusunda hesap	70
5.2.1.1 Enkesit koşulu kontrolü.....	71
5.2.1.2 Gerekli dayanımlar	71
5.2.1.3 Tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı	73
5.2.1.4 Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı.....	74
5.2.1.5 Etki/kapasite oranları.....	76
5.2.2 Y doğrultusunda hesap	77
5.3 Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Kolonlarının Boyutlandırılması	79
5.3.1 X doğrultusunda hesap	80
5.3.1.1 Çaprazların beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.....	81
5.3.1.2 Kolonlarda mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetler	85
5.3.1.3 Gerekli dayanımların belirlenmesi	89
5.3.1.4 Enkesit koşulu kontrolü.....	91
5.3.1.5 Tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi.....	92
5.3.1.6 Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı.....	93
5.3.1.7 Etki/kapasite oranları.....	94
5.3.2 Y doğrultusunda hesap	96

5.3.2.1 Çaprazların beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları	96
5.3.2.2 Etki/kapasite oranları	98
5.4 Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması	100
5.4.1 TBDY 2018'e göre boyutlandırma	101
5.4.1.1 X doğrultusunda hesap	101
5.4.1.2 Y doğrultusunda hesap	111
5.4.2 Roeder ve diğ. yöntemi	113
5.4.2.1 X doğrultusunda hesap	114
5.4.2.2 Gerekli dayanımlar	115
5.4.2.3 Etki/kapasite oranları	116
5.4.2.4 Y doğrultusunda hesap	118
5.4.3 Çerçeve kütlelerinin karşılaştırılması.....	120
5.5 Sadece Düşey Yükleri Taşıyan Çerçeve Kolonlarının Boyutlandırılması	121
5.5.1 Gerekli dayanımların belirlenmesi.....	121
5.5.2 Enkesit koşulu kontrolü	122
5.5.3 Tasarım eksenel basınç dayanımının belirlenmesi.....	123
5.5.3.1 Eğilmeli burkulma sınır durumu	123
5.5.3.2 Eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu	123
5.5.4 Etki/kapasite oranları	124
5.6 Sadece Düşey Yükleri Taşıyan Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması	125
5.6.1 Gerekli dayanımların belirlenmesi.....	126
5.6.2 Enkesit koşulu kontrolü	127
5.6.3 Tasarım kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi.....	127
5.6.4 Tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi.....	128
5.6.5 Kullanılabilirlik sınır durumunun kontrolü.....	128
5.7 Birleşimlerin Tasarımı.....	128
5.7.1 Çapraz-kiriş-kolon birleşimi	134
5.7.2 Çapraz-kiriş birleşimi.....	139
6. YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ	141
6.1 Yapı Elemanlarının Davranış Modellerinin Oluşturulması ve Plastik Şekil Değiştirme Sınırlarının Belirlenmesi	142
6.1.1 Merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları	144
6.1.1.1 Çekme kuvveti etkisi altında hesap.....	147
6.1.1.2 Basınç kuvveti etkisi altında hesap	149
6.1.2 Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları	152

6.1.2.1 Minimum eksenel basınç kuvveti etkisi altında hesap	156
6.1.2.2 Maksimum eksenel basınç kuvveti etkisi altında hesap.....	159
6.1.3 Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri	163
6.2 Deprem Yer Hareketi İvme Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklenmesi	165
6.3 Yapıların Perform3D Analiz Programında Modellenmesi.....	172
6.4 Doğrusal Olmayan İtme Analizi.....	177
6.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	180
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	189
7.1 Sonuçlar.....	189
7.2 Öneriler.....	191
KAYNAKLAR.....	193
ÖZGEÇMİŞ.....	195

KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
ÇYTHYE	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar
DGT	: Dayanıma göre tasarım
DTS	: Deprem tasarım sınıfı
GÖ	: Göçme öncesi hasar
KH	: Kontrollü hasar
KH	: Kontrollü hasar
SH	: Sınırlı hasar
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDTH	: Türkiye Deprem Tehlike Haritaları
TS	: Türk Standartları
YDKT	: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemi



SEMBOLLER

A_e	: Etkin net enkesit alanı
A_g	: Kayıpsız enkesit alanı
A_{gv}	: Kayma gerilmesi etkisindeki kayıpsız enkesit alanı
A_n	: Net enkesit alanı
A_{nt}	: Çekme etkisindeki net alan
A_{nv}	: Kayma gerilmesi etkisindeki net alan
A_w	: Tüm enkesit yüksekliği ile hesaplanan gövde alanı
A_{we}	: Etkin kaynak alanı
B	: Kutu enkesitli elemanın birleşim düzlemine dik genişliği
B_2	: İkinci mertebe yer değiştirmelerin birinci mertebe yer değiştirmelere oranı olan katsayı
C_a	: Gerekli eksenel kuvvet dayanımının tasarım eksenel kuvvet dayanımına oranı
C_{dir}	: Rüzgar hızının temel değerinin doğrultu katsayısı
C_e	: Maruz kalma katsayısı
C_o	: Orografi katsayısı
C_{pe}	: Dış basınç katsayısı
$C_{pe,1}$	: $1m^2$ yüklenmiş yapı alanı için dış basınç katsayısı
$C_{pe,10}$	: $10m^2$ yüklenmiş yapı alanı için dış basınç katsayısı
C_{pi}	: İç basınç katsayısı
C_r	: Engebelilik katsayısı
C_{season}	: Rüzgar hızının temel değerinin mevsim katsayısı
C_t	: Ampirik hkaim doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
C_{v1}	: Gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
e	: %5'lik ek dışmerkezlik
E	: Yapısal çelik elastisite modülü
e_b	: Kirişin ağırlık merkezi ile başlık yüzü arasındaki uzunluk
e_c	: Kolonun ağırlık merkezi ile başlık yüzü arasındaki uzunluk
E_d^H	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi

E_d^Z	: Tasarıma esas düşey deprem etkisi
E_{emh}	: Mekanizma durumuna karşılık gelen yatay deprem etkisi
F_1	: 1 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
F_{cre}	: Beklenen (olası) akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesi
F_e	: İlgili doğrultuda eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi
F_{ez}	: Burulmalı burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi
F_{iE}	: Herhangi bir katın kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_{nw}	: Kaynak metali karakteristik gerilmesi
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_u	: Yapı çeliğinin karakteristik çekme gerilmesi
F_y	: Yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesi
F_{ye}	: Yapı çeliğinin beklenen (olası) akma gerilmesi
G	: Sabit yük etkisi
G	: Yapısal çelik kayma modülü [MPa]
H	: Kutu enkesitli elemanın birleşim düzlemine paralel yüksekliği
H	: Yatay zemin itkisi etkisi
H_d	: Mekanizma durumunda kirişte oluşacak yatay bileşke kuvvet
H_i	: Tasarlanan yapının üst yapı bölümünde herhangi bir katın zeminden itibaren yüksekliği
h_i	: Yapının herhangi bir katının kat yüksekliği
H_N	: Bina yüksekliği
h_r	: Trapez çelik sac hadve yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
K	: Burkulma boyu katsayısı
k_I	: Türbülans katsayısı
k_r	: Arazi katsayısı
l_c	: Çapraz elemanın uzunluğu
l_v	: Türbülans şiddeti
l_w	: Whitmore kesiti uzunluğu
M_a	: Gerekli eğilme momenti dayanımı
M_{Emh}	: Mekanizma durumunda ilgili elemanda meydana eğilme momenti
m_i	: Herhangi bir katın toplam kütlesi
M_n	: Karakteristik eğilme momenti dayanımı

M_p	: Karakteristik plastik eğilme dayanımı
M_{pe}	: Beklenen (olası) plastik moment kapasitesi
m_t	: Tasarlanan yapının toplam kütlesi
n	: Hareketli yük kütle katılım katsayısı
P_1	: Beklenen (olası) eksenel basınç kuvveti dayanımı
P_2	: Burkulma sonrası beklenen (olası) eksenel basınç kuvveti dayanımı
P_a	: Gerekli eksenel basınç kuvveti dayanımı
P_{ce}	: Çelik elemanın beklenen (olası) eksenel basınç kuvveti dayanımı
P_d	: Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı
$P_{e,kat}$	: Ele alınan yanal yer değiştirme doğrultusunda ilgili kata ait elastik burkulma yükü
P_{Emh}	: Mekanizma durumunda ilgili elemanda meydana gelen eksenel basınç kuvveti
P_{kat}	: İlgili katın tüm düşey taşıyıcı elemanlarına etiyen toplam düşey yük
P_{mf}	: Ele alınan doğrultuda yer alan moment aktaran çerçevelerin kat kolonlarına etkiyen toplam düşey yük
P_n	: Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı
P_u	: YDKT yük birleşimi altında gerekli eksenel basınç kuvveti dayanımı
P_{ue}	: Çelik ekemanın beklenen (olası) çekme dayanımı
P_y	: Akma sınır durumunda eksene kuvvet dayanımı
P_{ye}	: Çelik elemanın beklenen (olası) akma dayanımı
Q	: Genelleştirilmiş beklenen (olası) dayanım
Q	: Genelleştirilmiş iç kuvvet
Q	: Hareketli yük etkisi
q_p	: Tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_M	: P-δ'nın P-Δ üzerindeki etkisini göz önüne alan katsayı
R_t	: Beklenen (olası) çekme dayanımının karakteristik çekme dayanımına oranı
R_y	: Beklenen (olası) akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
S	: Kar yükü etkisi
S_1	: 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{ae}	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
S_{aR}	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S_{aR}	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi

S_{d1}	: 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{ds}	: Kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T	: Beklenen (olası) aksenal çekme kuvveti dayanımı
T_a	: Gerekli aksenal çekme kuvveti dayanımı
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_d	: Tasarım çekme kuvveti dayanımı
T_{Emh}	: Mekanizma durumunda ilgili elemanda meydana gelen aksenal çekme kuvveti
T_i	: İlgili doğrultu için yapının hakim doğal titreşim periyodu
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_n	: Karakteristik çekme kuvveti dayanımı
T_p	: Binanın hakim doğal titreşim periyodu
t_p	: Birleşimde teşkil edilen düğüm noktası levhasının kalınlığı
T_{pA}	: Ampirik hakim doğal titreşim periyodu
U	: Gerilme düzensizliği etki katsayısı
U_{bs}	: Blok kırılma sınır durumunda çekme gerilmeleri yayılımını göz önüne alan azaltma katsayısı
u_i	: Herhangi bir katta meydana gelen toplam yatay yer değiştirme
V_a	: Gerekli kesme kuvveti dayanımı
V_b	: Esas rüzgar hızı
$V_{b,0}$	: Rüzgar hızının temel değeri
V_d	: Mekanizma durumunda kırışte oluşacak düşey bileşke kuvvet
V_{Emh}	: Mekanizma durumunda ilgili elemanda meydana gelen kesme kuvveti
v_m	: Belirli yükseklikteki ortalama rüzgar hızı
V_n	: Karakteristik kesme kuvveti dayanımı
$(V_s)_{30}$	: Zeminin üst 30 metresindeki ortalama kayma dalgası hızı
V_t	: İtme analizi sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti
V_{tE}	: Toplam yatay eşdeğer deprem yükü
w	: Bina yüzeyine etkiyecek toplam rüzgar yükü
w_e	: Dış rüzgar basıncı
w_i	: İç rüzgar basıncı
W_p	: Plastik mukavemet momenti
w_r	: Trapez çelik sac ortalama hadve genişliği

z_0	: Engebelilik uzunluğu
$z_{0,II}$	: Arazi kategorisi II için engebelilik uzunluğu
z_e	: Dış basınç için referans yükseklik
z_i	: İç basınç için referans yükseklik
Δ	: Genelleştirilmiş yer değiştirme
Δ_c	: Çelik elemanın eksenel basınç dayanımına karşı gelen akma yer değiştirmesi
ΔF_{NE}	: Tasarlanan binanın çatı katına etkitilen ek eşdeğer deprem yükü
ΔH	: Ele alınan doğrultuda, seçilen yatay yükler altında, sistem rijitliği kullanılarak hesaplanan birinci mertebe görelî kat ötelemesi
Δ_i	: İlgili doğrultuda herhangi bir katta meydana gelen azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\Delta_{i,ortalama}$	: İlgili doğrultuda herhangi bir katta meydana gelen ortalama azaltılmış görelî kat ötelemelerinin ortalaması
Δ_T	: Çelik elemanın eksenel çekme dayanımına karşı gelen akma yer değiştirmesi
δ_i	: Herhangi bir katta meydana gelen etkin görelî kat ötelemesi
η_{bi}	: İlgili doğrultuda herhangi bir kat için burulma düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: İlgili doğrultuda komşu katlar arası rijitlik düzensizliği katsayısı
θ	: Genelleştirilmiş dönme
θ_y	: Akma dönmesi
λ	: Etkin görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
λ_{hd}	: Süneklik düzeyi yüksek elemanlar için enkesit koşulu sınır değeri
λ_p	: Enkesit koşulu sınır değeri
λ_p	: Kompakt elemanlar için narinlik sınır değeri
λ_r	: Narin olmayan eleman için narinlik sınır değeri
ρ	: Fırtına esnasındaki hava yoğunluğu
ϕ_b	: Eğilme etkisi için dayanım katsayısı
ϕ_c	: Basınç kuvveti etkisi için dayanım katsayısı
ϕ_t	: Çekme kuvveti etkisi için dayanım katsayısı
ϕ_v	: Kesme kuvveti için dayanım katsayısı
κ	: Betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı değerlere sahip olmak üzere izin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında kullanılan katsayı



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : ALMETSAN çoklu açıklıklı ALDECK 50/980 tip trapez profil levha teknik özellikleri.....	13
Çizelge 2.2 : Seçilen trapez saca ait büyüklükler.	14
Çizelge 2.3 : Döşeme katmanlarına ait büyüklükler.....	14
Çizelge 2.4 : Döşeme açıklık ve mesnet kesitleri için gerekli donatı alanı.	17
Çizelge 2.5 : R188 tip hasır donatı özellikleri.	18
Çizelge 2.6 : Çatı katı döşemesinde ele alınan yükler.	18
Çizelge 2.7 : Normal kat döşemesinde ele alınan yükler.....	19
Çizelge 3.1 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.....	25
Çizelge 3.2 : Deprem yer hareketi düzeyleri DD-2 ve DD-3 için elde edilen ivme katsayıları.	27
Çizelge 3.3 : Deprem yer hareketi düzeyleri DD-2 ve DD-3 için elde edilen tasarım ivme katsayıları.	27
Çizelge 3.4 : Deprem tasarım sınıfları.....	28
Çizelge 3.5 : Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları.	29
Çizelge 3.6 : 12 katlı yapının X doğrultusunda A1 türü düzensizlik koşulu kontrolü.	31
Çizelge 3.7 : 12 katlı yapının Y doğrultusunda A1 türü düzensizlik koşulunun kontrolü.	31
Çizelge 3.8 : 12 katlı yapıda B2 türü düzensizlik koşulunun kontrolü.....	32
Çizelge 3.9 : 3, 6 ve 9 katlı bina için A1 düzensizlik koşulunun kontrolü.....	33
Çizelge 3.10 : 3, 6 ve 9 katlı bina için B2 düzensizlik koşulunun kontrolü.	33
Çizelge 3.11 : Deprem tasarım sınıflarına göre performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları.....	34
Çizelge 3.12 : Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar.	35
Çizelge 3.13 : 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılara ait hakim doğal titreşim periyotları.	35
Çizelge 3.14 : Binaların tasarımında ele alınacak en büyük periyot değerleri.	36
Çizelge 3.15 : Hareketli yük kütle katılım katsayısı.....	36
Çizelge 3.16 : 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılara ait toplam kat ve yapı kütleleri.	37
Çizelge 3.17 : Bina taşıyıcı sistemleri için R, D ve BYS.	38

Çizelge 3.18 : 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılar için deprem yüzü azaltma katsayısı	38
Çizelge 3.19 : 3 katlı yapı için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü.	39
Çizelge 3.20 : 6 katlı yapı için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü.	40
Çizelge 3.21 : 9 katlı yapı için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü.	40
Çizelge 3.22 : 12 katlı yapı için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü.	40
Çizelge 3.23 : 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılar için tasarım ve azaltılmış tasarım spektral ivme katsayıları.....	42
Çizelge 3.24 : Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri.....	47
Çizelge 3.25 : 12 katlı yapının D ve E yüzeyleri için dış basınç katsayıları.	48
Çizelge 3.26 : 12 katlı yapının D ve E yüzeyleri için net basınç katsayıları.	48
Çizelge 3.27 : 12 katlı yapı için net basınç katsayıları.	48
Çizelge 3.28 : 3 katlı yapıya etki eden rüzgar kuvveti.....	51
Çizelge 3.29 : 6 katlı yapıya etki eden rüzgar kuvveti.....	51
Çizelge 3.30 : 9 katlı yapıya etki eden rüzgar kuvveti.....	51
Çizelge 3.31 : 12 katlı yapıya etki eden rüzgar kuvveti.....	52
Çizelge 4.1 : DD-3 deprem düzeyi için elastik tasarım spektral ivmeleri ve λ katsayıları.	59
Çizelge 4.2 : 12 katlı yapının X doğrultusu için etkin görelî kat ötelemesi kontrolü.	59
Çizelge 4.3 : 12 katlı yapının Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemesi kontrolü.	59
Çizelge 4.4 : 3, 6 ve 9 katlı yapıların etkin görelî kat ötelemesi kontrolü.	60
Çizelge 5.1 : IPE330 enkesite ait karakteristik özellikler.	65
Çizelge 5.2 : 180x180x12.50 enkesite ait karakteristik özellikler.	71
Çizelge 5.3 : 12 katlı yapının X doğrultusunda çaprazlarda meydana gelen en elverişsiz eksenel çekme kuvveti.	72
Çizelge 5.4 : 12 katlı yapının X doğrultusunda çaprazlarda meydana gelen en elverişsiz eksenel basınç kuvveti.....	72
Çizelge 5.5 : 3 katlı yapının X doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.....	76
Çizelge 5.6 : 6 katlı yapının X doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.....	76
Çizelge 5.7 : 9 katlı yapının X doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.....	76
Çizelge 5.8 : 12 katlı yapının X doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.....	77
Çizelge 5.9 : 3 katlı yapının Y doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.....	78

Çizelge 5.10 : 6 katlı yapının Y doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.	78
Çizelge 5.11 : 9 katlı yapının Y doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.	78
Çizelge 5.12 : 12 katlı yapının Y doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.	79
Çizelge 5.13 : HD400x677 enkesite ait karakteristik özellikler.	81
Çizelge 5.14 : 3 katlı yapının X doğrultusu çaprazları için beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.....	83
Çizelge 5.15 : 6 katlı yapının X doğrultusu çaprazları için beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.....	83
Çizelge 5.16 : 9 katlı yapının X doğrultusu çaprazları için beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.....	83
Çizelge 5.17 : 12 katlı yapının X doğrultusu çaprazları için beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.....	84
Çizelge 5.18 : 12 katlı yapının X doğrultusunda Durum 1 için merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında oluşan iç kuvvetler.	88
Çizelge 5.19 : 12 katlı yapının X doğrultusunda Durum 2 için merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında oluşan iç kuvvetler.	89
Çizelge 5.20 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında düşey etkiler dolayısıyla oluşan iç kuvvetler.	90
Çizelge 5.21 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için gerekli dayanımlar.	91
Çizelge 5.22 : 3 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.....	94
Çizelge 5.23 : 6 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.....	94
Çizelge 5.24 : 9 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.....	95
Çizelge 5.25 : 12 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.	95
Çizelge 5.26 : 3 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.....	96
Çizelge 5.27 : 6 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.....	96
Çizelge 5.28 : 9 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.....	97
Çizelge 5.29 : 12 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.....	97
Çizelge 5.30 : 3 katlı yapının Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.....	98

Çizelge 5.31 : 6 katlı yapının Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.....	98
Çizelge 5.32 : 9 katlı yapının Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.....	99
Çizelge 5.33 : 12 katlı yapının Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.....	99
Çizelge 5.34 : HE600M enkesite ait karakteristik özellikler.	102
Çizelge 5.35 : TBDY 2018'e göre boyutlandırılan 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde mekanizma durumunda oluşan en elverişsiz iç kuvvetler.	103
Çizelge 5.36 : Düşey etkiler dolayısıyla 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde meydana gelen iç kuvvetler.	104
Çizelge 5.37 : TBDY 2018'e göre boyutlandırılan 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için gerekli dayanımlar.....	104
Çizelge 5.38 : 3 katlı yapının X doğrultusunda TBDY 2018'e göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	109
Çizelge 5.39 : 6 katlı yapının X doğrultusunda TBDY 2018'e göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	110
Çizelge 5.40 : 9 katlı yapının X doğrultusunda TBDY 2018'e göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	110
Çizelge 5.41 : 12 katlı yapının X doğrultusunda TBDY 2018'e göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	110
Çizelge 5.42 : 3 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018'e göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	111
Çizelge 5.43 : 6 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018'e göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	111
Çizelge 5.44 : 9 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018'e göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	112
Çizelge 5.45 : 12 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018'e göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	112
Çizelge 5.46 : Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde mekanizma durumunda oluşan en elverişsiz iç kuvvetler.	115

Çizelge 5.47 : Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için gerekli dayanımlar.....	115
Çizelge 5.48 : 3 katlı yapının X doğrultusunda Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	116
Çizelge 5.49 : 6 katlı yapının X doğrultusunda Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	117
Çizelge 5.50 : 9 katlı yapının X doğrultusunda Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	117
Çizelge 5.51 : 12 katlı yapının X doğrultusunda Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	117
Çizelge 5.52 : 3 katlı yapının Y doğrultusunda Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	118
Çizelge 5.53 : 6 katlı yapının Y doğrultusunda Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	119
Çizelge 5.54 : 9 katlı yapının Y doğrultusunda Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	119
Çizelge 5.55 : 12 katlı yapının Y doğrultusunda Roeder ve diğ. yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.	119
Çizelge 5.56 : TBDY 2018'e ve Roeder ve diğ. yöntemine göre tasarlanan çerçevelerin kütlelerinin karşılaştırılması.	120
Çizelge 5.57 : HE 300 M enkesite ait karakteristik özellikler.....	121
Çizelge 5.58 : 12 katlı yapının sadece düşey etkileri taşıyan çerçeve kolonları için gerekli dayanımlar.....	122
Çizelge 5.59 : 3 katlı yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.	124
Çizelge 5.60 : 6 katlı yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.	124
Çizelge 5.61 : 9 katlı yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.	124
Çizelge 5.62 : 12 katlı yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.	125
Çizelge 5.63 : IPE450 enkesite ait karakteristik özellikler.....	126
Çizelge 5.64 : Sadece düşey etkileri taşıyan çerçeve kirişlerinde gerekli dayanımlar.....	126

Çizelge 5.65 : 3 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.	131
Çizelge 5.66 : 6 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.	131
Çizelge 5.67 : 9 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.	131
Çizelge 5.68 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.	132
Çizelge 5.69 : 3 katlı yapının Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.	132
Çizelge 5.70 : 6 katlı yapının Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.	133
Çizelge 5.71 : 9 katlı yapının Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.	133
Çizelge 5.72 : 12 katlı yapının Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.	133
Çizelge 5.73 : Birleşim tasarımı için 180x180x12.50 enkesite ait gerekli karakteristik özellikler.....	134
Çizelge 5.74 : Birleşim tasarımı için HD 400x677 ve HE 600 M enkesitlere ait gerekli karakteristik özellikler.....	134
Çizelge 6.1 : R_y ve R_t katsayıları.	143
Çizelge 6.2 : Merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları için davranış modeli değişkenleri ve plastik şekil değiştirme sınırları.	144
Çizelge 6.3 : 160x160x14.20 enkesite ait karakteristik özellikler.....	146
Çizelge 6.4 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemi 6. kat çaprazının basınç etkisi altında davranış modeli değişkenleri ve plastik şekil değiştirme sınırları.	150
Çizelge 6.5 : Deprem etkisinde 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında oluşacak minimum ve maksimum basınç kuvveti değerleri.....	153
Çizelge 6.6 : Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için davranış modeli değişkenleri.	153
Çizelge 6.7 : Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için plastik dönme sınırları.	153
Çizelge 6.8 : HD400x463 enkesite ait karakteristik özellikler.	154

Çizelge 6.9 : 12 katlı yapının 1-C aksı üzerindeki 6. kat kolonunun minimum eksenel basınç kuvveti altında davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları.	157
Çizelge 6.10 : 12 katlı yapının 1-C aksı üzerinde yer alan 6. kat kolonunun maksimum eksenel basınç kuvveti altında davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları.	161
Çizelge 6.11 : HE 550 M enkesite ait karakteristik özellikler.	164
Çizelge 6.12 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemi 6. kat kirişlerinin davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları.	165
Çizelge 6.13 : Seçilen deprem yer hareketi ivme kayıtlarına ait bilgiler.	166
Çizelge 6.14 : Deprem yer hareketi ivme kayıtlarına ait ölçek faktörleri.	171
Çizelge 6.15 : SAP2000 ve Perform3D programlarında 3 katlı yapı için gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	175
Çizelge 6.16 : SAP2000 ve Perform3D programlarında 6 katlı yapı için gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	175
Çizelge 6.17 : SAP2000 ve Perform3D programlarında 9 katlı yapı için gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	175
Çizelge 6.18 : SAP2000 ve Perform3D programlarında 12 katlı yapı için gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	176
Çizelge 6.19 : Yapıların hakim doğal titreşim moduna ait kütle katılım oranları.	177
Çizelge 6.20 : İtme analizi sonuçlarına göre yapıların dayanım fazlalığı katsayıları.	180



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Şematik normal kat planı.....	6
Şekil 2.2 : Tali kirişlerin yerleşim doğrultusu için (a) birinci alternatif (b) ikinci alternatif.	7
Şekil 2.3 : Normal kat sistem planı.....	9
Şekil 2.4 : 1 ve 4 aksları sistem kesiti.....	9
Şekil 2.5 : 2 ve 3 aksları sistem kesiti.....	10
Şekil 2.6 : Sistem kesitleri (a) A ve H aksları (b) B, C, D, E, F ve G aksları.....	10
Şekil 2.7 : Ankraj minimum koşul sınırları.	12
Şekil 2.8 : ALDECK 50/980 kesiti (mm).	13
Şekil 2.9 : Trapez sac levha kesiti gösterimi.	13
Şekil 2.10 : Kat döşeme enkesiti.	14
Şekil 2.11 : Betonarme hesabı gerçekleştirilen döşeme.	15
Şekil 2.12 : Döşemeye etki eden yük.	15
Şekil 2.13 : Moment hesabı katsayıları.....	16
Şekil 2.14 : Döşeme moment diyagramı (kNm).	17
Şekil 2.15 : R188 tip hasır donatı kesiti.....	18
Şekil 2.16 : 12 katlı yapının 3 boyutlu SAP2000 yapısal analiz programı modeli.....	21
Şekil 2.17 : SAP2000 yapısal analiz programı modeline ait normal kat planı.	21
Şekil 2.18 : Kolonların yerleşim yönü.	22
Şekil 3.1 : Tasarlanan yapıların konumuna ait uydu görüntüsü.	23
Şekil 3.2 : AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası.....	24
Şekil 3.3 : Deprem yer hareketi düzeyi DD-2'ye ait yatay elastik tasarım spektrumu.	28
Şekil 3.4 : h ve b değerlerine bağlı hız kaynaklı rüzgar basıncı profilleri.....	49
Şekil 5.1 : Şematik döşeme gösterimi.	64
Şekil 5.2 : Döşemeden tali kirişe yük aktarımının şematik görseli.	65
Şekil 5.3 : Mekanizma durumu temsili gösterim.....	82
Şekil 5.4 : Çaprazların beklenen (olası) eksenel çekme kuvveti dayanımları (a) Durum 1 (b) Durum 2.....	85

Şekil 5.5 : Durum 1 için kolonlarda oluşacak etkiler.	86
Şekil 5.6 : Durum 2 için kolonlarda oluşacak etkiler.	87
Şekil 5.7 : Kirişte akmaya izin verilmesi durumunda mekanizma durumları (a) Durum 1 (b) Durum2.	114
Şekil 5.8 : Perform3D analiz programında tanımlanan rijit bölgelerin merkezi çaprazlı çelik çerçeve üzerinde temsili gösterimi.	129
Şekil 5.9 : Tasarlanan birleşimlere ait uzunlukların çerçeve üzerinde temsili gösterimi.....	130
Şekil 5.10 : Çapraz-kiriş-kolon birleşiminin tasarımında kullanılan değerlerin gösterimi.....	137
Şekil 5.11 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin 2. kat çapraz-kiriş-kolon birleşimi.	139
Şekil 5.12 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin 2. kat çaprazı ile 3. kat girişinin ortasında teşkil edilen çapraz- kiriş birleşimi.....	140
Şekil 6.1 : Elemanların gösterecekleri olası davranışlar (a) Tip 1 Eğrisi (b) Tip 2 Eğrisi (c) Tip 3 Eğrisi.....	142
Şekil 6.2 : Genelleştirilmiş kuvvet-şekil değiştirme eğrisi.	143
Şekil 6.3 : Merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazının genelleştirilmiş davranış modeli.....	146
Şekil 6.4 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemi 160x160x14.20 enkesitli 6. kat çaprazına ait davranış modeli ve plastik şekil değiştirme sınırları.	147
Şekil 6.5 : 12 katlı yapının 1-C aksı üzerindeki HD400x463 enkesitli 6. kat kolonunun davranış modeli.	156
Şekil 6.6 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin HE 550 M enkesitli 6. kat girişlerine ait davranış modeli.	165
Şekil 6.7 : Ölçeklenmemiş deprem yer hareketi ivme kayıtları (a) 1-H1 (b) 1-H2 (c) 2-H1 (d) 2-H2 (e) 3-H1 (f) 3-H2 (g) 4-H1 (h) 4-H2 (i) 5-H1 (j) 5-H2 (k) 6-H1 (l) 6-H2 (m) 7-H1 (n) 7-H2 (p) 8-H1 (r) 8-H2 (s) 9-H1 (t) 9-H2 (u) 10-H1 (v) 10-H2 (y) 11-H1 (z) 11-H2.....	167
Şekil 6.8 : DD-1, DD-2 ve 1.30xDD-1 için elde edilen tasarım spektrumları.....	170
Şekil 6.9 : DD-1 tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilen deprem yer hareketi ivme kayıtlarının spektrum eğrileri ve ortalama spektrum (a) 3 katlı yapı (b) 6 katlı yapı (c) 9 katlı yapı (d) 12 katlı yapı.	171
Şekil 6.10 : Perform3D analiz programında oluşturulan modeller (a) X doğrultusu (b) Y doğrultusu.....	173
Şekil 6.11 : Perform3D analiz programında gerçekleştirilen tanımlamalar.	174
Şekil 6.12 : 12 katlı yapıların X doğrultusu için itme analizi sonuçları (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.	178

Şekil 6.13 : 12 katlı yapıların Y doğrultusu için itme analizi sonuçları (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.....	178
Şekil 6.14 : Kesit hasar bölgeleri.....	181
Şekil 6.15 : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda TBDY 2018'e göre tasarlanan yapıların X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar düzeyi (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.....	182
Şekil 6.16 : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda TBDY 2018'e göre tasarlanan yapıların Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar düzeyi (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.....	183
Şekil 6.17 : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda Roeder ve diğ. yöntemine göre tasarlanan yapıların X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar düzeyi (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.....	183
Şekil 6.18 : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda Roeder ve diğ. yöntemine göre tasarlanan yapıların Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar düzeyi (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.....	184
Şekil 6.19 : Yapıların X doğrultusu için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen ortalama görelî kat ötelemesi oranları (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.....	187
Şekil 6.20 : Yapıların Y doğrultusu için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen ortalama görelî kat ötelemesi oranları (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.....	188



SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMLERİN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, çerçeve sistemini oluşturan elemanların eksenlerinin tek bir noktada birleştiği sistemlerdir. Yüksek yanal rijitliğe sahip oldukları için yatay etkileri karşılaması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde yatay etkiler, eksenel çekme kuvveti altındaki çapraz elemanın akması ve/veya eksenel basınç etkisi altındaki çaprazın burkulması ile sönümlenmektedir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde çapraz elemanlar, en elverişsiz içeren yük birleşimleri altında elde edilen eksenel kuvvetlere bağlı olarak boyutlandırılmaktadır. Çaprazların beklenen (olası) dayanımlarına ulaştığı mekanizma durumlarında sistemin diğer elemanları ve birleşimlerin elastik bölgede kalması beklenmektedir. Dolayısıyla çerçeve kolon ve kirişleri ile birleşimler, mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetleri içeren etkilere bağlı olarak boyutlandırılmaktadır.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde çaprazlar, diyagonal, X, V, ters V ve K olmak üzere farklı formlarda oluşturulabilmektedir. V ve ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemler büyük boşluklara imkan tanınması sebebiyle mimari açıdan tercih edilmesine karşılık mekanizma durumu dolayısıyla çerçeve kirişlerinde büyük dengelenmemiş kuvvetlere sebep olmaktadır. Bu durum da kirişte büyük eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti oluşumuna neden olmaktadır. Dolayısıyla gerekli dayanımın sağlanabilmesi amacıyla derin kiriş kullanılması zorunlu hale gelmektedir.

Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde akmaya izin verilmesinin, yapı performansına etkisi araştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda kirişin tasarımında farklı bir mekanizma durumunun ele alınmasıyla kirişte akmanın sağlanabileceği, bu durumun yapı performansını olumsuz etkilemeyeceği belirtilmektedir. Belirtilen mekanizma durumunda eksenel çekme etkisindeki çaprazda meydana gelecek iç kuvvet değeri, çaprazın burkulma dayanımı olarak alınmaktadır.

Tez çalışması kapsamında merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilerek yapıların deprem etkisi altındaki performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle Türkiye’de yürürlükte olan yönetmeliklerin gerektirdiği mekanizma durumlarına ve kirişte akmaya izin verilmesi durumuna karşılık gelen mekanizma durumlarına göre ayrı ayrı tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 olmak üzere, merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin uygulanabileceği bina yükseklik sınıfı gözetilerek 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapıların deprem etkisi altındaki performansları, bölgede meydana gelebilecek en büyük deprem yer hareketi düzeyine karşılık gelen DD-1 deprem düzeyine göre üç boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda yönetmeliklerin gerektirdiği mekanizma

durumuna göre tasarlanan yapı elemanlarında meydana gelen en büyük plastik şekil değiştirmelerin ortalama değeri göçme bölgesine geçmemiştir. Dolayısıyla deprem yer hareketi düzeyi DD-2'ye göre tasarlanan yapılar, deprem yer hareketi düzeyi DD-1 etkisi altında göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlamaktadır. Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde akmaya izin verilmesi durumuna göre tasarlanan yapılar için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde de yapıların benzer bir performans gösterdiği ve çerçeve elemanlarının hiçbirinde hasar düzeyinin göçme bölgesine geçmediği gözlenmiştir.



SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF SPECIAL CONCENTRICALLY BRACED FRAME SYSTEMS WITH HIGH DUCTILITY

SUMMARY

Special concentrically braced frames are systems where axes of the frame elements intersect at a single point on a beam. They are widely used as lateral load resisting systems due to their high lateral stiffness. In such systems, horizontal forces are dissipated by the yielding of braces under axial tension and/or the buckling of braces under axial compression.

Braces of special concentrically braced frames are configured in different forms, such as X, V, inverted V, and K. While V and inverted V braced frames are preferred because of allowing large architectural openings, they result in significant unbalanced forces in frame beams due to the capacity based design. This leads to high axial forces, shear forces, and bending moments in the beams. Consequently, the use of deep beams is necessary to ensure the required strength.

Recent studies have investigated the effect of allowing yielding in beams in inverted V braced frame systems on the seismic performance of the structure. They used smaller beams required according to capacity based design to allow beam yielding. Their experimental and numerical study shows that if beam sizes are decreased enough beams to yield, the tensile forces on braces under tension do not exceed the expected buckling strength of the braces because the vertical displacements at the midspan are increased. Therefore, the braces under tension do not yield. According to the obtained results, they propose this state as a new mechanism state allowing beams to yield. In this specified mechanism condition, the internal force value in the brace under axial tension is considered as the buckling strength of the brace. Moreover, it is indicated that allowing yielding in beams by considering the proposed design method for designing beams would not adversely affect the structural performance.

For this study, separate designs were carried out according to the mechanism states required by the current seismic code in Türkiye and the mechanism states corresponding for allowing beams to yield. Braces are designed based on the axial forces resulting under the most critical load combinations in special concentrically braced frame systems. When braces reach their expected strengths, it is expected that other elements and connections of the system remain in the elastic range. For this reason, the current seismic code in Türkiye requires to design of columns, beams, and connections of the braced frame according to smaller demands for mechanism states or the seismic load effect with an overstrength factor. On the other hand, revisions or new versions of codes worldwide require the design by using demands at mechanism states, which is called capacity-based design. Therefore, with the prediction of a new version of the current seismic codes in Türkiye becoming what the requirements of the codes worldwide are, the capacity-based design is adopted.

Within the scope of the thesis study, the seismic performance of special concentrically braced frame systems are evaluated through nonlinear time history analysis according to current seismic code in Türkiye. Therefore, 3, 6, 9, and 12 story buildings were designed for the earthquake ground motion 10% probability of exceedance in 50 years by considering building height limits. The buildings are located in Kadıköy, İstanbul. Soil class is considered as D. Buildings have 7 and 3 bays in the X and Y axes, respectively. All span lengths are 7m. Special concentrically braced frames are placed at the perimeter of the buildings. The story height is 3.5m. Therefore, buildings have 10.5, 21.5, 31.5 and 42m in height, respectively. All members of the system are sized with a demand capacity ratio close to 1.

Perform3D analysis program is adopted for nonlinear analysis. The backbone curves of the members are obtained according to the current seismic code in Türkiye. 2D representation for both X and Y axes is applied. Leaning column is adopted to consider the effects of the gravity frames on the system. P- Δ effects are considered for both leaning columns and frame columns. Leaning columns are modeled as elastic bar elements that have no lateral resistance. For braces, inelastic bar definition is adopted. Equal displacement constraints are defined between leaning columns and frame columns at all story levels. Moreover, the rigid zones caused by the height of the sections and connections are determined in the model.

Pushover analysis is applied to the Perform3D models. The results show that buildings designed according to capacity-based design and allowing beams to yield have similar behavior. The overstrength factor is given 2 for special concentrically braced frames in current seismic codes in Türkiye. The buildings allowing beams to yield have similar or higher overstrength factors, which vary between 2.26 and 2.83 compared with the buildings designed according to the current seismic code in Türkiye.

The seismic performances of buildings are evaluated by adopting nonlinear time-history analysis. Ground motion records are selected by considering the fault characteristics of the region buildings are designed. Therefore, the magnitudes of the selected ground motions are larger than 6.5 and the fault type is considered strike-slip or reverse. Also, the ground motions in which the soil class of the record station is C or D are selected. 11 earthquake pairs are used for analysis. The simple scaling procedure is adopted. It requires that the average of the spectrum of the record set should not be under the 1.30 times target spectrum between $0.20T_p$ and $1.50T_p$. The records are scaled to the maximum considered earthquake spectrum and scale factors are obtained for buildings.

The structures were three-dimensionally evaluated under the earthquake 2% probability of exceedance in 50 years, which corresponds to the maximum considered earthquake. The current code requires that the average of the drift ratios should be below 0.03. Results obtained from nonlinear time-history analysis satisfy this limit with the values far below the limit. Moreover, the average drift ratios of buildings designed to allow beams to yield are similar to the values for buildings designed according to the current code in Türkiye.

The average plastic deformations at the members are individually obtained from nonlinear time-history analysis. The average plastic deformations at braces never exceed the collapse prevention limit for all buildings. Moreover, the average plastic deformations at columns and beams of the special concentrically braced frames are at the level of zero. There is no yielding at the beams of the buildings designed beams allowing to yield.

As a result of the study, the average damage levels at all of the frame elements are below the limit for collapse prevention performance level for all buildings, designed according to the current code in Türkiye and allowing beams to yield. Therefore, structures designed according to earthquake ground motion 10% probability of exceedance in 50 years present the collapse prevention performance level under the earthquake 2% probability of exceedance in 50 years.





1. GİRİŞ

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, çerçeve sistemini oluşturan elemanların tek bir düğüm noktasında birleştiği çaprazlı çerçeve türüdür. Yüksek yanal rijitliğe sahip bu sistemler, yapılara etkiyecek yatay etkilerin taşınması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde çaprazlar diyagonal, X, V, ters V ve K olmak üzere farklı formlardada oluşturulabilmektedir. Merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde, çapraz elemanlar kafes sistem elemanı gibi çalışmaktadır. Dolayısıyla sadece eksenel çekme ve eksenel basınç kuvvetlerini taşımaktadır. Boyutlandırılmasında da belirtilen etkiler göz önüne alınmaktadır. Bu tür sistemlerde yatay deprem etkilerinin, çapraz elemanların eksenel çekme etkisi altında akması ve/veya eksenel basınç etkisi altında burkulması ile sönümlenmesi beklenmektedir. Bununla birlikte çerçevede yer alan kolon ve kiriş elemanların elastik davranışını sürdürmesi, herhangi bir plastik deformasyon göstermemesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle belirtilen çerçeve elemanlarının ve birleşimlerin tasarımında çaprazların mekanizma durumları ile uyumlu iç kuvvetleri dolayısıyla sistemde oluşacak en elverişsiz iç kuvvetler kullanılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Ters V şeklinde konumlandırılmış merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, kapı ve pencere için mimari açıdan büyük açıklıklara sahiptirler. Fakat bu tür çapraz düzeninde, mekanizma durumunda kiriş ortasında dengelenmemiş iç kuvvetler meydana gelmektedir. Bu durum da çerçeve kirişlerinde yüksek eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti oluşumuna sebep olmaktadır. Dolayısıyla ters V şeklinde konumlandırılmış merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetleri karşılayabilmesi için derin enkesit kullanımı zorunlu olmaktadır. Bu durum görece yapı ağırlığını artırmakla birlikte ekonomiklikten de uzak olmaktadır. Bu nedenle mimari olarak avantaj sağlayan çapraz düzeni tercih sıralamasında geride kalmaktadır.

Tez çalışması kapsamında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 [1] doğrultusunda tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyine göre tasarlanan merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin, yönetmeliğin öngördüğü en büyük depreme karşılık gelen ve tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyi etkisi altındaki performansının belirlenmesi amaçlanmaktadır. İlgili yönetmelik gereğince yatay deprem etkilerinin sadece merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar için izin verilen maksimum bina yüksekliği 42m olmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında 10.5, 21, 31.5 ve 42m olmak üzere dört farklı yüksekliğe sahip yapı tasarımı gerçekleştirilmiş ve merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin uygulanabileceği yapıların deprem etkisi altındaki genel performansının belirlenmesi amaçlanmıştır. Dolayısıyla TBDY 2018'e [1] bağlı olarak tasarlanan farklı yüksekliklere sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeveli yapıların, bölgede olabilecek en büyük depremin meydana gelmesi durumundaki performansları değerlendirilmektedir. Bununla birlikte çalışma kapsamında ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin, çerçeve kirişlerinde plastik şekil değiştirmeye izin verilmesine göre tasarlanması durumunda sistemin deprem etkisi altındaki performansı incelenmektedir. Belirtilen etki, kirişlerin yönetmeliğin gerektirdiği iç kuvvetlerden daha küçük iç kuvvetlere göre tasarımının gerçekleştirilmesi; TBDY 2018'e [1] göre gereken kiriş enkesitinden daha küçük kiriş enkesiti kullanılmasıyla elde edilmektedir. Çalışma kapsamında kirişte akmaya izin verilmesi durumuna göre tasarlanan yapıların performansı ile TBDY 2018'e [1] göre tasarlanan yapıların performansı karşılaştırılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda mekanizma durumlarının uygulanmaya başlanmasından önce projelendirilen ve inşa edilen ters V merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemli yapılarda çerçeve kirişlerinin mekanizma ile uyumlu iç kuvvetleri karşılamaktan uzak olmasına karşılık meydana gelen depremlerde aldıkları hasarların yeterli düzeyde olması dolayısıyla kirişlerin daha küçük iç kuvvetler altında boyutlandırılabilme durumu araştırılmıştır.

Roeder ve diğ. [2] tarafından yapılan çalışmada ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde kirişte meydana gelecek akmanın avantajları araştırılmaktadır. Çalışma kapsamında kirişleri yürürlükteki yönetmelik koşullarının altında dayanıma

sahip olan altı adet tek katlı çerçeve sistem üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda kirişte akmaya izin verilmesi durumunda çerçevenin yatay etki altındaki performansının artabileceği belirtilmektedir.

Roeder ve diğ. [3] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde kirişte meydana gelecek akmanın çerçeve performansına etkisi çok katlı çerçevelerde incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında üç katlı çerçevelerde deneysel ve nümerik çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda kirişlerde meydana gelen akma nedeniyle eksenel çekme etkisi altındaki çaprazın akma dayanımına ulaşmadığı gözlemlenmiştir. Eksenel basınç etkisi altındaki çaprazın burkulma dayanımına ulaştığı çerçevede eksenel çekme etkisindeki çapraza etkiyen en büyük kuvvetin, çaprazın burkulma dayanımı mertebesinde olduğu belirlenmiş ve yapı tasarımında kullanılabilmesi amacıyla bu durumu yansıtan mekanizma durumu önerilmiştir.

Asada ve diğ. [4] tarafından gerçekleştirilen çalışmada 3 ve 9 katlı olmak üzere ters V ve X çapraz düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeveli binalar tasarlanmış ve nümerik analiz gerçekleştirilmiştir. Ters V düzenine sahip bina kirişleri hem mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetlere göre, hem de kirişte akmaya izin verilmesi amacıyla Roeder ve diğ. [3] tarafından önerilen mekanizma durumuna göre tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda kirişte akmaya izin verilen yapının deprem performansının diğer yapıların deprem performansına yakın veya daha iyi olduğu görülmektedir.

Tan ve diğ. [5] tarafından yapılan çalışmada ise ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeveli yapılarda, kirişte akmaya izin verilmesi durumunda yapının deprem performansının değerlendirilmesi ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında 3 katlı çerçevelerde çevrimsel yüklemeler gerçekleştirilerek çevrimsel analiz yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan 3 katlı yapılar, 50 yılda meydana gelme olasılığı %2 olan deprem yer hareketi ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve nümerik çalışma sonucunda kirişte akmaya izin verilmesi durumuna göre tasarlanan düşük katlı yapıların, yönetmeliklerin gerektirdiği şekilde tasarlanan yapılarla eşit veya daha iyi deprem performansına sahip olduğu elde edilmektedir.



2. PROJE VE YAPI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Proje Bilgileri

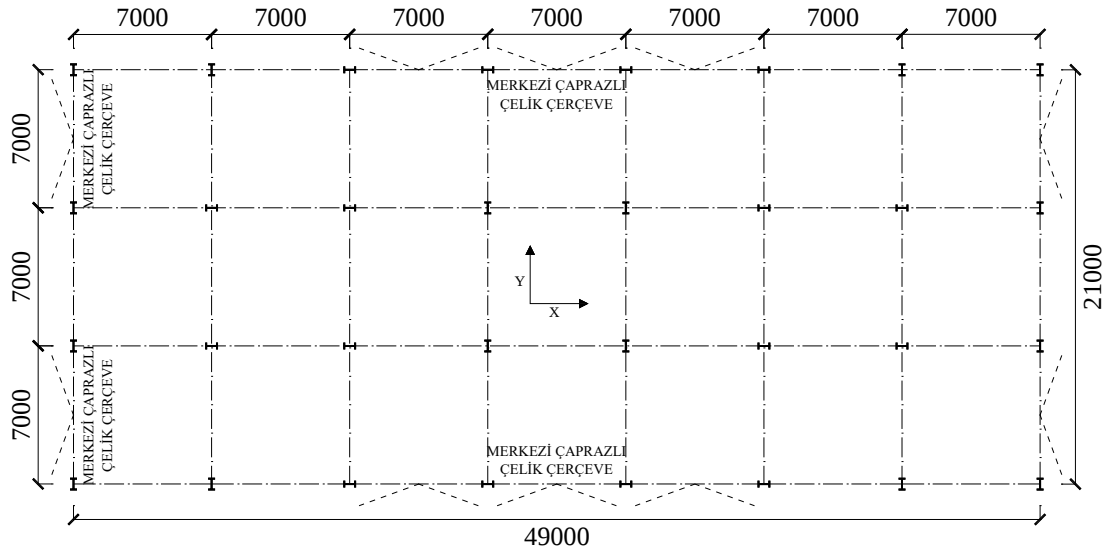
Tez kapsamında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 [1] ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE) Yönetmeliği 2018 [6] çerçevesinde 3, 6, 9 ve 12 katlı olmak üzere dört farklı yapı tasarlanmıştır. Yapıların kullanım amacı ofis, konumu ise İstanbul ili Kadıköy ilçesi olarak belirlenmiştir. Bölgedeki zemin sınıfı ZD olarak ele alınmıştır.

Tüm yapıların X ve Y doğrultusundaki düzeni ve kat planları aynıdır. Yapı X doğrultusunda 7, Y doğrultusunda 3 açıklığa sahiptir. Tüm açıklıklar 7m olmak üzere yapının zemin ve normal kat yükseklikleri 3.5m olarak ele alınmıştır. Dolayısıyla 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların toplam yükseklikleri sırasıyla 10.5, 21.0, 31.5 ve 42.0 metre olmaktadır.

Yapıların tasarımında malzeme sınıfı olarak Eurocode malzeme sınıfları olan ve Türkiye’de de kullanılan S235, S275 ve S355 ele alınmıştır. Yapıların tasarımında yapının kendi ağırlığının oluşturduğu düşey yükler ile deprem ve rüzgar yükleri ele alınmıştır.

2.2 Bina Taşıyıcı Sistemi

Tez kapsamında tasarlanan yapıların kat planı Şekil 2.1 gösterilmektedir. Yapıların X doğrultusunda dış akslarda ardışık açıklıklarda konumlandırılmış üç olmak üzere toplamda altı ters V düzenine sahip süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve bulunurken, Y doğrultusunda dış akslarda bağımsız açıklıklarda konumlandırılmış iki olmak üzere toplamda altı ters V düzenine sahip süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve bulunmaktadır. Yapılara etkiyecek yatay etkiler belirtilen çaprazlı çerçeveler tarafından karşılanmaktadır. Belirtilen çerçeve sistem TBDY 2018 Bölüm 9.6’da [1]; ters V düzeninin gerektirdiği ek koşullar ise TBDY 2018 Bölüm 9.6.4’te [1] tanımlanmıştır.



Şekil 2.1 : Şematik normal kat planı.

Ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde çapraz elemanlar kolon-kiriş düğüm noktası ile kirişin orta noktası arasına teşkil edilmektedir. Belirtilen sistemlerde çapraz elemanlar kafes sisteminlerin çalışma prensibi gibi sadece aksel çekme veya aksel basınç kuvvetini taşımaktadır. Dolayısıyla çapraz elemanlar iki ucundaki bağlantılar moment aktarmayan (mafsallı) olarak teşkil edilmektedir. Sisteme etkileyen yatay etkiler ise çapraz elemanların aksel çekme etkisi altında akması ve/veya aksel basınç etkisi altında burkulması ile karşılanmaktadır. Çerçeve sistemde yer alan diğer elemanların ise elastik bölgede kalması, elemanlarda herhangi bir plastik şekil değiştirme meydana gelmemesi beklenmektedir. Diğer bir ifadeyle çerçeve sistemin sünekliği, çapraz elemanlarda meydana gelecek aksel çekme etkisi altında akma ve/veya aksel basınç etkisi altında burkulma ile sağlanmaktadır.

Yapıların döşeme sistemi trapez sac profillevha ve betonarme döşeme ile oluşturulmuştur. Belirtilen döşeme sisteminde trapez sac profillevhalar yapıda yer alan tali ve ana kirişlere mesnetlenmektedir. Belirtilen döşeme sisteminde trapez sac profillevha sadece kalıp görevi görmektedir. Betonarme döşemenin kirişler ile bağlantısı ise kirişler üzerine belirli aralıklarla teşkil edilen çelik ankrajlar ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla kirişler yanal doğrultuda tutulu olmakta ve katta rijit diyafram etkisi sağlanmaktadır.

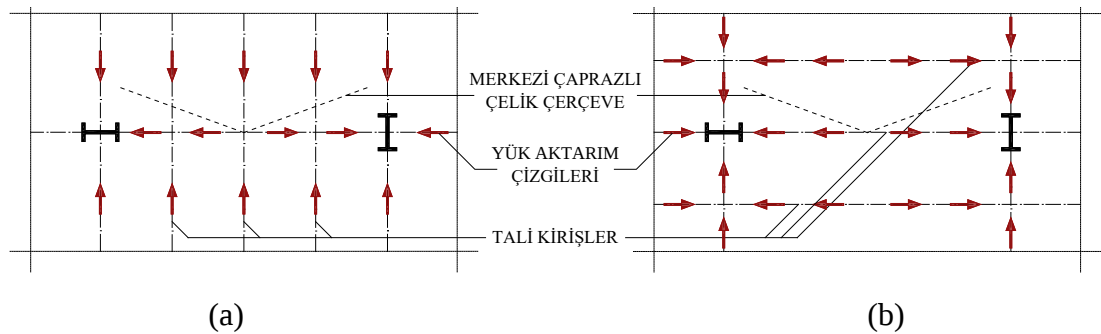
Binaların taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması belirtildiği üzere TBDY 2018 [1] ve ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği [6] esasları gereğince gerçekleştirilmiştir. Binaların taşıyıcı sisteminin yapısal analizleri, ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm

6.3'te [6] detayları belirtilen genel analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirtilen açıklamalar doğrultusunda görelî kat ötelemeleri ve sehîm kontrollerinde azaltılmamış eleman rijitliklerinin; binanın taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların gerekli dayanımları elde edilirken azaltılmış eleman rijitliklerinin kullanılması ve ikinci mertbe etkilerin ele alınması gerekmektedir. Analiz ve boyutlandırma hesaplarında ÇYTHYE 2018 Yönetmeliğî Bölüm 5.3.1'de [6] açıklanan "Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım Yöntemi" (YDKT) ele alınmaktadır.

2.2.1 Tali kirişlerin yerleşimi

Tali kirişler, binanın döşeme sisteminin oluşturulabilmesi amacıyla döşeme alanlarında iki ana kiriş arasına teşkil edilen ikincil yapı elemanlarıdır. Belirtilen elemanların iki ucundaki bağlantılar da moment aktarmayan (mafsallı) olarak teşkil edilmektedir. Döşeme yükü öncelikle tali kirişe sonrasında da ana kirişe aktarılmaktadır. Dolayısıyla tali kirişlerin yerleşim doğrultularının belirlenmesi aşamasında sistem elemanları arasındaki yük aktarım yönlerinin ele alınması gerekmekte ve elemanlara etkiyecek düşey yüklerin dağılımının orantılı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Şekil 2.2'de gösterildiğî üzere döşeme yükleri tali kirişlerden ana kirişlere, ana kirişlerden de kolonlara olacak şekilde gerçekleşmektedir.

Öncelikle merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin bulunduğû döşeme alanlarında teşkil edilecek tali kirişlerin yerleşim doğrultularının belirlenmesi gerekmektedir. Buna ilişkin iki alternatif Şekil 2.2 yer almaktadır. Diğer döşeme alanlarındaki yerleşim ise belirtildiğî üzere yük dengesini koruyacak şekilde gerçekleştirilmektedir.



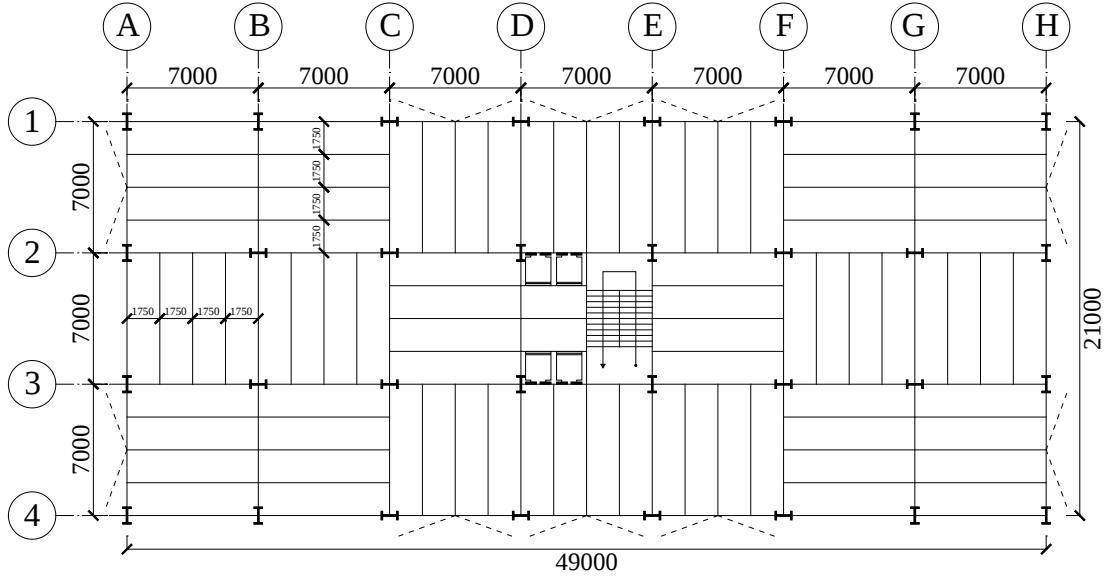
Şekil 2.2 : Tali kirişlerin yerleşim doğrultusu için (a) birinci alternatif (b) ikinci alternatif.

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler yapıya etkiyecek yatay etkileri karşılamakta olduğu için belirtilen çerçevelere etkiyen yük diğer elemanlara etkiyen yüke kıyasla oldukça fazla olmaktadır. Dolayısıyla tali kirişlerin merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerine birleşmesi durumunda (bkz. Şekil 2.2(a)) döşeme alanında meydana gelecek düşey etkilerin de yatay etkileri taşıyan sisteme aktarılması söz konusu olmaktadır. Diğer taraftan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin yanal stabilitesi sağlanmakta ve harici olarak yanal stabilite elemanlarının tasarlanmasına veya yerleştirilmesine gerek olmamaktadır. Tali kirişlerin merkezi çaprazlı çelik çerçeve doğrultusuna paralel doğrultuda (bkz. Şekil 2.2(b)) yerleştirilmesi durumunda ise döşeme yükü sadece düşey etkileri taşıyacak ana kirişlere aktarılmakta ve merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerine etkiyecek yük görece daha az olmaktadır. Ayrıca belirtildiği üzere merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişi ile tali kiriş arasına teşkil edilecek yatay stabilite elemanının tasarlanması ve yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında tali kirişlerin yanal stabilite elemanı işlevini de karşılaması amacıyla tali kirişlerin merkezi çaprazlı çelik çerçeve doğrultusuna dik doğrultuda yerleştirilmesi durumu uygulanmıştır.

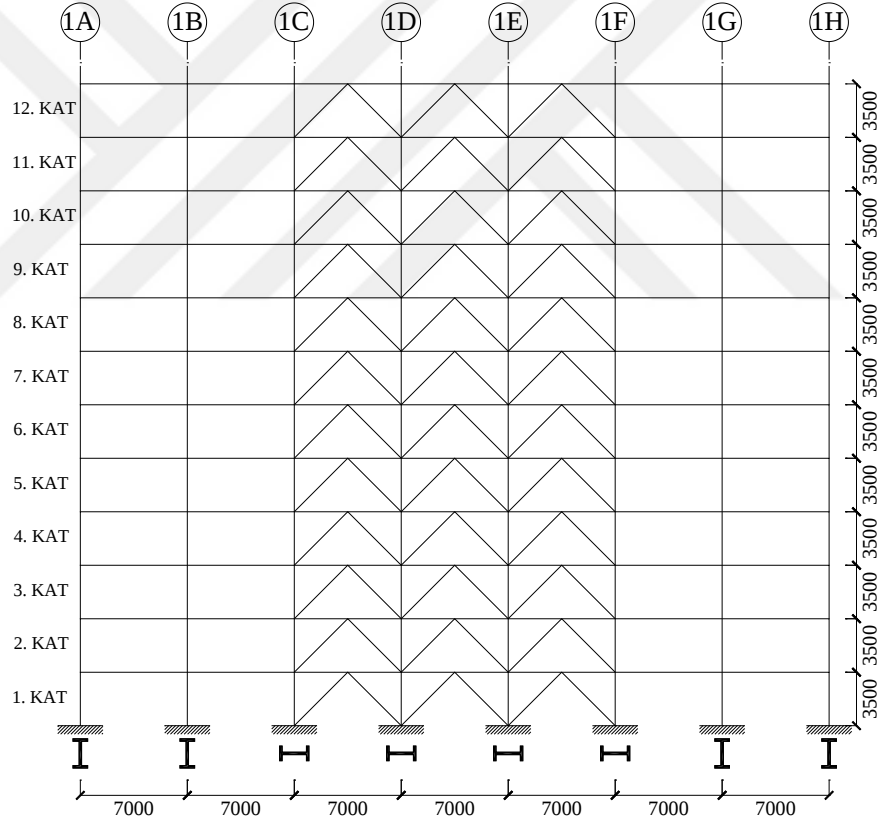
Tali kirişler ile ilgili olarak belirlenmesi gereken bir diğer husus ise yerleşim aralığıdır. Tali kirişlerin ikincil eleman olması dolayısıyla yapının açıklıkları, trapez sac profillevhanın montajı, eleman üzerinde oluşacak eğilme momenti ile kesme etkisi büyüklüğü ve yapı ekonomisi göz önüne alınarak tali kiriş aralığı belirlenmektedir. Yapının her iki doğrultudaki tüm açıklıkların 7m olması dolayısıyla belirtilen tüm durumlar göz önüne alınarak tali kiriş aralığı 1.75m olarak belirlenmiştir.

2.2.2 Kat planı ve sistem enkesitleri

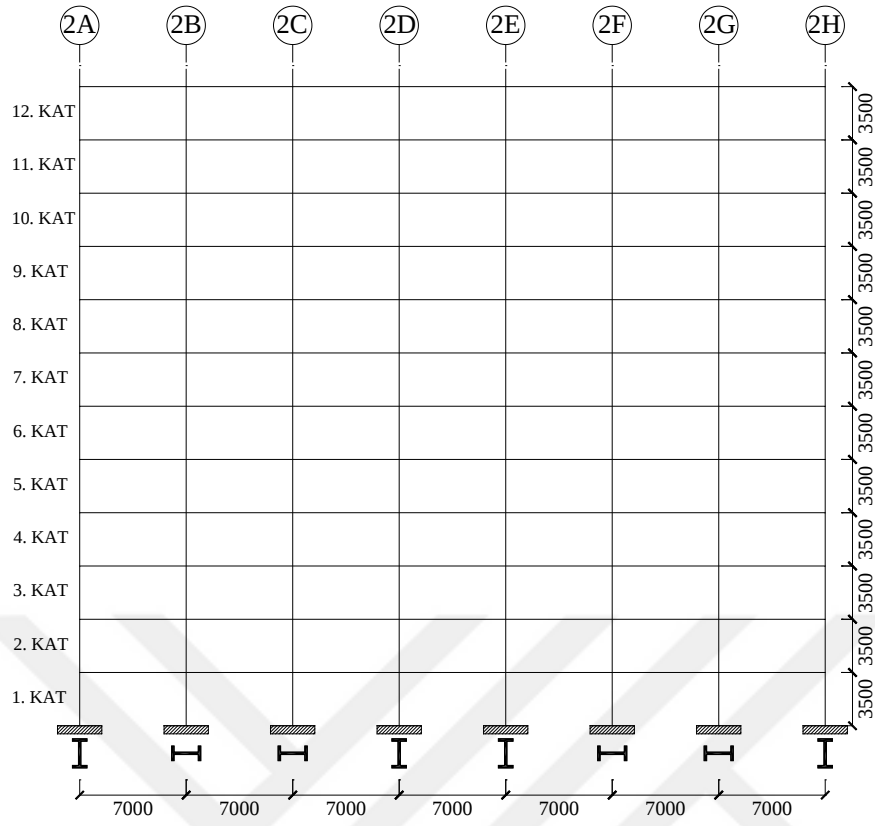
Binanın kullanım amacı ve kat planı göz önüne alınarak asansör ve merdivenlerin yeri kat merkezine yakın konumlandırılmıştır. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapı tasarlanacağı için 12 katlı yapının gereksinimleri doğrultusunda dört asansör ve bir merdiven teşkil edilmiştir. Tüm binalarda aynı kat planı kullanılmaktadır. 12 katlı yapıya ait kat planı ve sistem enkesitleri Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da yer almaktadır. Diğer yapılar da aynı düzene sahip olup sadece kat sayısı değişiklik göstermektedir.



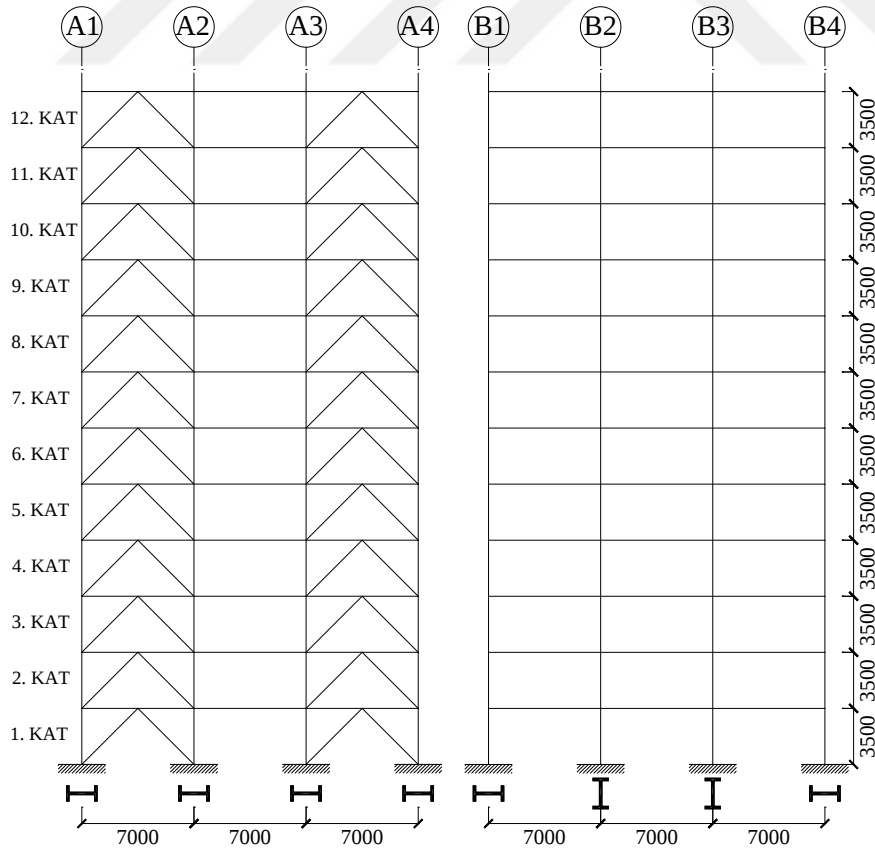
Şekil 2.3 : Normal kat sistem planı.



Şekil 2.4 : 1 ve 4 aksları sistem kesiti.



Şekil 2.5 : 2 ve 3 aksları sistem kesiti.



Şekil 2.6 : Sistem kesitleri (a) A ve H aksları (b) B, C, D, E, F ve G aksları.

2.3 Döşeme Sisteminin Belirlenmesi

Bu bölümde yapının döşeme sistemini oluşturan trapez sac profilli levha, betonarme döşeme ve çelik ankraj ile ilgili parametreler belirlenmektedir.

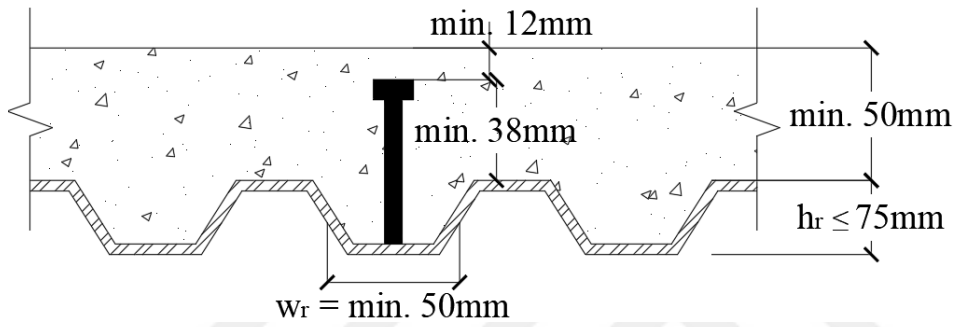
2.3.1 Trapez profilli sac levha seçimi

Çelik yapılarda betonarme döşeme imalatı için kalıp görevi görmesi amacıyla kullanılabilen malzemelerden biri trapez profilli sac levhadır. Kullanılacak trapez profilli sac levhanın seçiminde tali kiriş açıklığı ve levhanın taşıyacağı yayılı yük etkili olmaktadır. Levhanın taşıyacağı yük hesaplanırken betonarme döşeme imalatı sırasında levhanın üzerinde dolaşılması durumu göz ardı edilmemelidir. Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 12’de [6] belirtilen koşullara uygunluğun sağlanmasıdır. İlgili bölümde belirtilen koşullar aşağıda maddeler halinde yer almaktadır. Uzunluklara ilişkin sınırlandırmalar da Şekil 2.7 üzerinde gösterilmektedir:

- (a) “Çelik sac hadve yüksekliği, h_r , en fazla 75mm olacaktır. Ortalama hadve genişliği, w_r , en az 50mm olacaktır.
- (b) Betonarme döşeme, çelik kiriş başlığına doğrudan veya şekil verilmiş çelik sac üzerinden kaynaklanan başlıklı çelik ankrajlar ile bağlanacaktır. Başlıklı çelik ankrajın kaynaklı bağlantısı sonrasında, çelik sacın hadve üst kotu üstünde kalan kısmı en az 38mm olacak ve beton döşeme üst kotu ile arasında en az 12 mm bulunacaktır.
- (c) Hadve üst kotu ile beton döşeme üst kotu arasında en az 50mm olacaktır.
- (d) Çelik sac kiriş başlığına boyuna eksenine doğrultusunda, bağlantı aralığı 450mm’yi aşmayacak şekilde mesnetlenecektir. Bu bağlantı, başlıklı çelik ankrajlar veya başlıklı çelik ankrajlar ile punta kaynakların birlikte kullanımıyla sağlanacaktır.
- (e) Çelik sac hadvelerinin çelik kirişin boyuna eksenine dik olarak yerleştirildiği durumda, çelik sac üst kotunun altında kalan beton, tasarımda ihmal edilecektir.

(f) Çelik sac hadvelerinin çelik kiriş boyuna eksenine paralel olarak yerleştirildiği durumda, çelik sac hadveleri içinde kalan betonun kompozit enkesit hesabında göz önüne alınmasına izin verilmektedir.

(g) Çelik sac hadvelerinin çelik kirişin boyuna eksenine paralel olması halinde, her bir hadve içinde bir adet başlıklı çelik ankraj kullanıldığında ortalama hadve genişliği, w_r , 50mm'den az olmayacaktır. Her bir hadve içinde daha fazla sayıda başlıklı çelik ankraj kullanılması durumunda bu genişlik, her bir ilave başlıklı çelik ankraj için ankrajın gövde çapının 4 katı kadar artırılmalıdır.” [6]



Şekil 2.7 : Ankraj minimum koşul sınırları [6].

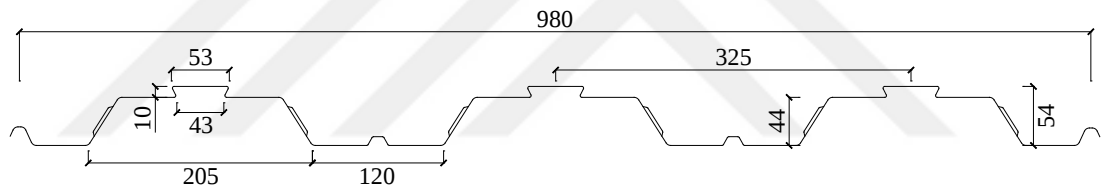
Betonarme döşeme imalatı sırasında trapez profilli sac levha üzerinde dolaşılması dolayısıyla levha üzerinde oluşacak yükün $1kN/m^2$ olacağı varsayılmıştır. Betonarme döşemeden dolayı kaynaklanacak sabit yük ise priz almamış betonun birim hacim ağırlığı kullanılarak elde edilmektedir. Betonarme döşemenin kalınlığı 10cm kabul edilerek priz almamış betondan dolayı oluşacak sabit yük $2.5kN/m^2$ olarak elde edilmektedir. Elde edilen iki değer birleştirilmesiyle trapez profilli sac levhaya etkiyecek toplam yayılı yük değeri $3.5kN/m^2$ olmaktadır.

Trapez profilli sac levha seçimi için Türkiye’de hizmet veren ALMETSAN Yapı Elemanları şirketinin kataloğu [7] ele alınmıştır. Her döşeme alanında üç adet tali kiriş kullanıldığı için katalogta çoklu açıklıklı olarak belirtilen durum oluşmakta ve bu durumla ilgili bölümden levha seçimi yapılmaktadır. Tali kiriş aralığı 1.75m ve trapez profilli levhaya etkiyecek yayılı yük $3.5kN/m^2$ olmak üzere katalogta belirtilen 0.90mm kalınlığındaki 50/980 tip trapez profilli sac levhanın kullanılması uygun olmaktadır. Katalogta 1.75m tali kiriş aralığı yer almadığı için 1.5m ile 2m tali kiriş aralığı için verilen değerler arasında doğrusal interpolasyon gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2.1’de seçilen tip trapez profilli sac levha için katalogda belirtilen teknik özellikler yer almaktadır. Şekil 2.8’de ise trapez sac levhanın kesiti gösterilmektedir.

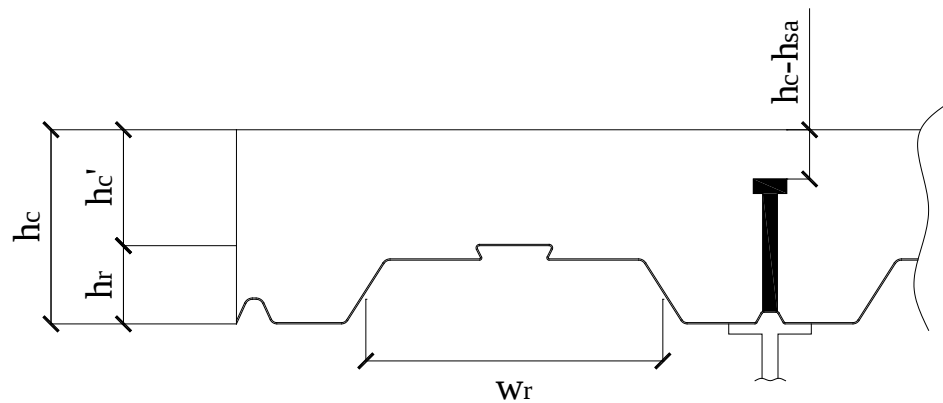
Çizelge 2.1 : ALMETSAN çoklu açıklıklı ALDECK 50/980 tip trapez profilli levha teknik özellikleri [7].

Kalınlık (mm)	Tali Kiriş Açıklığı Açıklık (m)					
	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00
	Yük Dayanımı (kN/m ²)					
0.70	7.62	5.71		3.57	2.45	1.79
0.80	9.30	6.94		4.31	2.94	2.14
0.90	11.04	8.22	6.65	5.08	3.45	2.50
1.00	12.84	9.53		5.86	3.97	2.87
1.10	14.71	10.8		6.67	4.51	3.25
1.20	16.61	12.27		7.49	5.05	3.64
1.30	18.59	13.69		8.33	5.61	4.03



Şekil 2.8 : ALDECK 50/980 kesiti (mm) [7].

Seçilen trapez profilli sac levha tipinin ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 12’de [6] belirtilen niteliklere uygunluğu tahkik edilmiş ve gerekli koşulları sağladığı görülmüştür. Şekil 2.9’da döşeme sistemi elemanlarına ait uzunlukların sembolik gösterimi; Çizelge 2.2’de ise belirtilen uzunlukların değerleri yer almaktadır.



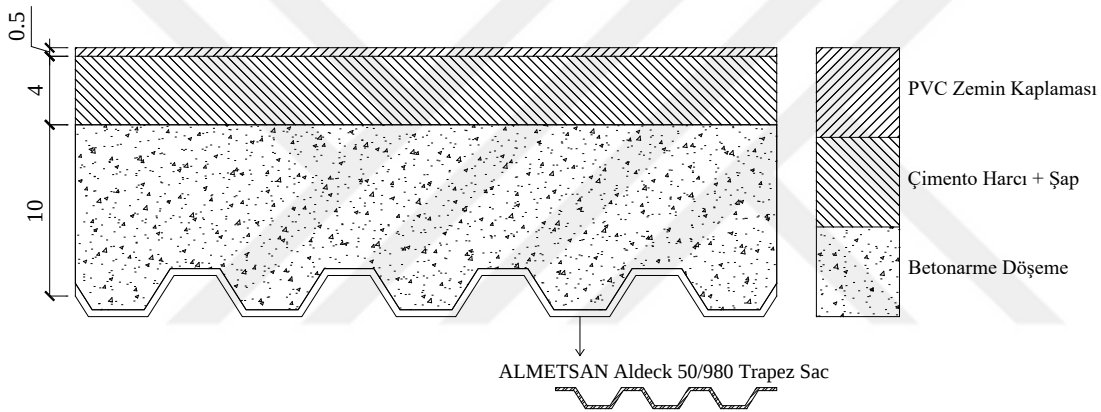
Şekil 2.9 : Trapez sac levha kesiti gösterimi.

Çizelge 2.2 : Seçilen trapez saca ait büyüklükler.

h_c' (mm)	h_r (mm)	h_c (mm)	w_r (mm)	t_{sac} (mm)	d_{sa} (mm)	h_{sa} (mm)
80	54	134	205	0.9	19	100

2.3.2 Betonarme döşeme hesabı

Tali kiriş aralığı 1.75m ve yapının bir açıklığının 7m olması dolayısıyla uzun kenar ile kısa kenar oranının ikiden büyük olması durumu söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla kat döşemeleri tek doğrultuda çalışmaktadır. Betonarme döşemenin donatı hesabı için Türk Standartları 500 (TS500)'de [8] belirtilen koşullar ele alınmıştır. Şekil 2.10'da kat döşeme enkesiti yer almaktadır. Çizelge 2.3'te kat döşeme enkesitinde gösterilen döşeme katmanlarından ötürü oluşacak yük değerleri yer almaktadır.



Şekil 2.10 : Kat döşeme enkesiti.

Çizelge 2.3 : Döşeme katmanlarına ait büyüklükler.

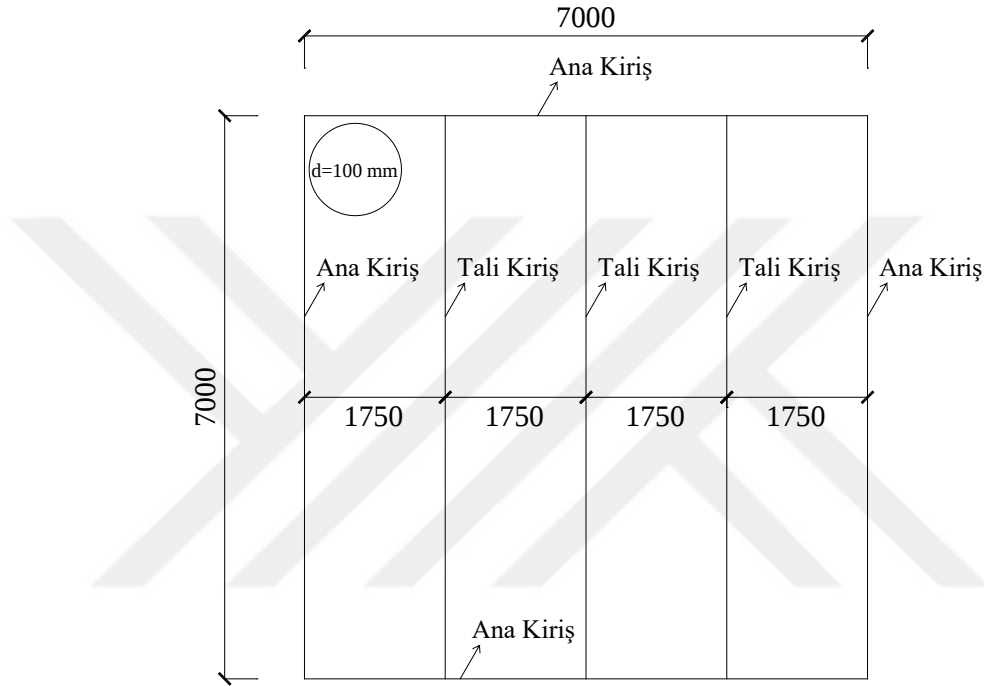
Değer Türü	PVC Zemin Kaplama	Çimento Harcı	Şap	Betonarme Döşeme	Sac Levha
Birim Hacim	15	20	20	25	-
Ağırlığı (kN/m ³)	5	40	100	-	-
Kalınlık (mm)	0.075	0.8	2.5	~0.1	-
Yük (kN/m ²)					

Tüm katmanlardan ötürü oluşan yüklerin toplanmasıyla kat döşemesinin sabit yükü elde edilmektedir. Bu değer $3.475 \approx 3.5 \text{ kN/m}^2$ olmaktadır. Kat döşemelerine etkiyen hareketli yük ise TS498 [9] gereğince 2 kN/m^2 olarak ele alınmaktadır. Betonarme döşeme hesabı gerçekleştirildiği için betonarme elemanlar için kullanılan $1.4G+1.6Q$

yük birleşimi ele alınmaktadır. Dolayısıyla denklem 2.1’de gösterildiği üzere hesap yükü 8.1 kN/m^2 olmaktadır.

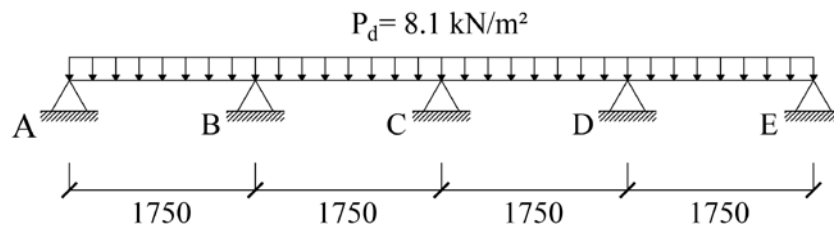
$$P_d = 1.4G + 1.6Q = 1.4 \times 3.5 + 1.6 \times 2 = 8.1 \text{ kN/m}^2 \quad (2.1)$$

Elde edilen hesap yüküne bağlı olarak betonarme döşeme donatı hesabı gerçekleştirilmiştir ve tüm döşeme alanları için uygulanmıştır. Hesabı gerçekleştirilen döşeme alanı Şekil 2.11’te gösterilmektedir.



Şekil 2.11 : Betonarme hesabı gerçekleştirilen döşeme.

Tek doğrultuda çalışan döşemeler, kısa kenar doğrultusunda çalışmaktadır. Dolayısıyla hesap yükü altında kısa kenar doğrultusu boyunca oluşacak moment değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. En elverişsiz mesnet ve açıklık momenti değerleri için hesap gerçekleştirilmektedir. Betonarme döşemenin tali kirişlere mesnetlenme noktalarının basit mesnet olarak teşkil edilmesiyle birlikte sistem Şekil 2.12’de gösterildiği gibi olmaktadır.



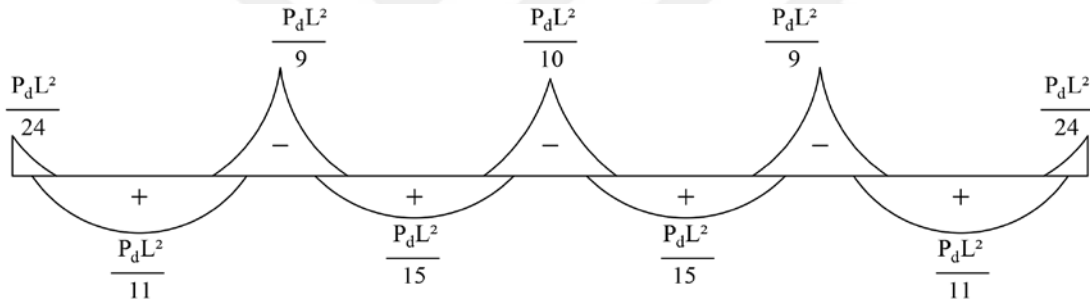
Şekil 2.12 : Döşemeye etki eden yük.

TS500 Bölüm 11.2.2 [8] gereğince en küçük açıklığın en büyük açıklığa oranı 0.80'den küçük olmayan sürekli plaklarda, hareketli yük (Q) ile sabit yükün (G) oranının ikiden küçük olması durumunda açıklık ve mesnet momentlerini yaklaşık olarak elde etmek için moment katsayıları kullanılabilir. Denklem 2.2 ve 2.3'te belirtilen koşulların sağlandığı ve döşeme alanının moment katsayıları yöntemine uygun olduğu görülmektedir.

$$\frac{L_{min}}{L_{maks}} = \frac{1.75}{1.75} = 1.00 > 0.80 \quad (2.2)$$

$$\frac{Q}{G} = \frac{2.00}{3.50} = 0.57 < 2 \quad (2.3)$$

Şekil 2.13'de TS500 Bölüm 11.2.2'de [8] ikiden fazla açıklığa sahip sistemler için belirtilen moment katsayıları gereğince sistemde oluşacak moment büyüklükleri parametrik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.13 : Moment hesabı katsayıları [8].

Şekil 2.13'de belirtilen moment katsayıları kullanılarak denklem 2.4, 2.5, 2.6 2,7 ve 2.8'de moment değerleri elde edilmektedir.

$$M_d = \frac{P_d \times L^2}{11} = \frac{8.1 \times 1.75^2}{11} = 2.25 kNm/m \quad (2.4)$$

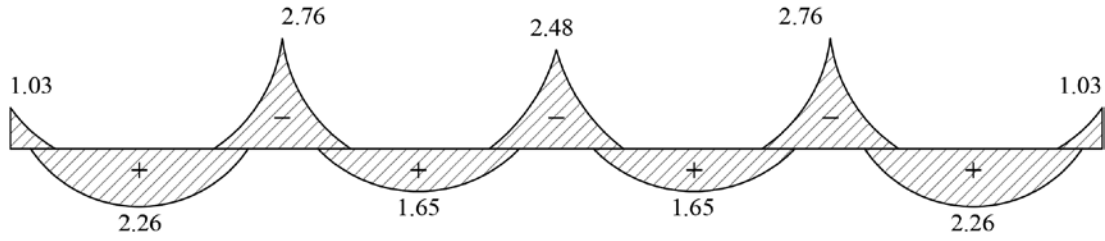
$$M_d = \frac{P_d \times L^2}{15} = \frac{8.1 \times 1.75^2}{15} = 1.65 kNm/m \quad (2.5)$$

$$M_d = \frac{-P_d \times L^2}{9} = \frac{-8.1 \times 1.75^2}{9} = -2.76 kNm/m \quad (2.6)$$

$$M_d = \frac{-P_d \times L^2}{10} = \frac{-8.1 \times 1.75^2}{10} = -2.48 kNm/m \quad (2.7)$$

$$M_d = \frac{-P_d \times L^2}{24} = \frac{-8.1 \times 1.75^2}{24} = -1.03 kNm/m \quad (2.8)$$

Gerçekleştirilen hesaplar sonucunda sisteme ait moment diyagramı Şekil 2.14'deki gibi olmaktadır.



Şekil 2.14 : Döşeme moment diyagramı (kNm).

Beton sınıfı C30, donatı sınıfı S420 olmak üzere 10cm kalınlığında, 2cm paspayı olan betonarme döşeme için denklem 2.9 ve 2.10 kullanılarak donatı hesabı gerçekleştirilmiştir. Kullanılan parametreler ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2.4'te yer almaktadır.

$$K = \frac{b_w \times d^2}{M_d} \quad (2.9)$$

$$A_s = \frac{k_s \times M_d}{d} \quad (2.10)$$

Çizelge 2.4 : Döşeme açıklık ve mesnet kesitleri için gerekli donatı alanı.

Kesit	M_d (kNm/m)	b (m)	d (m)	K ($\times 10^{-5}$) (m^2/kN)	k_s	A_s (mm^2/m)
Açıklık	2.26	1	0.08	283.18	2.81	79.38
Mesnet	2.76	1	0.08	231.88	2.82	97.29

Elde edilen değerlerin betonarme döşeme için TS500'de [8] belirtilen minimum donatı oranını karşılamak için gereken minimum donatı alanı ile karşılaştırılması ve büyük olanının seçilmesi gerekmektedir. TS500 Bölüm 11.2.3'te [8] tek doğrultuda çalışan döşemelerde S420 sınıf donatı kullanılması durumunda minimum donatı oranının 0.002 olması gerektiği belirtilmektedir. Denklem 2.11'de gerçekleştirilen hesap sonucunda minimum donatı alanı $160mm^2/m$ olmaktadır.

$$A_{s_{min}} = \rho_{min} \times b_w \times d = 0.002 \times 1000 \times 80 = 160mm^2/m \quad (2.11)$$

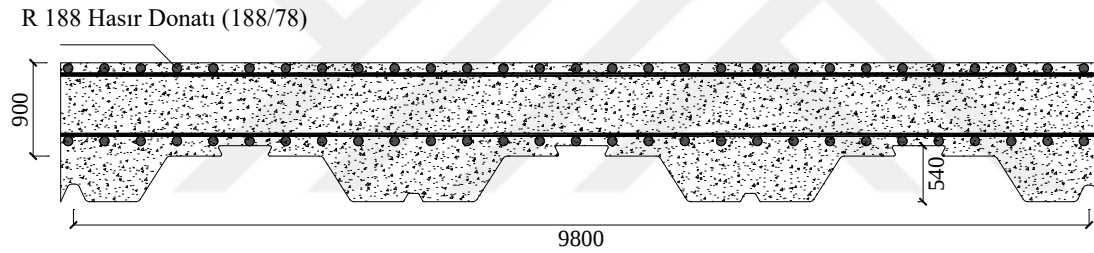
Sistemde oluşacak moment etkilerini karşılamak amacıyla gereken donatı alanı değerleri minimum donatı alanı değerinden küçük olmaktadır. Dolayısıyla hem açıklık hem de mesnet kesidi için minimum donatı alanının uygulanması gerekmektedir.

Taşıma ve montaj kolaylığı, döşeme imalat süresini kısaltması, nervürlü ve birbirine kaynaklı yapısı dolayısıyla aderansı artırması gibi nedenlerden ötürü hasır donatı kullanılması uygun olmaktadır. Tek doğrultuda çalışan döşemede uygulama yapılacağı için R tipi hasır donatı seçilmiştir. Gerekli donatı alanı dikkate alınarak R188 tip hasır donatının kullanılması kararlaştırılmıştır. Belirtilen hasır donatıya ait özellikler Çizelge 2.5’te yer almaktadır.

Çizelge 2.5 : R188 tip hasır donatı özellikleri.

Tip	Boy/En			Kesit Alanı (mm ² /m)	
	Uzunluk (m)	Aralık (mm)	Çap (mm)	Boy	En
R188	5.00/2.15	150/250	6.0/5.0	188	78

R188 tip hasır donatının yerleştirilmesiyle kat döşeme kesiti Şekil 2.15’teki gibi olmaktadır.



Şekil 2.15 : R188 tip hasır donatı kesiti.

2.3.3 Sabit ve hareketli yüklerin belirlenmesi

Çatı katı döşemesi katmanları ve katmanlara ait sabit yükler Çizelge 2.6’da yer almaktadır.

Çizelge 2.6 : Çatı katı döşemesinde ele alınan yükler.

Döşeme Katmanı	Yayılı Yük (kN/m ²)
Kaplama	0.84
İzolasyon	0.40
Trapez Profilli Sac Levha	2.60
Betonarme Döşeme	
Asma Tavan	0.50
Tesisat	

Kaplama olarak birim hacim ağırlığı 28kN/m^3 olan 3cm kalınlığında seramik kaplama kullanılmaktadır. Tabloda belirtilen çatı döşemesi katmanlarına ait sabit yüklerin toplanmasıyla çatı katı toplam sabit yükü elde edilmekte ve bu değer 4.34kN/m^2 olmaktadır. Çatı katına ait parapet yükü 2kN/m olarak ele alınmaktadır. Çatı katına etkiyecek hareketli yük ise TS498 [9] gereğince 2kN/m^2 olarak ele alınmaktadır. Çatı katına ait kar yükü hesabı TS EN 1991-1-3'e [10] uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 50 yıl dönüş periyotlu kar haritasında İstanbul ili geneli için yerdeki maksimum kar yüksekliği 70cm olarak verilmektedir. Güvenli tarafta kalmak amacıyla bu değer 75cm olarak alınmıştır. TS EN 1991-1-3'te [10] belirtilen karın ortalama birim hacim ağırlığı olan 2.00kN/m^2 değeri kullanılarak denklem 2.12'de çatı katına etkiyecek düzgün yayılı kar yükü 1.125kN/m^2 olarak elde edilmiştir.

$$0.75 \times (2.00 \times 0.75) = 1.125\text{kN/m}^2 \quad (2.12)$$

Normal kat döşemesi katmanları ve katmanlara ait sabit yükler Çizelge 2.7'de yer almaktadır. Yapının mimari planının belirli olmaması dolayısıyla bölme duvarların meydana getireceği sabit yük, normal kat sabit yükü içerisine dahil edilmektedir. Bölme duvarlardan ötürü harici bir çizgisel yük tanımı gerçekleştirilmemektedir. Belirtilen büyüklüklerin toplanmasıyla normal kata ait toplam sabit yük değeri 4.98kN/m^2 olarak elde edilmektedir. Normal kat çevresine dış duvar dolayısıyla 3kN/m çizgisel yük etkitilmektedir. Normal kata etkiyen hareketli yük ise, daha önce de belirtildiği üzere, TS498 [9] gereğince 2kN/m^2 olarak ele alınmaktadır. Asansör ve merdiven bölgelerinde ise bu değer TS498 [9] gereğince 3.5kN/m^2 olmaktadır.

Çizelge 2.7 : Normal kat döşemesinde ele alınan yükler.

Döşeme Katmanı	Yayılı Yük (kN/m^2)
Kaplama	0.08
Tesviye Harcı	0.80
Trapez Profilli Sac Levha	2.60
Betonarme Döşeme	
Asma Tavan	0.50
Tesisat	
Bölme Duvarları	1.00

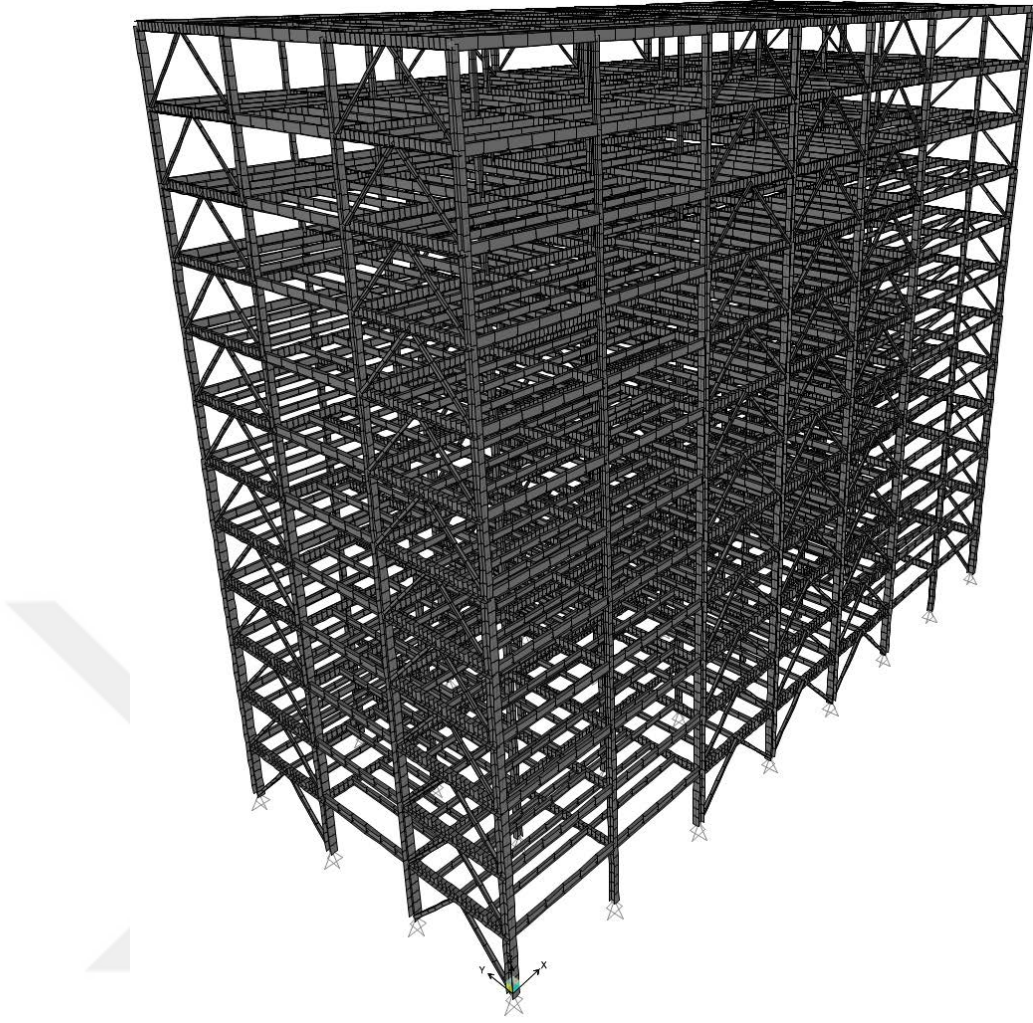
2.4 Yapıların SAP2000 Yapısal Analiz Programında Modellenmesi

3, 6, 9 ve 12 katlı olmak üzere dört bina SAP2000 [11] yapısal analiz programında Bölüm 2’de belirtilen yapı ile ilgili bilgiler doğrultusunda modellenmiştir. Binalarda yer alan kiriş, kolon ve çapraz elemanların tamamı çubuk eleman olarak modellenmiştir. Tüm binalarda merkezi çaprazlı çerçeve kirişleri S355, kolonları S275, çaprazları S235 malzeme sınıfına sahiptir. Yapılarda yer alan bütün tali kirişler S235 malzeme sınıfına sahip olmakla birlikte sadece düşey etkileri taşıyan çerçeve kirişleri S355, sadece düşey etkileri taşıyan çerçeve kolonları S275 malzeme sınıfına sahiptir. Tüm çapraz elemanlar iki ucu moment aktarmayan (mafsallı), merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri iki ucu moment aktaran, diğer tüm kirişler iki ucu moment aktarmayan (mafsallı) şekilde modellenmiştir. Yapının temele bağlantısı ise moment aktarmayan (mafsallı) şekilde teşkil edilmiştir.

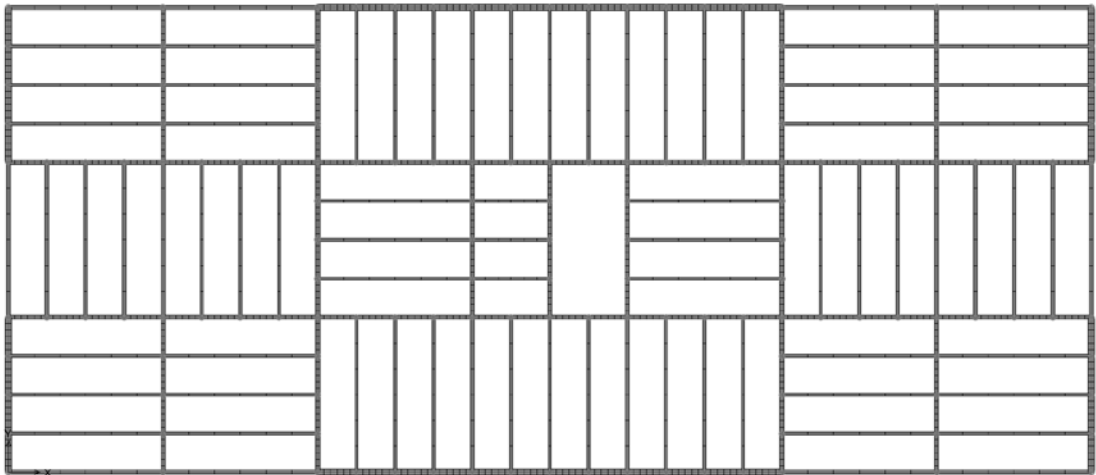
Döşeme yükleri için kirişlerin çevrelediği bölgelerde alan tanımlaması gerçekleştirilmiş ve bu bölgelere Bölüm 2.3.3’te belirlenen yükler yayılı olarak etkilmiştir. Ayrıca en dış akslarda bulunan kirişlere de dış duvar yükü çizgisel olarak etkilmiştir. Tüm katlar için rijit diyafram tanımı gerçekleştirilmiştir. Bunlarla birlikte yapının depreme katılacağı yükü ve elemanların boyutlandırılmasında kullanılacak yük birleşimleri de programda tanımlanmıştır. Bunlarla ilgili detaylar Bölüm 3’te yer almaktadır. Sonuç olarak SAP2000 [11] yapısal analiz programında gerçekleştirilen işlemler aşağıda aşama aşama belirtilmektedir:

1. Sistem akslarının oluşturulması
2. Malzeme özelliklerinin tanımlanması
3. Kullanılacak profillerin tanımlanması
4. Modelin oluşturulması
5. Yük ve yük birleşimlerinin tanımlanması
6. Yük atalamalarının gerçekleştirilmesi
7. Analizin yapılması

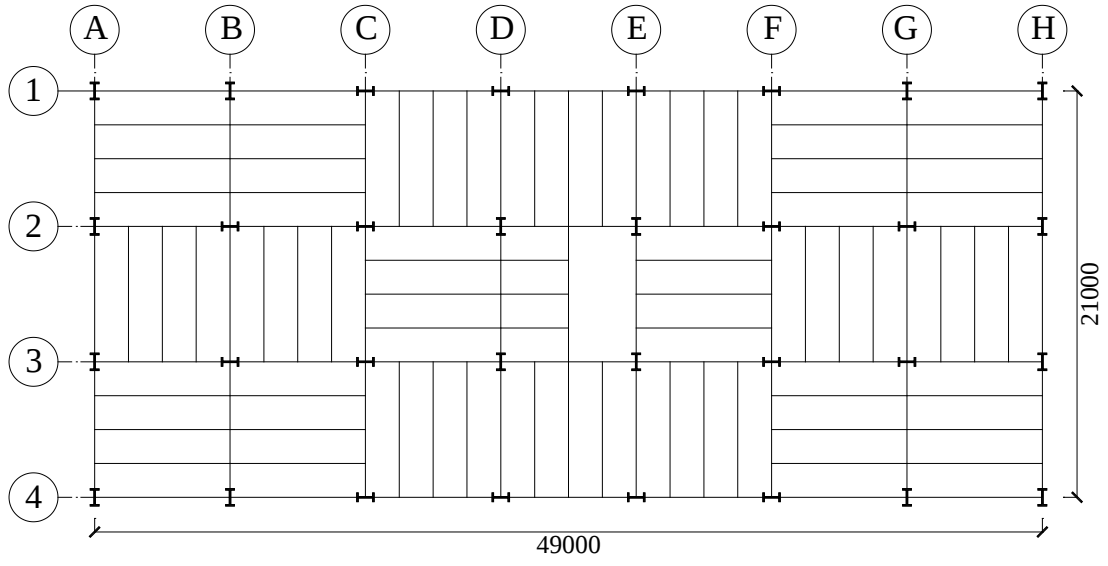
Şekil 2.16’de SAP2000 [11] yapısal analiz programında oluşturulan modelin üç boyutlu görüntüsü yer almaktadır. Modele ait kat planı ise Şekil 2.17’de yer almaktadır. Şekil 2.18’de ise kolonların yerleşim doğrultuları gösterilmektedir. Tüm yapılar, bina yükseklikleri haricinde özdeş olduğu için sadece 12 katlı binaya ait görüntülere yer verilmiştir.



Şekil 2.16 : 12 katlı yapının 3 boyutlu SAP2000 [11] yapısal analiz programı modeli.



Şekil 2.17 : SAP2000 [11] yapısal analiz programı modeline ait normal kat planı.



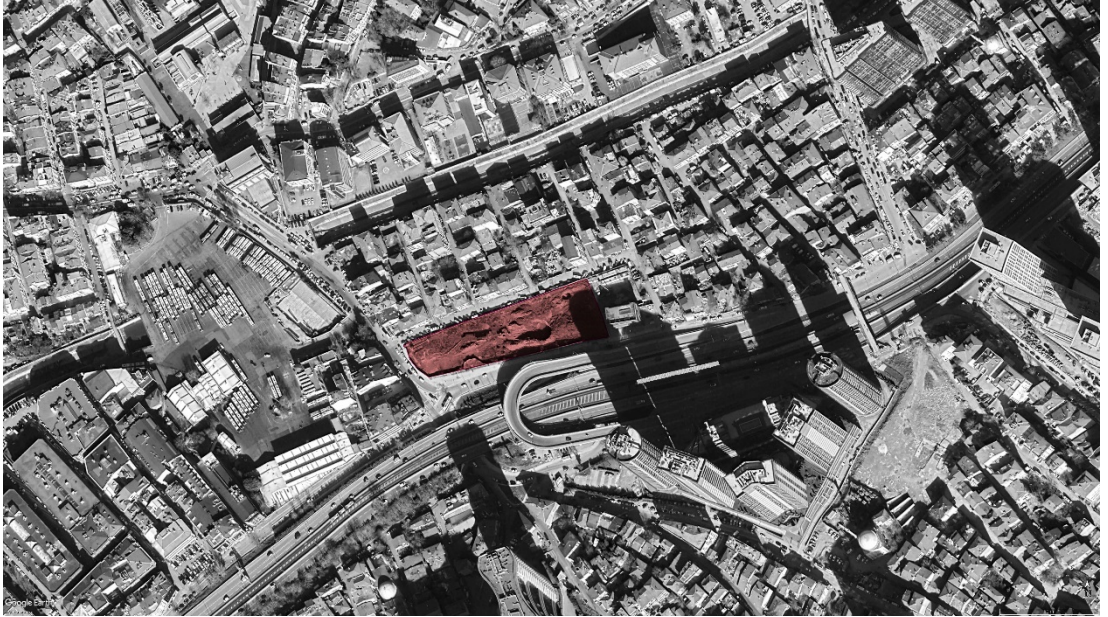
Şekil 2.18 : Kolonların yerleşim yönü.

3. YATAY ETKİLERİN BELİRLENMESİ

Yapıya yatay yük olarak deprem ve rüzgar yükleri etki etmektedir. Yapının ağırlığına, yüksekliğine ve genişliğine bağlı olarak hangi etkinin daha baskın olduğu değişmektedir. Dolayısıyla her iki etki için de gerekli hesaplar gerçekleştirilmektedir.

3.1 Deprem Yükleri

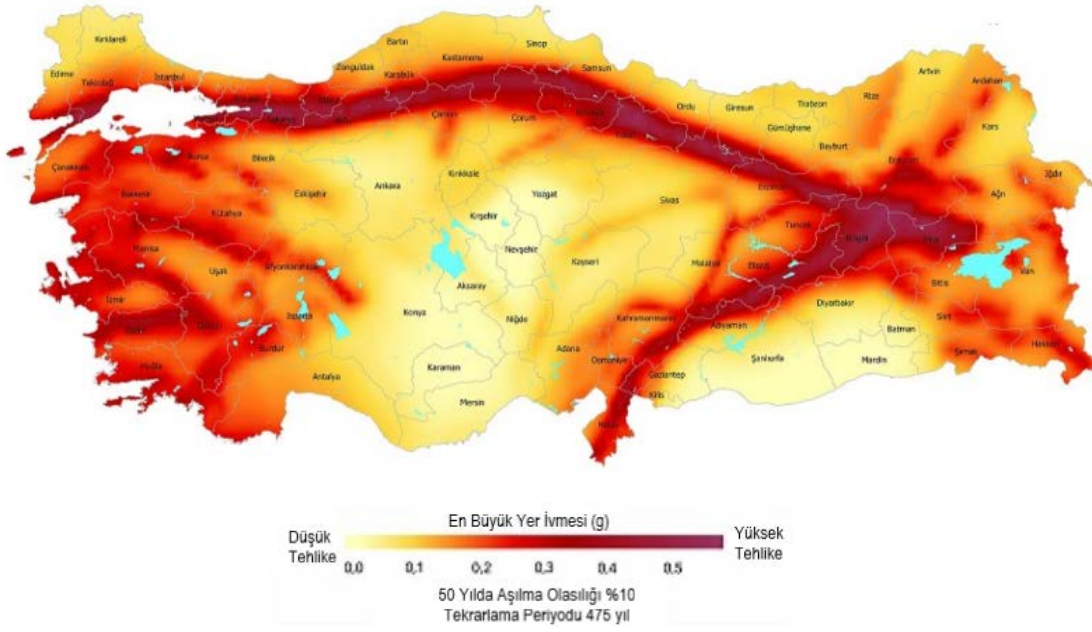
Yapıların tasarımını gerçekleştirmek üzere İstanbul ili Kadıköy ilçesinde uygun bir konum belirlenmiştir. Konuma ait koordinatlar (40.994041° , 29.045669°) olmak üzere bölgeye ait uydu görüntüsü ve yapıların konumlandırılacağı alan Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Tasarlanan yapıların konumuna ait uydu görüntüsü.

Bölüm 2’de değinildiği üzere tasarımı gerçekleştirilen binalar, İstanbul ili Kadıköy ilçesinde konumlanmaktadır. Yapıların tasarımında ele alınacak ivme değerleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından oluşturulan ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ndan

(TDTH) [12] elde edilmiş olup, belirtilen bölge haritaya göre yüksek tehlike ölçeğinde ivme değerlerine sahiptir. Şekil 3.2’te TDTH [12] görseli yer almaktadır.



Şekil 3.2 : AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası [12].

Bu bölümde yapıların yapısal analizi ve tasarımını gerçekleştirmek için ilgili yönetmeliklerin gerektirdiği koşullar ile yönetmeliklerde belirtilen standartlara uygunluğun irdelenmesi gerçekleştirilmiş; yapılara etkiyecek yatay deprem etkileri belirlenmiştir.

Yapıya etkiyecek deprem yüklerinin belirlenebilmesi için öncelikle TBDY 2018’de [1] açıklanan yapıya ait bazı karakteristiklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu karakteristikler Bina Kullanım Sınıfı (BKS), bina önem katsayısı (I), Deprem Tasarım Sınıfı (DTS), Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)’dır. Tez çalışması kapsamında sadece 12 katlı yapıya ait işlemlere yer verilmiştir.

3.1.1 Bina kullanım sınıfının belirlenmesi

Bina kullanım sınıfı, yapının depremden sonraki kullanım durumu için belirlenen bir parametredir. TBDY 2018 Tablo 3.1 [1] gereğince bu parametre, binanın kullanım amacına bağlı olarak belirlenmektedir. Tasarımı gerçekleştirilecek binaların kullanım amacı ofis olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Çizelge 3.1’de verilen TBDY 2018 Tablo 3.1 [1] doğrultusunda tasarlanan binaların bina kullanım sınıfı 3, bina önem katsayısı ise 1 olmaktadır.

Çizelge 3.1 : Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları [1].

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar ▪ Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (hastaneler, dispanserler, sağlıkocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, il yardım ve afet planlama istasyonları) ▪ Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kıışlalar, cezaevleri vb. Müzeler; toksik, patlayıcı parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu depolar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar (alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.)	1.2
BKS = 3	Diğer binalar, BKS = 1 ve BKS = 2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

3.1.2 Deprem tasarım sınıfının belirlenmesi

Deprem tasarım sınıfı, yapının inşaatının gerçekleştirileceği bölgedeki sismik durum ve zemin sınıfına bağlı olarak deprem etkisinin belirlenmesini sağlayan bir parametredir. Yapıların inşaa edileceği ilçe dolayısıyla Bölüm 2’de bölgenin zemin sınıfının ZD olduğu belirtilmişti. Bölgenin sismik durumu tasarım spektral ivme değerleri ile ifade edilmektedir. Bu değerler, TDTH’den [12] yapının tasarımının

gerçekleştirileceği deprem düzeyine bağlı olarak elde edilen spektral ivme değerlerinin, elde edilen spektral ivme değerine ve bölgenin zemin sınıfına bağlı olarak TBDY 2018 Tablo 2.1 ve 2.2’de [1] verilen yerel zemin etki katsayıları ile çarpılması sonucu belirlenmektedir. Dolayısıyla öncelikle deprem tasarım sınıfının belirlenmesi, sonrasında belirlenen deprem tasarım sınıfına bağlı olarak tasarım spektral ivme değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

TBDY 2018’de [1] tekrarlanma periyotlarına bağlı olarak dört farklı deprem yer hareketi düzeyi bulunmaktadır. Deprem tasarım sınıfının artması deprem etkisi ile ters orantılıdır. Diğer bir ifadeyle DD-1 en büyük deprem etkisini, DD-4 ise en küçük deprem etkisini ifade etmektedir. Deprem düzeyleri aşağıda açıklanmaktadır:

- “DD-1 deprem yer hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.
- DD-2 deprem yer hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.
- DD-3 deprem yer hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.
- DD-4 deprem yer hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.” [1]

TBDY 2018 [1] gereğince tasarımı gerçekleştirilen binaların deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için meydana gelecek etkileri karşılaması gerekmektedir. Aynı zamanda yapının taşıyıcı olmayan elemanlarının sık görülen depremlerde (DD-3) hasar almaması amacıyla etkin görel kat ötelemeleri üzerinden bir kontrol de gerçekleştirilmelidir. TBDY 2018 Denklem 4.33’te [1] etkin görel kat ötelemelerine ait bağıntı, TBDY 2018 Bölüm 4.9.1.3’te [1] de belirtilen kontrol için sınır durumun hesabına ilişkin açıklamalar yer almaktadır. Belirtilen kontrole ilişkin detaylar Bölüm 4.1’de yer almaktadır. TDTH’den [12] İstanbul ili Kadıköy ilçesi için DD-2 ve DD-3 deprem düzeyine ait spektral ivme değerleri elde edilmelidir. Dolayısıyla (40.994041°,

29.045669°) koordinatları için spektral ivme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen spektral ivme katsayıları ile yerel zemin etki katsayıları Çizelge 3.2’de yer almaktadır.

Çizelge 3.2 : Deprem yer hareketi düzeyleri DD-2 ve DD-3 için elde edilen ivme katsayıları.

Katsayılar		Deprem Yer Hareketi Düzeyi	
		DD-2	DD-3
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	0.948	0.381
1 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	0.260	0.104
Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	1.121	1.495
1 Saniye Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	2.080	2.392

Çizelge 3.2’de belirtilen spektral ivme katsayılarının, ilgili yerel zemin etki katsayıları ile çarpılması sonucunda tasarım spektral ivme katsayıları elde edilmektedir. Elde edilen değerler Çizelge 3.3’te yer almaktadır.

Çizelge 3.3 : Deprem yer hareketi düzeyleri DD-2 ve DD-3 için elde edilen tasarım ivme katsayıları.

Katsayılar		Deprem Yer Hareketi Düzeyi	
		DD-2	DD-3
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	1.063	0.570
1 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	0.541	0.249

Yapının tasarımı DD-2 deprem düzeyi için gerçekleştirileceğinden deprem tasarım sınıfı da DD-2 deprem düzeyi için belirlenmelidir. DD-2 deprem düzeyi için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısının 0.75 değerinden büyük ve bina kullanım sınıfının 3 olması dolayısıyla yapının deprem tasarım sınıfı, TBDY 2018 Tablo 3.2 [1] gereğince 1 olmaktadır. İlgili bölüm Çizelge 3.4’te gösterilmektedir.

TDTH’den [12] elde edilen spektral ivme değerlerine bağlı olarak TBDY 2018 Bölüm 2.3.4 [1] doğrultusunda denklem 3.1’de verilen TBDY 2018 Denklem 2.2 [1] ile denklem 3.2 ve 3.3’te verilen TBDY 2018 Denklem 2.3’te [1] belirtilen bağıntılar kullanılarak deprem yer hareketi düzeyi DD-2’ye ait yatay elastik tasarım spektrumu oluşturulmaktadır. İlgili bölüm gereğince sabit yer değiştirme bölgesine geçiş

periyodu olarak adlandırılan T_L periyodu değeri ise 6s olarak ele alınmaktadır. Bağıntılarda belirtilen $S_{ae}(T)$ ifadesi yatay elastik tasarım spektral ivmesini temsil etmektedir. Elde edilen yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 3.3'te yer almaktadır.

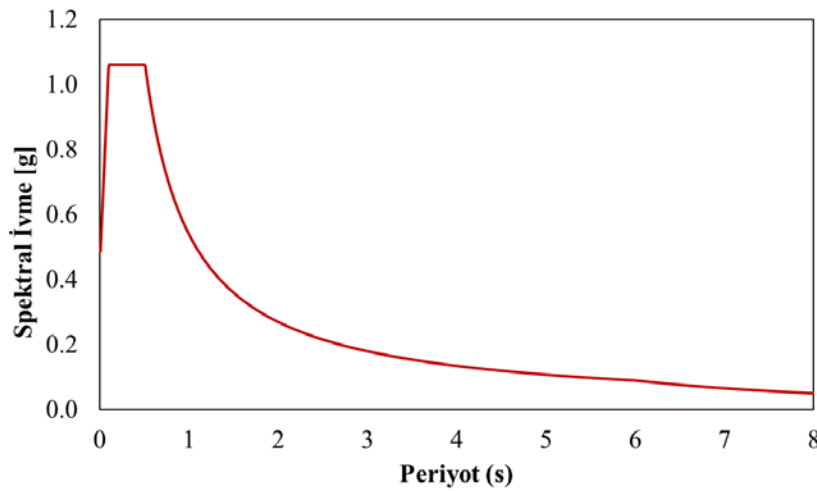
Çizelge 3.4 : Deprem tasarım sınıfları [1].

Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-2 için Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS= 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \times \frac{0.541}{1.063} = 0.102s \tag{3.2}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.541}{1.063} = 0.509s \tag{3.3}$$



Şekil 3.3 : Deprem yer hareketi düzeyi DD-2'ye ait yatay elastik tasarım spektrumu.

3.1.3 Bina yükseklik sınıfı

Bina yükseklik sınıfı, yapının deprem tasarım sınıfına ve bina yüksekliğine bağlı olarak TBDY 2018 Tablo 3.3 [1] doğrultusunda belirlenmektedir. İlgili tablo Çizelge 3.5'te gösterilmektedir. TBDY 2018 Bölüm 3.3.1.3 [1] gereğince bina yüksekliği, yapının bina tabanından çatı döşemesine kadar ölçülen yüksekliktir. Bina tabanı ise TBDY 2018 Bölüm 3.3.1'de [1] tanımlanmakta ve bodrumsuz binalar için temel üst kotu olarak alınabileceği belirtilmektedir. Tasarlanan yapıların bodrum katı bulunmadığı için yapıların bina tabanı, temel üst kotu olarak belirlenmiştir. Yapıların kat yüksekliklerinin tamamı 3.5m'dir. Dolayısıyla 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılara ait bina yükseklikleri (H_N) sırasıyla 10.5m, 21m, 31.5m ve 42m olmaktadır. Yapıların deprem tasarım sınıfı 1 olmak üzere 3, 6, 9 ve 12 katlı binaların bina yükseklik sınıfları sırasıyla 7, 5, 4 ve 4 olmaktadır.

Çizelge 3.5 : Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları [1].

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

3.1.4 Düzensizliklerin kontrolü

Yapıların tasarımı süresince dikkat edilmesi gereken konulardan biri de düzensizliklerdir. Binanın planda ve/veya düşeyde düzensizliğe sahip olması, yapının deprem etkisi altında öngörülemeyen davranışları sergilemesine sebep olabilmektedir. Bu nedenle düzensiz bina tasarımlarından kaçınılmalıdır. Yapıların düzensizlik durumları ve kontrol mekanizmaları TBDY 2018 Bölüm 3.6'da [1] açıklanmaktadır. Yapının tüm düzensizlik durumlarının irdelenebilmesi için tasarımının tamamlanmış

olması gerekmektedir. Dolayısıyla bu bölümde belirtilen değerler, Bölüm 5 sonucunda tasarlanan yapılar için elde edilen değerlerdir.

TBDY 2018 Tablo 3.6'da [1] yapıda meydana gelebilecek planda ve düşeyde düzensizlik durumlarına yer verilmektedir. Bu durumlar burulma düzensizliği (A1), döşeme süreksizlikleri (A2) ve planda çıkıntıların bulunması (A3) olarak belirtilmektedir. Düşeyde düzensizlik durumları ise komşu katlar arası dayanım düzensizliği (B1), komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (B2) ve taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (B3) olarak belirtilmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen yapının kat planı göz önüne alındığında yapıda çıkıntı, döşemede süreksizlik veya boşluk bulunmadığı ve yatay yük taşıyıcı sistemlerin planda düzenli olarak yerleştirildiği görülmektedir. Bu nedenle yapıda TBDY 2018 Tablo 3.6'da [1] belirtilen A2 ve A3 durumları oluşmamaktadır. Taşıyıcı sistemin düşey elemanları ele alındığında da herhangi bir süreksizlik veya ani rijitlik değişimleri gözlemlenmemektedir. Dolayısıyla yapı B1 ve B3 türü düzensizliklere sahip değildir.

TBDY 2018 Tablo 3.6'da [1] belirtilen A1 türü düzensizlik katsayısı, η_b , $\pm\%5$ dışmerkezlilik ile etkitilen deprem etkileri altında yapının herhangi bir katında meydana gelen en büyük görelî kat ötelemesi ile ortalama görelî kat ötelemelesi değerlerinin oranını ifade etmektedir. Bu değerin 1.2'den büyük olması hali yapıda burulma düzensizliği bulunduğunu göstermektedir.

TBDY 2018 Tablo 3.6'da [1] belirtilen B1 türü düzensizlik katsayısı, η_k , dışmerkezlilik ile etkitilen deprem etkileri altında yapının ardışık normal katlarında meydana gelen ortalama görelî kat ötelemeleri oranını ifade etmektedir. Bu değerin 2'den büyük olması, yapıda yumuşak kat olarak adlandırılan komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin bulunduğunu göstermektedir.

TBDY 2018 Bölüm 3.6.2.1'de [1] A1 ve B2 türü düzensizliklerin, yapıya etkiyecek deprem etkilerinin hesaplanmasına ilişkin yöntemin belirlenmesinde etkili olduğu ifade edilmektedir. Bu durum TBDY 2018 Tablo 4.4'te [1] görülmektedir. Tasarlanan binaların deprem tasarım sınıfının 1; 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların bina yükseklik sınıfları sırasıyla 7, 5, 4 ve 4 olması dolayısıyla ilgili tablo gereğince binaların herhangi bir katına ait burulma düzensizliği katsayısının 2'ye eşit veya küçük olması ve B2 türü düzensizliğe sahip olmaması durumunda deprem yükünün hesabı için eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabilmektedir. Dolayısıyla A1 ve B2 türü düzensizlikler TBDY

2018 Tablo 3.6’da [1] belirtildiği şekilde irdelenerek ilgili koşulların sağlandığı gösterilmelidir. A1 türü düzensizlik için TBDY 2018 Tablo 3.6’da [1] belirtilen sınır koşul daha kritik olduğundan sınır koşul olarak 1.2 değeri ele alınmaktadır. Yapıların her iki doğrultusu için belirtilen deprem etkileri altında açıklanan kontrol gerçekleştirilmektedir. Tüm yapılarda A1 ve B2 türü düzensizlik için gerekli koşullar sağlanmakta; yapılarda herhangi bir düzensizlik bulunmamaktadır. Örnek olması amacıyla 12 katlı yapı için değerler gösterilmektedir. 12 katlı yapının X ve Y doğrultusunda A1 türü düzensizlik için elde edilen değerler ve düzensizlik katsayısı sırasıyla Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de yer almaktadır. 12 katlı yapının her iki doğrultusunda B2 türü düzensizlik için elde edilen değerler ve düzensizlik katsayısı ise Çizelge 3.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.6 : 12 katlı yapının X doğrultusunda A1 türü düzensizlik koşulu kontrolü.

Kat	Δ_{maks}^X (m)	Δ_{min}^X (m)	$\Delta_{ortalama}^X$ (m)	η_b^X
12	0.0033	0.0030	0.0031	1.04
11	0.0037	0.0034	0.0035	1.04
10	0.0038	0.0035	0.0037	1.04
9	0.0039	0.0037	0.0038	1.04
8	0.0041	0.0038	0.0040	1.03
7	0.0042	0.0040	0.0041	1.03
6	0.0040	0.0038	0.0039	1.03
5	0.0040	0.0038	0.0039	1.03
4	0.0039	0.0037	0.0038	1.03
3	0.0038	0.0036	0.0037	1.03
2	0.0036	0.0035	0.0036	1.02
1	0.0034	0.0033	0.0034	1.02

Çizelge 3.7 : 12 katlı yapının Y doğrultusunda A1 türü düzensizlik koşulunun kontrolü.

Kat	Δ_{maks}^Y (m)	Δ_{min}^Y (m)	$\Delta_{ortalama}^Y$ (m)	η_b^Y
12	0.0072	0.0064	0.0068	1.06
11	0.0075	0.0066	0.0071	1.06
10	0.0078	0.0069	0.0073	1.06

Çizelge 3.7 (devam) : 12 katlı yapının Y doğrultusunda A1 türü düzensizlik koşulunun kontrolü.

Kat	Δ_{maks}^Y (m)	Δ_{min}^Y (m)	$\Delta_{ortalama}^Y$ (m)	η_b^Y
9	0.0074	0.0065	0.0069	1.07
8	0.0072	0.0063	0.0068	1.07
7	0.0069	0.0060	0.0065	1.07
6	0.0064	0.0056	0.0060	1.07
5	0.0059	0.0052	0.0055	1.07
4	0.0053	0.0046	0.0050	1.07
3	0.0048	0.0041	0.0045	1.07
2	0.0041	0.0035	0.0038	1.08
1	0.0031	0.0027	0.0029	1.08

Çizelge 3.8 : 12 katlı yapıda B2 türü düzensizlik koşulunun kontrolü.

Kat	$(\Delta^X/h)_{ortalama}$	η_k^X	$(\Delta^Y/h)_{ortalama}$	η_k^Y
12	0.0009	-	0.0019	-
11	0.0010	0.89	0.0020	0.96
10	0.0011	0.96	0.0021	0.96
9	0.0011	0.97	0.0020	1.06
8	0.0011	0.96	0.0019	1.02
7	0.0012	0.97	0.0019	1.04
6	0.0011	1.05	0.0017	1.08
5	0.0011	1.01	0.0016	1.08
4	0.0011	1.02	0.0014	1.11
3	0.0011	1.02	0.0013	1.12
2	0.0010	1.04	0.0011	1.17
1	0.0010	1.06	0.0008	1.31

3, 6 ve 9 katlı yapılar için elde edilen A1 türü düzensizlik katsayıları ise Çizelge 3.9’da gösterilmektedir. Belirtilen yapılar için elde edilen B2 türü düzensizlik katsayıları ise Çizelge 3.10’da yer almaktadır.

Çizelge 3.9 : 3, 6 ve 9 katlı bina için A1 düzensizlik koşulunun kontrolü.

Kat	3 Katlı Bina		6 Katlı Bina		9 Katlı Bina	
	η_b^X	η_b^Y	η_b^X	η_b^Y	η_b^X	η_b^Y
9	-	-	-	-	1.04	1.07
8	-	-	-	-	1.03	1.07
7	-	-	-	-	1.03	1.07
6	-	-	1.03	1.07	1.03	1.07
5	-	-	1.03	1.07	1.03	1.07
4	-	-	1.03	1.07	1.03	1.07
3	1.02	1.08	1.03	1.07	1.03	1.07
2	1.02	1.08	1.02	1.08	1.02	1.08
1	1.02	1.01	1.02	1.04	1.02	1.11

Çizelge 3.10 : 3, 6 ve 9 katlı bina için B2 düzensizlik koşulunun kontrolü.

Kat	3 Katlı Bina		6 Katlı Bina		9 Katlı Bina	
	η_k^X	η_k^Y	η_k^X	η_k^Y	η_k^X	η_k^Y
9	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	0.82	0.92
7	-	-	-	-	1.02	1.06
6	-	-	-	-	0.91	0.99
5	-	-	0.86	0.90	1.01	1.07
4	-	-	0.90	0.98	1.05	1.13
3	-	-	0.98	0.99	0.93	1.04
2	0.86	0.90	0.97	1.15	1.01	1.21
1	0.96	1.01	1.02	1.26	1.05	1.27

Bütün yapılarda elde edilen A1 ve B2 türü düzensizlik katsayılarının 1.2 değerinden küçük olması dolayısıyla yapılarda A1 ve B2 türü düzensizlik bulunmadığı görülmektedir.

3.1.5 Bina performans hedefinin belirlenmesi

Yeni yapılacak binaların tasarımında veya mevcut binaların performans değerlendirmesinde uygulanacak yaklaşımlar TBDY 2018 Tablo 3.4'te [1] deprem yer hareketi düzeyi, binanın deprem tasarım sınıfı ve bina yükseklik sınıfına bağlı olarak

gösterilmektedir. Tasarlanan yapıların ofis binası olması dolayısıyla yapıların tasarımının deprem yer hareketi düzeyi DD-2; görelî kat ötelemeleri kontrolünün deprem yer hareketi düzeyi DD-3 altında gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte yapıların deprem tasarım sınıfları Bölüm 3.1.2 gereğince 1 olarak belirlenmiştir. Yönetmeliğin ilgili bölümü gereğince yeni yapılacak çelik yapıların DD-2 deprem düzeyine göre tasarlanması, bina yükseklik sınıfının 2’den büyük ve deprem tasarım sınıfının 1 olması durumunda normal performans hedefi kontrollü hasar (KH), değerlendirme/tasarım yaklaşımı ise dayanıma göre tasarım (DGT) olmaktadır. İlgili tablo ve kullanılacak yaklaşımlar Çizelge 3.11’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.11 : Deprem tasarım sınıflarına göre performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları [1].

Yeni Yapılacak Dökme Betonarme, Ön üretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$)				
Deprem	DTS = 1, 1a, 2, 2a, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
Yer	Normal	Değerlendirme/	İleri	Değerlendirme/
Hareketi	Performans	Tasarım	Performans	Tasarım
Düzeyi	Hedefi	Yaklaşımı	Hedefi	Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

3.1.6 Eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

TBDY 2018 Tablo 3.4 [1] gereğince yapıların tasarımında dayanıma göre tasarım esaslarının uygulanmaktadır. DGT’nin uygulanmasına ilişkin detaylar TBDY 2018 Bölüm 4’te [1] açıklanmaktadır. İlgili bölüm gereğince tasarım, doğrusal hesap yöntemleri esasları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu hesap yönteminin uygulanması için eşdeğer deprem yükü veya modal hesap yöntemlerinin uygulanabileceği belirtilmektedir. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar TBDY 2018 Tablo 4.4’te [1] ifade edilmektedir. İlgili tablo, Çizelge 3.12’de yer almaktadır. Bölüm 3.1.4’te yapıların eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için Çizelge 3.12’de belirtilen koşulları sağladığı detaylıca gösterilmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde TBDY 2018 Bölüm 4’te [1] belirtilen

işlem adımları takip edilerek ve eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak binalara etkiyecek deprem etkileri elde edilmektedir.

Çizelge 3.12 : Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar.

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta $\eta_{bi} \leq 2$ koşulunun sağlandığı ve B2 türü düzensizliğin olmadığı binalar	BYS ≥ 4	BYS ≥ 5
Diğer tüm binalar	BYS ≥ 5	BYS ≥ 6

3.1.6.1 Yapıların hakim doğal titreşim periyotlarının belirlenmesi

SAP2000 [11] yapısal analiz programında modellenen 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılar için modal analiz gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen modal analiz sonucunda elde edilen yapıların X ve Y doğrultularındaki hakim doğal titreşim periyotları (T_p) Çizelge 3.13'te yer almaktadır.

Çizelge 3.13 : 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılara ait hakim doğal titreşim periyotları.

Bina Kat Sayısı	T_p^X (s)	T_p^Y (s)
3	0.290	0.340
6	0.516	0.701
9	0.774	1.099
12	1.070	1.608

TBDY 2018 Bölüm 4.7.3.2 [1] gereğince Çizelge 3.13'te yer alan hakim doğal titreşim periyodu değerlerinin, denklem 3.4'te verilen TBDY 2018 Denklem 4.24 [1] ile hesaplanan ampirik hakim doğal titreşim periyodu, T_{pA} , değerinin 1.4 katından daha fazla olmaması gerekmektedir.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (3.4)$$

Bağıntıda yer alan C_t katsayısı TBDY 2018 Bölüm 4.7.3.4(a) [1] gereğince çelik çaprazlı çerçevelerden oluşan binalar için 0.008 olarak ele alınmaktadır. H_N ifadesi ise yapının toplam yüksekliğini belirtmektedir. 3, 6, 9 ve 12 katlı binalar için elde edilen $1.4T_{pA}$ değeri Çizelge 3.14'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.14 : Binaların tasarımında ele alınacak en büyük periyot değerleri.

Bina Kat Sayısı	3	6	9	12
$1.4T_{pA}$ (s)	0.607	1.020	1.383	1.716

Çizelge 3.13'te gösterilen değerlerin Çizelge 3.14'te belirtilen değerden küçük olması dolayısıyla hesaplarda Çizelge 3.13'teki hakim doğal titreşim periyodu değerleri kullanılmaktadır.

3.1.6.2 Depreme katılan yapı kütlelerinin belirlenmesi

Yapıya etkiyecek deprem yükünün hesabında yapının kütlesi etkin olmaktadır. Yapının sabit yükünün depreme direkt olarak katılması kaçınılmaz iken hareketli yükler ile ilgili bir azaltma gerçekleştirilebilmektedir. TBDY 2018 Tablo 4.3'te [1] yapıların kullanım amacına bağlı olarak hareketli yük kütle katılım katsayıları belirtilmektedir. Bu azaltmadaki amaç, tasarımda ele alınan düşey doğrultudaki hareketli yüklerin tamamının deprem anında etkin olarak depreme katılması ihtimalinin düşüklüğüdür. Bu nedenle depreme katılmayacak bir kütlenin deprem hesabında ele alınmaması amacıyla hareketli yükler için azaltma katsayısı uygulanmaktadır. Çizelge 3.15'te yönetmelikte yer alan ilgili tablo bulunmaktadır.

Çizelge 3.15 : Hareketli yük kütle katılım katsayısı [1].

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

Binanın kullanım amacı tabloda belirtilen ifadeyle işyeri olduğu için binanın hareketli yük kütle katılım katsayısı 0.30 olmaktadır. Dolayısıyla depreme katılacak kütlenin belirlenmesinde $G+0.3Q$ yük birleşimi ele alınmaktadır. SAP2000 [11] yapısal analiz programında gerçekleştirilen analiz sonucunda 3, 6, 9 ve 12 katlı binalar için belirtilen yük birleşimi altında elde edilen toplam kat ve yapı kütleleri Çizelge 3.16'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.16 : 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılara ait toplam kat ve yapı kütleleri.

Kat	3 Katlı Bina m_i (kN-s ² /m)	6 Katlı Bina m_i (kN-s ² /m)	9 Katlı Bina m_i (kN-s ² /m)	12 Katlı Bina m_i (kN-s ² /m)
12	-	-	-	590.94
11	-	-	-	702.62
10	-	-	-	703.56
9	-	-	590.94	722.92
8	-	-	702.48	723.65
7	-	-	705.75	723.65
6	-	599.22	725.09	735.04
5	-	711.81	725.80	735.66
4	-	714.59	727.07	735.66
3	597.2	723.18	739.15	751.34
2	712.45	726.19	739.36	751.34
1	713.64	726.72	739.37	751.89
Σ	2023.29	4201.71	6395.01	8628.27

3.1.6.3 Deprem yükü azaltma katsayısının belirlenmesi

TBDY 2018 Tablo 4.1’de [1] yapıların taşıyıcı sistemine bağlı olarak taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) değerleri yer almaktadır. Bununla birlikte seçilen taşıyıcı sistem türü için yapıların bina yükseklik sınıfı üzerinden bir sınırlama belirtilmektedir. Tasarlanan binaların taşıyıcı sistemini yapıların hem X hem de Y doğrultusunda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler oluşturmaktadır. Yapıların tamamının bina yükseklik sınıfı 4 veya 4’e eşit olduğu için gerekli sınırlar içerisinde kalmaktadır. Dolayısıyla Çizelge 3.17’de gösterilen TBDY 2018 Tablo 4.1 C13 [1] gereğince yapının R değeri 5, D değeri ise 2 olmaktadır.

Yapının sünek davranışının oluşturulabilmesi amacıyla yapının tasarımında ele alınacak deprem yükleri, yapı periyoduna bağlı bir fonksiyon olan deprem yükü azaltma katsayısı ($R_a(T)$) ile azaltılmaktadır. Belirtilen katsayı yapı periyoduna bağlı olarak denklem 3.5’te verilen TBDY 2018 Denklem 4.1a veya 4.1b [1] ile elde edilmektedir.

Çizelge 3.17 : Bina taşıyıcı sistemleri için R, D ve BYS [1].

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları (BYS)
C13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	BYS ≥ 4

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

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B$$
(3.5)

Çizelge 3.13'te belirtilen yapı periyotları kullanılarak yapıların her iki doğrultusu için de deprem yükü azaltma katsayıları belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 3.18'de yer almaktadır.

Çizelge 3.18 : 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılar için deprem yüzü azaltma katsayısı.

Bina Kat Sayısı	Deprem Yükü Azaltma Katsayısı ($R_a(T)$)	
	X	Y
3	3.71	4
6	5	5
9	5	5
12	5	5

3.1.6.4 Toplam yatay eşdeğer deprem yükü hesabı

Yapıya etkiyecek toplam yatay eşdeğer deprem yükü (V_{TE}) TBDY 2018 4.17'de [1] belirtilen esaslar doğrultusunda, denklem 3.6'da gösterilen TBDY 2018 Denklem 4.19 [1] ile elde edilmektedir. Yapıların her iki doğrultusu için de belirtilen işlem gerçekleştirilmektedir. Denklemde belirtilen S_{aR} , azaltılmış tasarım ivme spektral ivmesini ifade etmektedir. Bu değer, denklem 3.7'de verilen TBDY 2018 Denklem 4.8

[1] gereğince yapının periyoduna karşılık gelen tasarım spektral ivmesinin Bölüm 3.1.6.3'te hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısına bölümüyle elde edilmektedir.

$$V_{tE} = m_t S_{aR}(T) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (3.6)$$

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.7)$$

Toplam yatay eşdeğer deprem yükü denklem 3.8'de gösterilen TBDY 2018 Denklem 4.21'de [1] belirtilen ifade doğrultusunda N katlı bir binada binanın N. katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü (ΔF_{NE}) ile katlara etkiyen yatay eşdeğer deprem yüklerinin, F_{iE} , toplamına eşit olmaktadır. Binanın çatı katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ile katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü ise denklem 3.9 ve 3.10'da verilen sırasıyla TBDY 2018 Denklem 4.22 ve 4.23 [1] gereğince elde edilmektedir.

$$V_{tE} = \Delta F_{NE} + \sum_{i=1}^N F_{iE} \quad (3.8)$$

$$\Delta F_{NE} = 0.0075 N V_{tE} \quad (3.9)$$

$$F_{iE} = (V_{tE} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (3.10)$$

Yönetmelikte belirtilen ifadeler doğrultusunda yapıların X ve Y doğrultusu için işlemler gerçekleştirilmiş ve katlara etkiyen yatay eşdeğer deprem yükleri elde edilmiştir. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılara ait sonuçlar sırasıyla Çizelge 3.19, Çizelge 3.20, Çizelge 3.21 ve Çizelge 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.19 : 3 katlı yapı için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü.

Kat	m_i (kN-s ² /m)	H_i (m)	$m_i H_i$ (kN-s ²)	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$F_{iE}^{(Y)}$ (kN)
3	597.20	10.5	6270.60	2662.52	2466.55
2	712.45	7	4987.15	2015.78	1867.41
1	713.64	3.5	2497.74	1009.57	935.26
Σ	2023.29	-	13755.49	5687.87	5269.22

Çizelge 3.20 : 6 katlı yapı için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü.

Kat	m_i (kN-s ² /m)	H_i (m)	$m_i H_i$ (kN-s ²)	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$F_{iE}^{(Y)}$ (kN)
6	599.22	21	12583.62	2455.37	1910.96
5	711.81	17.5	12456.68	2045.58	1592.03
4	714.59	14	10004.26	1642.85	1278.6
3	723.18	10.5	7593.39	1246.95	970.48
2	726.19	7	5083.33	834.76	649.68
1	726.72	3.5	2543.52	417.68	325.08
Σ	4201.71	-	50264.8	8643.19	6726.83

Çizelge 3.21 : 9 katlı yapı için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü.

Kat	m_i (kN-s ² /m)	H_i (m)	$m_i H_i$ (kN-s ²)	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$F_{iE}^{(Y)}$ (kN)
9	590.94	31.5	18614.61	1985.93	1398.64
8	702.48	28	19669.44	1472.95	1037.36
7	705.75	24.5	17290.88	1294.83	911.92
6	725.09	21	15226.89	1140.27	803.06
5	725.80	17.5	12701.50	951.15	669.88
4	727.07	14	10178.98	762.26	536.84
3	739.15	10.5	7761.08	581.19	409.32
2	739.36	7	5175.52	387.57	272.96
1	739.37	3.5	2587.80	193.79	136.48
Σ	6395.01	-	109206.7	8769.94	6176.46

Çizelge 3.22 : 12 katlı yapı için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü.

Kat	m_i (kN-s ² /m)	H_i (m)	$m_i H_i$ (kN-s ²)	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$F_{iE}^{(Y)}$ (kN)
12	590.94	42	24819.48	1779.04	1183.82
11	702.62	38.5	27050.87	1099.40	731.56
10	703.56	35	24624.60	1000.79	665.95
9	722.92	31.5	22771.98	925.50	615.85
8	723.65	28	20262.20	823.49	547.97

Çizelge 3.22 (devam) : 12 katlı yapı için katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü.

Kat	m_i (kN-s ² /m)	H_i (m)	$m_i H_i$ (kN-s ²)	$F_{iE}^{(X)}$ (kN)	$F_{iE}^{(Y)}$ (kN)
7	723.65	24.5	17729.43	720.56	479.48
6	735.04	21	15435.84	627.34	417.45
5	735.66	17.5	12874.05	523.23	348.17
4	735.66	14	10299.24	418.58	278.53
3	751.34	10.5	7889.07	320.63	213.35
2	751.34	7	5259.38	213.75	142.23
1	751.89	3.5	2631.62	106.95	71.17
Σ	8628.27	-	191647.76	8559.26	5695.53

Örnek işlem olması amacıyla 12 katlı binanın X doğrultusu için katlara etkiyen deprem etkilerinin hesabı gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Bölüm 3.1.2’de elde edilen yatay elastik tasarım spektrumu ile tasarım depremi altında yapıya X doğrultusunda etkiyecek ivme değerinin hesaplanması gerekmektedir. Tüm yapılar için elde edilen değerler Çizelge 3.23’te özetlenmektedir.

$$T_B = 0.509s < T_P^X = 1.070s < T_L = 6s$$

$$S_{ae}^X(T_P^X) = \frac{S_{D1}}{T_P^X} = \frac{0.541}{1.070} = 0.506$$

$$S_{aR}^X(T_P^X) = \frac{0.506}{5} = 0.101$$

$$V_{tE}^X = 8628.27 \times 0.101 \times 9.81 = 8559.25kN$$

$$T_B = 0.509s < T_P^Y = 1.608s < T_L = 6s$$

$$S_{ae}^Y(T_P^Y) = \frac{S_{D1}^Y}{T_P^Y} = \frac{0.541}{1.608} = 0.336$$

$$S_{aR}^Y(T_P^Y) = \frac{0.336}{5} = 0.067$$

$$V_{tE}^Y = 8628.27 \times 0.067 \times 9.81 = 5695.52kN$$

Çizelge 3.23 : 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılar için tasarım ve azaltılmış tasarım spektral ivme katsayıları.

İvme \ Kat	3	6	9	12
$S_{ae}(T_P^X)$	1.063	1.048	0.699	0.506
$S_{aR}(T_P^X)$	0.287	0.210	0.140	0.101
$S_{ae}(T_P^Y)$	1.063	0.7663	0.492	0.336
$S_{aR}(T_P^Y)$	0.265	0.163	0.098	0.067

Çatı katına ilave olarak etkitilecek ek eşdeğer deprem etkisinin hesaplanmasıyla Çizelge 3.16’de verilen, SAP2000 [11] yapısal analiz programından $G+0.3Q$ yük birleşimi altında elde edilen kat kütleleri ve toplam yapı kütlesi kullanılarak, katlara etkiyen yatay deprem etkisi elde edilmektedir. İşlemlerde sadece 12 katlı yapının X doğrultusunda katlara etkiyecek deprem etkilerinin hesabı gösterilmektedir.

$$\Delta F_{NE} = 0.0075 \times 12 \times 8559.25 = 770.33kN$$

$$F_{12E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{590.94 \times 42}{191647.76} + 770.33 = 1779.04kN$$

$$F_{11E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{702.62 \times 38.5}{191647.76} = 1099.40kN$$

$$F_{10E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{703.56 \times 35}{191647.76} = 1000.79kN$$

$$F_{9E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{722.92 \times 31.5}{191647.76} = 925.50kN$$

$$F_{8E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{723.65 \times 28}{191647.76} = 823.49kN$$

$$F_{7E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{723.65 \times 24.5}{191647.76} = 720.56kN$$

$$F_{6E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{735.04 \times 21}{191647.76} = 627.34kN$$

$$F_{5E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{735.66 \times 17.5}{191647.76} = 523.23kN$$

$$F_{4E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{751.34 \times 14}{191647.76} = 418.58kN$$

$$F_{3E} = (8559.25 - 770.33) \times \frac{587.75 \times 10.5}{191647.76} = 320.63kN$$

$$F_{2E} = (6811.24 - 613.01) \times \frac{751.34 \times 7}{191647.76} = 213.75kN$$

$$F_{1E} = (6811.24 - 613.01) \times \frac{751.89 \times 3.5}{191647.76} = 106.95kN$$

3.1.7 Düşey deprem etkisinin belirlenmesi

Depremi bir bileşeni olan düşey deprem, deprem etkisi altındaki binanın ağırlığının artmasına veya azalmasına sebep olan bir etkidir. TBDY 2018 Bölüm 4.4.3'te [1] detaylarına ve nasıl ele alınacağına dair açıklamalar bulunmaktadır. Tasarlanan yapıların hiçbirisi TBDY 2018 Bölüm 4.4.3.1'de [1] belirtilen durumları içermediğinden düşey deprem etkisi direkt olarak denklem 3.11'de verilen TBDY 2018 Denklem 4.10 [1] ile elde edilebilmektedir. İlgili bağıntıdan da görülebileceği üzere düşey deprem etkisi, yapının sabit yükü üzerinden tanımlanan ve sadece kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına (S_{DS}) bağlı bir parametredir.

$$E_d^Z \approx \frac{2}{3} S_{DS} G = \frac{2}{3} 1.063G = 0.709G \quad (3.11)$$

Düşey deprem etkisi sabit yüke bağlı bir büyüklük olarak elde edildiği için yük birleşimlerinde sabit yükün (G) katsayısı içerisine dahil edilerek analizlerde ele alınmaktadır. TBDY 2019 Denklem 4.11 ve 4.12'de [1] taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılacak deprem etkilerini içeren yük birleşimleri genel formunda verilmektedir. Yük birleşimlerinde yer alan G ibaresi sabit yükü, Q ibaresi hareketli yükü, S kar yükü etkisini ve H ise TBDY 2018 Bölüm 16'da [1] tanımlanan yatay zemin itkisini ifade etmektedir. E_d^H ve E_d^Z ibareleri ise sırasıyla yatay ve düşey deprem etkisini ifade etmektedir. TBDY 2018 Bölüm 4.4.4.2(a)'da [1] yapının tasarımında yük ve dayanım katsayıları ile tasarım yaklaşımının uygulanması durumunda TBDY 2018 Denklem 4.11'de [1] belirtilen yük birleşiminde sabit yük katsayısının 1 yerine 1.2 olarak alınabileceği belirtilmektedir. TBDY 2018 Bölüm 9.2.4.1'de [1] ise yük ve dayanım katsayıları ile tasarım yönteminin uygulanması durumunda deprem etkilerini içeren yük birleşimlerinde hareketli yük değerinin $5kN/m^2$ 'ye eşit veya daha küçük olması durumunda yük birleşimlerinde hareketli yük katsayısının %50 oranında azaltılabileceği belirtilmektedir.

$$G + Q + 0.20S + E_d^H + 0.30E_d^Z$$

$$0.90G + H + E_d^H - 0.30E_d^Z$$

Yük birleşimlerinde düşey deprem etkisinin katsayısı 0.30 olarak belirtilmektedir. Dolayısıyla öncelikle denklem 3.12 ile yük birleşiminde yer alacak düşey deprem etkisinin katsayısı belirlenmektedir. Sonrasında yük birleşimleri ile ilgili belirtilen açıklamalar göz önüne alınarak yük birleşimlerinin genel formu elde edilmektedir.

$$0.30E_d^Z = 0.30 \times 0.709G = 0.212G \quad (3.12)$$

$$1.412G + 0.50Q + 0.20S + E_d^H$$

$$0.688G + H + E_d^H$$

3.1.8 Yatay deprem etkilerinin etki noktaları

Tasarlanan binalarda A2 ve A3 türü düzensizliklerin meydana gelmeyeceği, sebebiyle birlikte Bölüm 3.1.4'te belirtilmişti. Bu nedenle yapıda tanımlanan döşemeler kendi düzlemleri içerisinde rijit diyafram olarak modellenmiştir. Bu durumda TBDY 2018 Bölüm 4.5.10.2 [1] gereğince ek dışmerkezlilik etkisi hesaba katılmalıdır. Bu nedenle yatay deprem etkileri, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki genişliğinin %5'i mertebesinde hem pozitif hem de negatif dışmerkezlilik uygulanarak kat kütle merkezine uygulanmaktadır. Yapının X doğrultusundaki genişliği 49m, Y doğrultusundaki genişliği ise 21m'dir. Dolayısıyla X ve Y doğrultularında uygulanacak mutlak dışmerkezlilik değerleri denklem 3.13 ve 3.14 doğrultusunda 2.45m ve 1.05m olmaktadır.

$$e_x = \mp 0.05 \times 49 = \mp 2.45m \quad (3.13)$$

$$e_y = \mp 0.05 \times 21 = \mp 1.05m \quad (3.14)$$

3.2 Rüzgar Etkilerinin Belirlenmesi

Yapıya etkiyecek rüzgar etkileri TS EN 1991-1-4 [13] esasları çerçevesinde elde edilmektedir. İlgili hesaplar çerçevesinde rüzgar etkileri dolayısıyla yapıya etkiyecek toplam taban kesme kuvveti ve bu kuvvetin yapı cephelerine yükseklik boyunca dağılışı elde edilmektedir.

Öncelikle rüzgar hızının temel değeri ($V_{b,0}$) belirlenmelidir. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği 5.3'te [6] rüzgar hızının temel değerinin 28m/s'den küçük ele alınmaması; yapı elemanlarına etkiyecek karakteristik rüzgar yükü değerinin de

0.50kN/m²'den az olmaması gerektiği vurgulanmaktadır. Dolayısıyla işlemlerde $V_{b,0}$ değeri 28m/s olarak ele alınmıştır.

Denklem 3.15'te verilen TS EN 1991-1-4 Denklem 4.1 [13] ile esas rüzgar hızı (v_b), rüzgar hızının temel değerinin doğrultu katsayısı (c_{dir}) ve mevsim katsayısı (c_{season}) ile çarpılması ile elde edilmektedir. TS EN 1991-1-4 [13] gereğince önerilen doğrultu ve mevsim katsayıları 1 olarak ele alınmış ve esas rüzgar hızı değeri elde edilmiştir.

$$v_b = c_{dir} c_{season} V_{b,0} \quad (3.15)$$

$$v_b = 1 \times 1 \times 28 = 28 \text{ m/s}$$

Rüzgar hızı, yüksekliğe bağlı olarak değişmekte ve bu değişim bölge özelliklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3'te [13] yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızındaki değişim açıklanmaktadır. Denklem 3.16'da gösterilen TS EN 1991-1-4 Denklem 4.3 [13] gereğince belirli yükseklikteki ortalama rüzgar hızı (v_m) esas rüzgar hızının c_r ve c_o ile gösterilen sırasıyla engebelilik ve orografî katsayıları ile çarpılması sonucu elde edilmektedir.

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b \quad (3.16)$$

Yapıların inşa edildiği arazi orografisinin rüzgar hızını artırmadığı varsayımı ile orografî katsayısı 1 olarak ele alınmaktadır. Engebelilik katsayısı ise TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3.2'de [13] açıklanmakta ve logaritmik hız profiline dayanan bağıntı ile elde edilmektedir. Bağıntıda yer alan k_r arazi katsayısını, z_0 engebelilik uzunluğunu, z_{min} TS EN 1991 Çizelge 4.1'de tanımlanan en düşük yüksekliği, z_{maks} ise 200m'yi ifade etmektedir. Arazi katsayısının hesabında kullanılan $z_{0,II}$ ifadesi TS EN 1991-1-4 Çizelge 4.1'de [13] arazi kategorisi II için belirtilen z_0 değeri olarak ele alınmaktadır. Denklem 3.17 ve 3.18'de verilen TS EN 1991-1-4 Denklem 4.4 ve 4.5 [13] ile ilgili parametreler aşağıda hesaplanmaktadır.

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad z_{min} \leq z \leq z_{maks} \quad (3.17)$$

$$c_r(z) = c_{r,z_{min}} \quad z \leq z_{min}$$

$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \quad (3.18)$$

Yapıların inşa edileceği bölge dolayısıyla yapının inşa edildiği bölgenin yapı yüzeyinin en az %15'inin yükseklik ortalaması 15m'yi aşan binalarla kaplı olacağı

varsayımıyla TS EN 1991-1-4 Çizelge 4.1 [13] gereğince arazi kategorisi IV olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla ilgili çizelgede belirtilen z_0 ve z_{min} değerleri sırasıyla 1 ve 10 olmaktadır. Tez çalışması kapsamında 3, 6, 9, 12 katlı olmak üzere sırasıyla 10.5, 21, 31.5, 42m yüksekliğine sahip yapıların tasarımı gerçekleştirilmektedir. Hesaplarda 12 katlı yapı ele alınmaktadır.

$$z_{min} = 10m < z = 42m < z_{maks} = 200m$$

$$k_r = 0.19 \times \left(\frac{1}{0.05} \right)^{0.07} = 0.234$$

$$c_r(z = 42m) = 0.234 \times \ln \left(\frac{42}{1} \right) = 0.875$$

$$v_m(z = 42m) = 0.875 \times 1 \times 28 = 24.50m/s$$

Tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı (q_p) yerden belirli yükseklikteki ortalama ve kısa süreli hız değişikliklerini içermektedir. Denklem 3.19'da gösterilen TS EN 1991-1-4 Denklem 4.8 [13] ile elde edilmektedir. Bağıntıda yer alan l_v türbülans şiddetini, ρ fırtına esnasındaki hava yoğunluğunu, c_e maruz kalma katsayısını ifade etmektedir.

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (3.19)$$

Fırtına esnasındaki hava yoğunluğu değeri, TS EN 1991-1-4'de [13] tavsiye edilen değer olan $1.25kg/m^3$ olarak ele alınmaktadır. Türbülans şiddeti ise denklem 3.20'de verilen TS EN 1991-1-4 Denklem 4.7 [13] ile elde edilmektedir. Bağıntıda yer alan k_I türbülans katsayısını ifade etmektedir. Bu değer için TS EN 1991-1-4 [13] tarafından tavsiye edilen değer olan 1 değeri ele alınmaktadır.

$$l_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} \quad z_{min} \leq z \leq z_{maks} \quad (3.20)$$

$$l_v(z) = l_v z_{min} \quad z < z_{min}$$

$$l_v(z = 42m) = \frac{1}{1 \times \ln \left(\frac{42}{1} \right)} = 0.268$$

$$q_p(z = 42m) = [1 + 7 \times 0.268] \times \frac{1}{2} \times 1.25 \times 24.50^2 \times 10^{-3} = 1.08kN/m^2$$

Yapı yüzeylerine etkiyen dış rüzgar basıncı (w_e) ve iç rüzgar basıncı (w_i) sırasıyla denklem 3.21 ve 3.22'de verilen TS EN 1991-1-4 Denklem 5.1 ve 5.2 [13] ile elde

edilmektedir. Bağıntılarda yer alan z_e dış basınç için referans yüksekliği, c_{pe} dış basınç için basınç katsayısını, z_i iç basınç için referans yüksekliğini ve c_{pi} iç basınç için basınç katsayısını temsil etmektedir. Yüzeylerde oluşacak net basınç ise iç basınç ile dış basıncın farkına eşittir.

$$w_e = q_p(z_e)c_{pe} \quad (3.21)$$

$$w_i = q_p(z_i)c_{pi} \quad (3.22)$$

Bina yüzeylerinde meydana gelen dış basınç katsayısı TS EN 1991-1-4 Çizelge 7.1'de [13] yapının yüksekliğinin (h), yapının rüzgar yönüne paralel boyutu (d) oranına bağlı olarak belirtilmektedir. Belirtilen çizelge Çizelge 3.24'te yer almaktadır. Yapının rüzgar yönüne dik boyutu b olmak üzere yapının yüzeyleri için ilgili oran hesaplanmaktadır.

X doğrultusu için oran 2 olarak elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} h &= 42m \\ b &= 49m \\ d &= 21m \end{aligned} \quad \frac{h}{d} = \frac{42}{21} = 2$$

Y doğrultusu için oran 0.857 olarak elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} h &= 42m \\ b &= 21m \\ d &= 49m \end{aligned} \quad \frac{h}{d} = \frac{42}{49} = 0.857$$

Çizelge 3.24 : Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için tavsiye edilen dış basınç katsayısı değerleri.

h/d	D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	0.8	1.0	-0.7	
1	0.8	1.0	-0.5	
≤ 0.25	0.7	1.0	-0.3	

Tabloda belirtilen $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ ifadeleri sırasıyla $10m^2$ ve $1m^2$ yüklenmiş yapı alanı için dış basınç katsayısını temsil etmektedir. Çalışmada $c_{pe,10}$ değeri ele alınmaktadır. Dolayısıyla ilgili durumlar için D ve E yüzeylerinde elde edilen dış basınç katsayıları Çizelge 3.25'te belirtildiği şekilde olmaktadır.

Çizelge 3.25 : 12 katlı yapının D ve E yüzeyleri için dış basınç katsayıları.

Doğrultu	D	E
X	0.800	-0.550
Y	0.781	-0.462

TS EN 1991-1-4 Bölüm 7.2.9’da [13] net basıncın dış basınçtan 0.2 veya -0.3 çıkartılması sonucunda elde edilen değerlerden en elverişsiz olanı ele alınarak belirlenebileceği belirtilmektedir. Belirtilen işlemin gerçekleştirilmesiyle elde edilen değerler Çizelge 3.26’da yer almaktadır.

Çizelge 3.26 : 12 katlı yapının D ve E yüzeyleri için net basınç katsayıları.

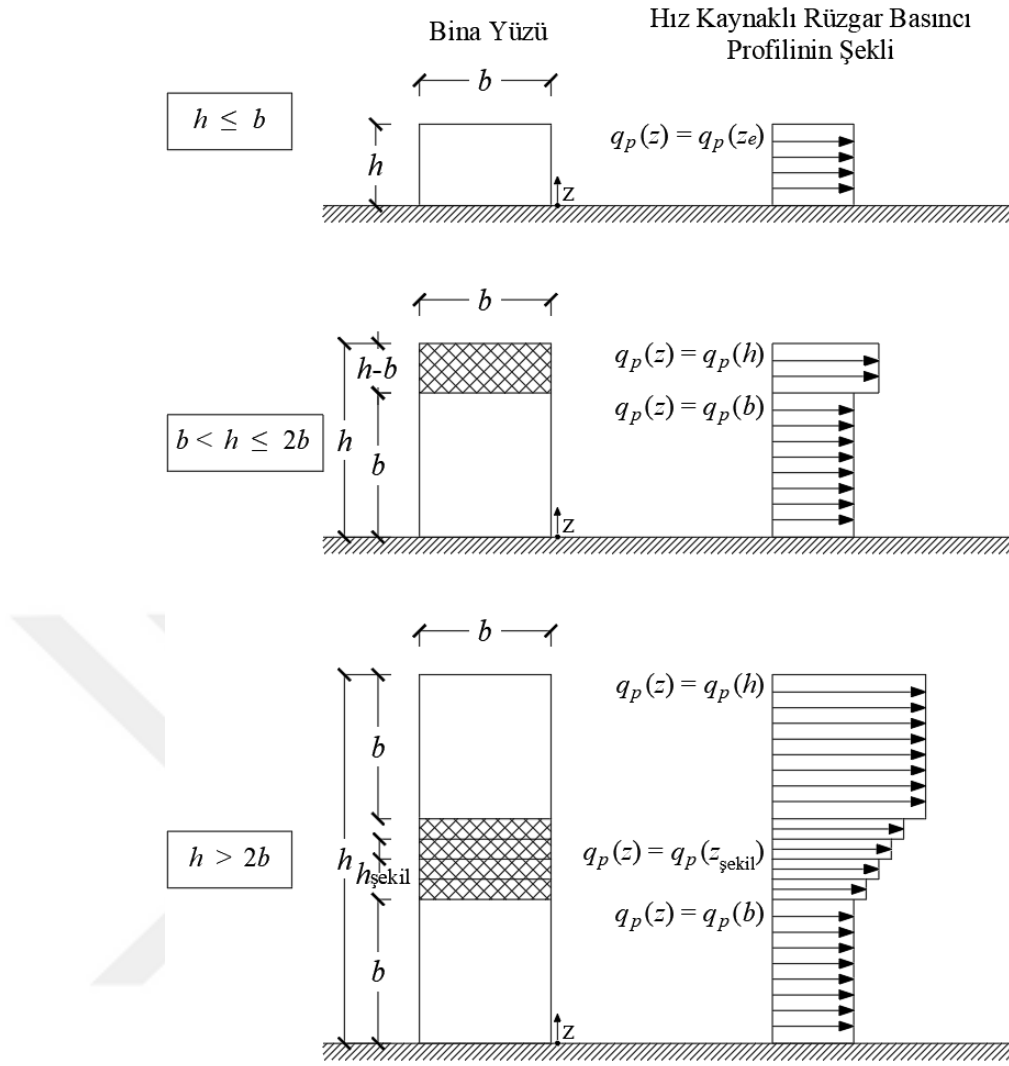
Durum	D	E
C _{pnet,X}	C _{pe} -0.2	0.600
	C _{pe} -(-0.3)	1.100
C _{pnet,Y}	C _{pe} -0.2	0.581
	C _{pe} -(-0.3)	1.081

Elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle belirlenen hesaplarda kullanılacak net basınç katsayıları Çizelge 3.27’de yer almaktadır.

Çizelge 3.27 : 12 katlı yapı için net basınç katsayıları.

Doğrultu	C _{pnet} (C _{pnet,D} -C _{pnet,E})
X	1.350
Y	1.243

Rüzgar basıncının yapı yüksekliği boyunca dağılımını belirlemek için TS EN 1991-1-4 Bölüm 7.2.2 [13] gereğince yapının yüksekliği ile yapının rüzgar yönüne dik doğrultudaki boyutunun karşılaştırılması gerekmektedir. Rüzgar basıncı profilleri Şekil 3.4’te gösterilmektedir. Yapının yüksekliği (h) 42m; yapının rüzgar yönüne dik doğrultudaki uzunluğu (b) X doğrultusu için 49m, Y doğrultusu için 21m’dir.



Şekil 3.4 : h ve b değerlerine bağlı hız kaynaklı rüzgar basıncı profilleri.

Şekil 3.4 gereğince X doğrultusu için durum aşağıda belirtildiği şekilde olmaktadır.

$$h=42m < b=49m$$

$$q_p(z) = q_p(h)$$

Şekil 3.4 gereğince Y doğrultusu için durum aşağıda belirtildiği şekilde olmaktadır.

$$b = 21m < h = 42m \leq 2b = 42m$$

$$q_p(z) = q_p(b) \quad z \leq b$$

$$q_p(z) = q_p(h) \quad z \geq h - b$$

Rüzgar basıncı profilinin belirlenmesi sonucunda yapı yüzeylerine etkiyecek toplam rüzgar yükü (w) denklem 3.23 ile hesaplanmaktadır.. Yapının yüzeylerine etkiyen rüzgar yükünün katlara dağılımı ise benzer şekilde elde edilmektedir. TS EN 1991-1-

4 [13] gereğince h/d oranının 1'e eşit veya daha küçük olması durumunda bileşke kuvvet 0.85 katsayısıyla çarpılmaktadır. Güvenli tarafta kalan bir yaklaşım olması amacıyla belirtilen azaltma uygulanmamaktadır.

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

X doğrultusu:

$$q_p(z = 42m) = [1 + 7 \times 0.268] \times \frac{1}{2} \times 1.25 \times 24.50^2 \times 10^{-3} = 1.08kN/m^2$$

$$w = 1.08 \times 1.350 \times A_{ref} = 1.458A_{ref}$$

$$A_{ref} = bh = 49 \times 42 = 2058m^2$$

$$w = 1.08 \times 1.350 \times 2058 = 3000.56kN$$

Y doğrultusu:

$$c_r(z = b = 21m) = 0.234 \times \ln\left(\frac{21}{1}\right) = 0.712$$

$$v_m(z = b = 21m) = 0.712 \times 1 \times 28 = 19.95m/s$$

$$l_v(z = b = 21m) = \frac{1}{1 \times \ln\left(\frac{21}{1}\right)} = 0.328$$

$$q_p(z = b = 21m) = [1 + 7 \times 0.328] \times \frac{1}{2} \times 1.25 \times 19.95^2 \times 10^{-3} = 0.82kN/m^2$$

$$w = 0.82 \times 1.243 \times A_{ref} = 1.019A_{ref}$$

$$A_{ref} = b^2 = 21^2 = 441m^2$$

$$w = 1.019 \times 441 = 449.49kN$$

$$q_p(z = h = 42m) = [1 + 7 \times 0.268] \times \frac{1}{2} \times 1.25 \times 24.50^2 \times 10^{-3} = 1.08kN/m^2$$

$$w = 1.08 \times 1.243 \times A_{ref} = 1.342A_{ref}$$

$$A_{ref} = b(h - b) = 21 \times (42 - 21) = 441m^2$$

$$w = 1.342 \times 441 = 592.02kN$$

$$\Sigma w = 440.40 + 592.02 = 1041.45kN$$

Elde edilen sonuçlar çerçevesinde X doğrultusunda yapıya etkiyen toplam rüzgar kuvveti 1032.42kN iken Y doğrultusunda bu değer 3000.56kN olmaktadır. Gerçekleştirilen işlemlerde referans alan değerinin, rüzgar yükünün hesaplanacağı kat döşemesinin üstündeki katın ortası ile altındaki katın ortası arasındaki uzunluğun, yapının rüzgar yönüne dik doğrultudaki uzunluğu ile çarpımı olarak ele alınmasıyla katlara etkiyecek rüzgar kuvveti elde edilmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen 3, 6, 9 ve 12 katlı binalar için de aynı işlemler gerçekleştirilerek binalara etkiyecek rüzgar yükleri elde edilmiştir. Sonuçlar sırasıyla Çizelge 3.28, Çizelge 3.29, Çizelge 3.30 ve Çizelge 3.31’de yer almaktadır. Tablolarda belirtilen yükseklik ifadesi referans alan hesabında kullanılan uzunluğu ifade etmektedir.

Çizelge 3.28 : 3 katlı yapıya etki eden rüzgar kuvveti.

Kat	Yükseklik (m)	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
		Rüzgar Kuvveti (kN)	Rüzgar Kuvveti (kN)
3	1.75	55.65	21.68
2	3.50	111.30	43.36
1	3.50	166.94	65.04
Σ		333.89	130.09

Çizelge 3.29 : 6 katlı yapıya etki eden rüzgar kuvveti.

Kat	Yükseklik (m)	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
		Rüzgar Kuvveti (kN)	Rüzgar Kuvveti (kN)
6	1.75	91.46	32.31
5	3.50	182.93	64.61
4	3.50	182.93	64.61
3	3.50	182.93	64.61
2	3.50	182.93	64.61
1	3.50	274.39	96.92
Σ		1097.58	387.68

Çizelge 3.30 : 9 katlı yapıya etki eden rüzgar kuvveti.

Kat	Yükseklik (m)	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
		Rüzgar Kuvveti (kN)	Rüzgar Kuvveti (kN)
9	1.75	109.90	41.13

Çizelge 3.30 (devam) : 9 katlı yapıya etki eden rüzgar kuvveti.

Kat	Yükseklik (m)	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
		Rüzgar Kuvveti (kN)	Rüzgar Kuvveti (kN)
8	3.50	219.81	82.27
7	3.50	219.81	82.27
6	3.50	219.81	76.03
5	3.50	219.81	69.78
4	3.50	219.81	69.78
3	3.50	219.81	69.78
2	3.50	219.81	69.78
1	3.50	329.71	104.67
Σ		1978.26	665.51

Çizelge 3.31 : 12 katlı yapıya etki eden rüzgar kuvveti.

Kat	Yükseklik (m)	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
		Rüzgar Kuvveti (kN)	Rüzgar Kuvveti (kN)
12	1.75	125.02	49.33
11	3.50	250.05	98.67
10	3.50	250.05	98.67
9	3.50	250.05	98.67
8	3.50	250.05	98.67
7	3.50	250.05	98.67
6	3.50	250.05	86.79
5	3.50	250.05	74.92
4	3.50	250.05	74.92
3	3.50	250.05	74.92
2	3.50	250.05	74.92
1	5.25	375.07	112.37
Σ		3000.56	1041.45

3.3 Yük Birleşimlerinin Belirlenmesi

Binanın tasarımında yapının sabit yükü, hareketli yükler, deprem ve rüzgar etkileri ele alınmaktadır. Belirtilen etkilerin ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği 5.3.1 [6], TBDY 2018

4.4 [1] ve TBDY 2018 9.2.5'e [1] uygun olarak belirli katsayılar ile çarpılmasıyla yapının tasarımında kullanılacak yük birleşimleri elde edilmektedir. Yapı elemanlarının tasarımında belirtilen yük birleşimlerinden elde edilen iç kuvvetler kullanılmaktadır. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 6.2.2 [6] gereğince stabilite analizinde geometrik ön kusurların etkilerini yapı tasarımında göz önüne almak amacıyla yapıya yatay doğrultuda fiktif yükler (N) etkililmektedir. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 6.2.2.1 [6] gereğince YDKT yük birleşiminden ötürü azaltılmış rijitliklerin ele alındığı sistemde hesaplanan ikinci mertebe yer değiştirmelerin birinci mertebe yer değiştirmelere oranını ifade eden B_2 katsayısının 1.7 değerine eşit veya daha küçük olması durumunda belirtilen fiktif yükler, sadece düşey etkileri içeren yük birleşimlerinde ele alınabilmektedir. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 6.5.2.2 [6] doğrultusunda B_2 katsayısı yapının tüm katlarında her iki doğrultu için denklem 3.24'te gösterilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 6.12 [6] ile hesaplanmaktadır. Denklemde yer alan α değeri YDKT için 1 olmak üzere, P_{kat} ilgili katın tüm düşey taşıyıcı elemanlarına etkiyen toplam düşey yükü; $P_{e,kat}$ ilgili doğrultuda ilgili kata ait elastik burkulma yükünü ifade etmektedir. $P_{e,kat}$ değeri ise denklem 3.25'te verilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 6.13 [6] ile elde edilmektedir. Denklemde yer alan H ilgili doğrultuda yatay yüklerden oluşan kat kesme kuvvetini, L kat yüksekliğini, Δ_H ilgili doğrultuda elde edilen birinci mertebe görelî kat ötelemesini, R_M ise denklem 3.26'da belirtilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 6.14 [6] ile hesaplanan $P-\delta$ 'nın $P-\Delta$ üzerindeki etkisini göz önüne alan katsayıyı ifade etmektedir. Denklem 3.26'da yer alan P_{mf} ifadesi çaprazlı çerçeveler için sıfır olarak ele alındığı için R_M ifadesi 1'e eşit olmaktadır.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e,kat}}} \geq 1 \quad (3.24)$$

$$P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \quad (3.25)$$

$$R_M = 1 - 0.15 \left(\frac{P_{mf}}{P_{kat}} \right) = 1 \quad (3.26)$$

Açıklanan koşulun sağlanması dolayısıyla geometrik ön kusurları göz önüne almak amacıyla fiktif yükler sadece düşey yükleri içeren yük birleşimleri içerisinde ele alınmaktadır. Bu doğrultuda SAP2000 [11] yapısal analiz programında tanımlanması gereken yük birleşimleri aşağıda belirtilen şekilde olmaktadır.

Düşey Yük Birleşimleri:

$$1.4(G + N_G)$$

$$1.2(G + N_G) + 1.6(Q_r + N_{Qr})$$

$$1.2(G + N_G) + 1.6(S + N_S)$$

$$1.2(G + N_G) + 1.6(Q + N_Q) + 0.5(Q_r + N_{Qr})$$

$$1.2(G + N_G) + 1.6(Q + N_Q) + 0.5(S + N_S)$$

$$1.2(G + N_G) + 1.6(Q_r + N_{Qr}) + 1.0(Q + N_Q)$$

$$1.2(G + N_G) + 1.6(S + N_S) + 1.0(Q + N_Q)$$

Düşey Yük + Deprem Birleşimleri:

$$1.412G + 0.5Q + 0.2S \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)}$$

$$1.412G + 0.5Q + 0.2S \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$$

$$0.688G \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)}$$

$$0.688G \pm E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$$

Düşey Yük + Rüzgar Birleşimleri:

$$1.2G \pm 1.6Q_r \pm 0.8W$$

$$1.2G \pm 1.0Q \pm 0.5Q_r \pm 1.6W$$

$$0.9G \pm 1.6W$$

Rüzgar ve deprem etkileri göz önüne alındığında yapıda deprem etkilerinin daha etkin olduğu görülmektedir. Dolayısıyla taşıyıcı elemanların tasarımında gerekli dayanımlar elde edilirken deprem etkilerini içeren yük birleşimlerinden elde edilen sonuçlar daha elverişsiz olmaktadır.

Bölüm 3.1.8’de belirtildiği üzere yatay deprem etkileri $\pm\%5$ dışmerkezlik dikkate alınarak SAP2000 [11] yapısal analiz programında tanımlanmıştır. Bununla birlikte birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki deprem etkilerinin birleştirilmesi amacıyla oluşturulan yük birleşimlerinde 0.30 katsayısı ile çarpılan deprem etkilerinde dışmerkezlik uygulanmamış, etkiler direkt olarak binanın kütle merkezine etkilmiştir.

Yukarıdaki düşey yük birleşimlerinde yer alan fiktif yükler, N_G , N_Q , N_{Qr} ve N_S , denklem 3.27’de verilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 6.1 [6] ile hesaplanmaktadır. İfadede yer alan N ibaresi kata ilgili etki dolayısıyla etkiyecek yatay fiktif yükü, Y ise ilgili yük birleşimleri ile belirlenen ve ilgili kat döşemesine etkileyen toplam düşey yükü temsil etmektedir. Bağıntıda yer alan α değeri ise katsayı olmakla birlikte yük ve dayanım katsayılarına göre tasarım için 1 olarak ifade edilmektedir. Fiktif yatay etkiler direkt olarak SAP2000 [11] yapısal analiz programı yardımıyla otomatik olarak oluşturularak yük birleşimleri içerisine dahil edilmektedir.

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



4. BİNA TAŞIYICI SİSTEMİNLERİNİN YAPISAL ANALİZİ

Yapıların tasarımında ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 6.3'te [6] açıklanan genel analiz yöntemi kullanılmıştır. İlgili bölüm gereğince genel analiz yönteminde elemanların boyutlandırılmasında kullanılacak gerekli dayanımlar, azaltılmış eleman rijitlikleri kullanılarak elde edilmelidir. Fakat görelî kat ötelemeleri ve sehîm kontrolleri aşamasında azaltılmamış eleman rijitliklerinin kullanılması gerekmektedir. Bununla birlikte ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 6.5'te [6] açıklanan yaklaşık ikinci mertebe etkiler de göz önüne alınmalıdır. Gerçekleştirilen analizlerde ikinci mertebe etkiler SAP2000 [11] yapısal analiz programında doğrusal yük birleşimlerinin doğrusal olmayan yük birleşimlerine dönüştürülmesi sonucunda direkt olarak ele alınmaktadır.

4.1 Etkin Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü

Sık meydana gelen depremlerde taşıyıcı olmayan elemanların hasar almaması amacıyla yapı tasarımında etkin görelî kat ötelemeleri kontrolü gerçekleştirilmektedir. İlgili kontrole ilişkin detaylar TBDY 2018 Bölüm 4.9'da [1] yer almaktadır. Kontrol için $\pm\%5$ ek dışmerkezlikle uygulanmış deprem etkileri kullanılmaktadır.

Yapıların tasarım sürecinde SAP2000 [11] yapısal analiz programında tanımlanan deprem etkileri, deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için elde edilen azaltılmış deprem etkileridir. Dolayısıyla belirtilen deprem etkilerinden dolayı yapı katlarında oluşacak ötelemeler de azaltılmış ötelemeler olmaktadır. Ardışık iki kat arasındaki öteleme farkı ise TBDY 2018 Bölüm 4.9.1.1'de [1] belirtildiği üzere azaltılmış görelî kat ötelemesini ifade etmektedir. İfadeye ilişkin bağıntı ise denklem 4.1'de gösterilen TBDY 2018 Denklem 4.32'de [1] verilmektedir.

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (4.1)$$

Deprem etkilerinin deprem yükü azaltma katsayısı ile azaltılması dolayısıyla, elde edilen görelî kat ötelemelerinin deprem yükü azaltma katsayısı ile artırılması

durumunda etkin görelî kat ötelemesi (δ) elde edilmektedir. TBDY 2018 Denklem 4.33'te [1] belirtilen ilgili bağıntı denklem 4.2'de gösterilmektedir.

$$R_a = \frac{R}{I}$$

$$\delta_i = R_a \Delta_i \quad (4.2)$$

Elde edilen görelî kat ötelemelerinin DD-2 deprem düzeyine ait olması ve etkin görelî kat ötelemelerinin sık meydana gelen depremler (DD-3) için gerçekleştirilmesi dolayısıyla bir dönüştürme gerçekleştirilmelidir. Belirtilen dönüşüm, elde edilen değerlerin TBDY 2018 Bölüm 4.9.1.4'te [1] DD-3 ve DD-2 deprem düzeyleri için yapının kontrolün gerçekleştirildiği deprem doğrultusundaki hakim periyoduna karşılık gelen elastik tasarım spektral ivmelerinin oranı olan λ katsayılı ile çarpılması sonucu gerçekleştirilmektedir. İlgili bağıntılar denklem 4.3 ve 4.4'te verilmektedir.

$$\lambda^X = \frac{S_{ae}(T_p^X)_{DD-3}}{S_{ae}(T_p^X)_{DD-2}} \quad (4.3)$$

$$\lambda^Y = \frac{S_{ae}(T_p^Y)_{DD-3}}{S_{ae}(T_p^Y)_{DD-2}} \quad (4.4)$$

Yapının dolgu duvarları ile çerçeve arasındaki bağlantıya bağlı olarak denklem 4.5 ve 4.6'da verilen TBDY 2018 4.9.1.3(a) ve (b)'de [1] belirtilen bağıntı kullanılarak etkin görelî kat ötelemesi kontrolü gerçekleştirilmektedir. Bağıntılarda yer alan κ katsayısı TBDY 2018 4.9.1.4 [1] gereğince çelik yapılarda 0.50 olarak alınmaktadır.

$$\lambda \frac{\delta_{maks}^{X,Y}}{h} \leq 0.008\kappa = 0.008 \times 0.50 = 0.004 \quad (4.5)$$

$$\lambda \frac{\delta_{maks}^{X,Y}}{h} \leq 0.016\kappa = 0.016 \times 0.50 = 0.008 \quad (4.6)$$

deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için yapılara etkiyecek azaltılmış ve azaltılmamış elastik tasarım spektral ivmeleri elde edilmişti. Bu değerler Çizelge 3.23'te yer almaktadır. Deprem yer hareketi düzeyi DD-3 için yapılara etkiyecek elastik tasarım spektral ivmesi ve deprem yer hareketi düzeyi DD-3'e ait elastik tasarım spektral ivmesinin deprem yer hareketi düzeyi DD-2'ye ait elastik tasarım spektral ivmesine oranı olan λ katsayısı Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1 : DD-3 deprem düzeyi için elastik tasarım spektral ivmeleri ve λ katsayıları.

İvme \ Kat	3	6	9	12
$S_{ae}(T_P^X)$	0.570	0.483	0.322	0.233
$S_{ae}(T_P^Y)$	0.570	0.376	0.227	0.155
λ^X	0.536	0.461	0.461	0.460
λ^Y	0.536	0.460	0.461	0.461

Tasarlanan yapıların X ve Y doğrultuları için azaltılmamış eleman rijitliklerinin kullanıldığı modelden elde edilen kat ötelemeleri değerleri ve etkin görelî kat öteleme kontrolü için hesaplanan parametreler sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te yer almaktadır.

Çizelge 4.2 : 12 katlı yapının X doğrultusu için etkin görelî kat öteleme kontrolü.

Kat	h (m)	u^X (m)	Δ^X (m)	δ^X (m)	$\lambda^X \delta^X / h$
12	3.5	0.0458	0.0033	0.0163	0.0021
11	3.5	0.0425	0.0037	0.0183	0.0024
10	3.5	0.0388	0.0038	0.0191	0.0025
9	3.5	0.0350	0.0039	0.0197	0.0026
8	3.5	0.0311	0.0041	0.0205	0.0027
7	3.5	0.0270	0.0042	0.0211	0.0028
6	3.5	0.0228	0.0040	0.0201	0.0026
5	3.5	0.0188	0.0040	0.0199	0.0026
4	3.5	0.0148	0.0039	0.0195	0.0026
3	3.5	0.0109	0.0038	0.0190	0.0025
2	3.5	0.0071	0.0036	0.0182	0.0024
1	3.5	0.0034	0.0034	0.0172	0.0023

Çizelge 4.3 : 12 katlı yapının Y doğrultusu için etkin görelî kat öteleme kontrolü.

Kat	h (m)	u^Y (m)	Δ^Y (m)	δ^Y (m)	$\lambda^Y \delta^Y / h$
12	3.5	0.0737	0.0072	0.0361	0.0048
11	3.5	0.0665	0.0075	0.0376	0.0050
10	3.5	0.0590	0.0078	0.0390	0.0051

Çizelge 4.3 (devam) : 12 katlı yapının Y doğrultusu için etkin görelî kat ötelemesi kontrolü.

Kat	h (m)	u^X (m)	Δ^Y (m)	δ^Y (m)	$\lambda^Y \delta^Y/h$
9	3.5	0.0512	0.0074	0.0368	0.0049
8	3.5	0.0438	0.0072	0.0361	0.0048
7	3.5	0.0366	0.0069	0.0346	0.0046
6	3.5	0.0297	0.0064	0.0320	0.0042
5	3.5	0.0233	0.0059	0.0296	0.0039
4	3.5	0.0173	0.0053	0.0267	0.0035
3	3.5	0.0120	0.0048	0.0239	0.0032
2	3.5	0.0072	0.0041	0.0205	0.0027
1	3.5	0.0031	0.0031	0.0157	0.0021

3, 6 ve 9 katlı yapılar için elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.4'te yer almaktadır.

Çizelge 4.4 : 3, 6 ve 9 katlı yapıların etkin görelî kat ötelemesi kontrolü.

Kat	9 Katlı Bina		6 Katlı Bina		3 Katlı Bina	
	$\lambda^X \delta^X/h$	$\lambda^Y \delta^Y/h$	$\lambda^X \delta^X/h$	$\lambda^Y \delta^Y/h$	$\lambda^X \delta^X/h$	$\lambda^Y \delta^Y/h$
9	0.0018	0.0018	-	-	-	-
8	0.0022	0.0023	-	-	-	-
7	0.0022	0.0022	-	-	-	-
6	0.0024	0.0024	0.0016	0.0016	-	-
5	0.0024	0.0024	0.0019	0.0019	-	-
4	0.0022	0.0022	0.0021	0.0021	-	-
3	0.0024	0.0024	0.0021	0.0021	0.0009	0.0010
2	0.0024	0.0024	0.0022	0.0022	0.0011	0.0012
1	0.0023	0.0023	0.0021	0.0021	0.0011	0.0012

12 katlı yapının Y doğrultusunda 8 ile 12 katları arasındaki katlarda TBDY 2018 Denklem 4.34a'da [1] belirtilen koşulun sağlanmaması, 4.34b'deki koşulun sağlanması dolayısıyla duvarların çerçeve ile bağlantılarının esnek olarak tasarlanması gerektiğine karar verilmiştir. Dolayısıyla tüm yapılarda etkin görelî kat ötelemesi kontrolü sağlanmaktadır.

4.2 İkinci Mertebe Etkiler

İkinci mertebe etkilerin, kullanılan yapısal analiz programı tarafından ele alınmaması durumunda ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 6.5'te [6] belirtilen esaslar doğrultusunda hesaba katılması gerekmektedir. Fakat tez çalışması kapsamında boyutlandırma aşaması için SAP2000 [11] yapısal analiz programı kullanılmış ve belirtilen programın yük birleşimlerinin doğrusal olmayan yük birleşimlerine dönüştürülmesi ile ikinci mertebe etkileri hesaba katması dolayısıyla ilave bir işlem gerçekleştirilmemiştir. Boyutlandırma aşamasında kullanılan değerler direkt olarak SAP2000 [11] yapısal analiz programından elde edilen ve ikinci mertebe etkileri içeren değerlerdir.





5. YAPILARIN TASARIMI

Bu bölüm kapsamında yapıda yer alan düşey ve yatay taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasıyla birlikte çaprazların birleşim detayı ele alınmaktadır.

5.1 Tali Kirişlerin Boyutlandırılması

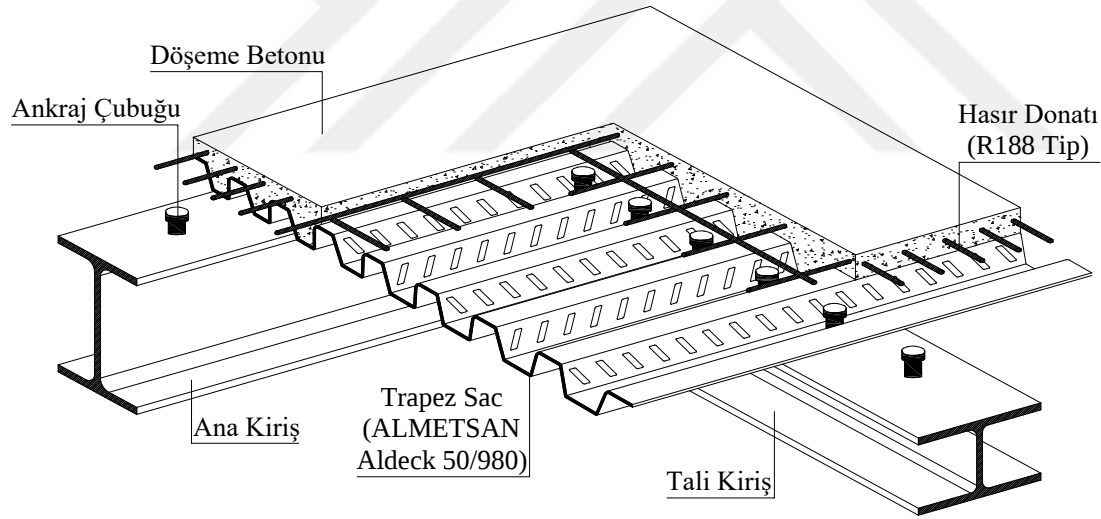
Tali kirişler, döşeme yüklerinin ana kirişlere aktarılmasını sağlayan ikincil elemanlardır. Her iki ucunda da moment aktarmayan (mafsallı) birleşim teşkil edilmiştir. Döşeme yükleri dolayısıyla sadece eğilme momenti ve kesme kuvveti meydana gelmektedir. Tali kiriş boyutlandırılırken belirtilen etkileri karşılayacak enkesitin seçilmesi ve işletme yükleri altında kullanılabilirlik sınır durumunun kontrol edilmesi gerekmektedir.

Tali kirişin kapasitesi, kirişin eğilme etkisinde akma sınır durumu, basınç etkisi altında enkesitin başlık ve/veya gövde parçasının yerel burkulma dayanımı ve basınç etkisindeki başlığın yanal burulmalı burkulma dayanımı belirlenerek elde edilmektedir. Yerel burkulma, eleman enkesitinin elemanda oluşacak etkilere yetersizliği nedeniyle enkesit parçalarında oluşan bölgesel burkulmadır. Eleman bazında burkulma ise yanal burulmalı burkulma olarak gerçekleşmektedir. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 5.4.1’de [6] basınç etkisindeki enkesitlerin yerel burkulma sınır durumunun enkesit narinliği, eğilme etkisindeki enkesitin yerel burkulma sınır durumunun ise enkesit kompaktlığı dikkate alınarak belirlendiği açıklanmaktadır. Enkesitin narinlik ve kompaktlık durumu enkesit parçalarının genişlik ile kalınlık oranına bağlı olarak elde edilmekte ve sınır durumlar sırasıyla ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1A ve 5.1B’de [6] yer almaktadır. Kompakt enkesite sahip elemanlar, yerel burkulma sınır durumuna ulaşmadan akma veya yanal burulmalı burkulma sınır durumuna ulaşmaktadır. Kompakt olmayan ve narin enkesit parçalarına sahip elemanlarda ise yerel burkulma sınır durumu veya yanal burulmalı burkulma sınır durumu meydana gelmektedir. İki durumun da irdelenmesi ve enkesit dayanımının elverişsiz sınır duruma göre belirlenmesi gerekmektedir. Fakat kompakt olmayan elemanlarda yerel stabilite sorunları meydana gelmektedir. Dolayısıyla

enkesitin yerel burkulma durumu göz önüne alındığında tasarım açısından kötüden iyiye sıralama narin, kompakt olmayan, kompakt enkesit şeklinde olmaktadır. Sonuç olarak tali kirişlerin boyutlandırılması için izlenecek adımlar aşağıda belirtildiği şekilde olmaktadır:

1. Enkesit Koşulları Kontrolü
2. Tasarım Eğilme Dayanımının Belirlenmesi
3. Tasarım Kesme Dayanımının Belirlenmesi
4. Kullanılabilirlik Sınır Durumu Kontrolü

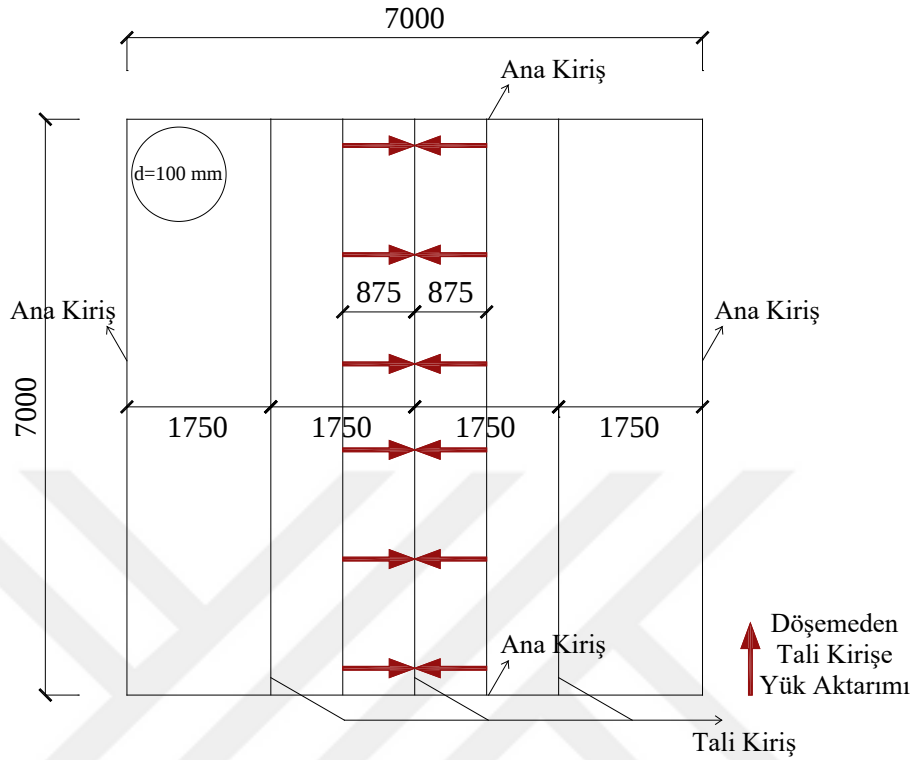
Tali kirişlerin tamamının uzunluğu 7m ve yerleşim aralığı 1.75m'dir. Şekil 5.1'de görüldüğü üzere tali kirişler çelik ankrajlar ile döşemeye mesnetli olduğu için yanal doğrultuda harekete karşı tutulu olmaktadır. Dolayısıyla ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 9.2.2(a) [6] doğrultusunda boyutlandırma aşamasında yanal burulmalı burkulma sınır durumunun irdelenmesi gerekmemektedir.



Şekil 5.1 : Şematik döşeme gösterimi.

Tasarlanan 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların kat planı ve yükleme durumları aynı olduğu için tali kirişlerde meydana gelecek en elverişsiz etkiler de tüm yapılarda aynı olmaktadır. Tali kirişe etki eden hesap yükü elde edilirken düşey yüklerden oluşan 1.2G+1.6Q yük birleşimi ele alınmaktadır. SAP2000 [11] yapısal analiz programı kullanılarak tali kirişlerde belirtilen yük birleşimi altında oluşan en elverişsiz eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla 101.83kNm

ve 58.19kN'dur. Şekil 5.2'de temsili olarak döşemeden tali kirişe yük aktarımı gösterilmektedir.



Şekil 5.2 : Döşemeden tali kirişe yük aktarımının şematik görseli.

IPE330 enkesite ve S235 malzeme sınıfına sahip tali kirişe ait hesap, aşağıda yer almaktadır. Belirtilen malzeme sınıfının akma dayanımı 235MPa, çekme dayanımı 360MPa'dır. Enkesite ait karakteristik özellikler Çizelge 5.1'de yer almaktadır.

Çizelge 5.1 : IPE330 enkesite ait karakteristik özellikler.

d	h	b _f	t _w	t _f	A	I _x	W _{px}	w _g
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m)
330	248.60	160	7.50	11.50	62.60	11760	804.30	0.48

5.1.1 Enkesit koşulları kontrolü

ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği [6] gereğince eksenel basınç kuvveti etkisindeki enkesit parçaları için narinlik, eksenel eğilme momentinin basınç bileşeni etkisindeki enkesit parçaları için kompaktlık kontrolü gerçekleştirilmektedir. Tali kirişlerde her iki etki de mevcut olduğu için hem narinlik hem de kompaktlık kontrolü gerçekleştirilmektedir. Belirtilen elemanların yatay deprem etkilerini taşınamaması ve belirtilen elemanlardan herhangi bir süneklik beklentisi bulunmaması dolayısıyla TBDY 2018 Tablo 9.3'te [1]

verilen süneklik düzeyi yüksek elemanlar için sınır değer kontrolünün gerçekleştirilmesi gerekmemektedir.

Narinlik kontrolü

ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1A'da [6] belirtilen koşullar doğrultusunda denklem 5.1 ve 5.2 ile enkesit parçalarının narinlik durumu irdelenmektedir. Bu kısımda ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1A'da [6] gösterilen enkesit parçalarının uzunluklarına dikkat edilmesi gerekmektedir. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1A'da [6] belirtilen b parametresi, Çizelge 5.1'de belirtilen başlık genişliği, b_f , değerinin yarısı olmaktadır.

Başlık parçası için narinlik kontrolü gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{b}{t} = \frac{160}{2 \times 11.50} = 6.96 < \lambda_p = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 16.34 \quad (5.1)$$

Gövde parçası için narinlik kontrolü gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{248.60}{7.50} = 33.15 < \lambda_p = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 43.47 \quad (5.2)$$

Eksenel basınç kuvveti altındaki enkesit parçalarının genişlik ile kalınlıkları oranı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1A'da [6] belirtilen λ_p sınır değerlerini aşmamaktadır. Dolayısıyla enkesit narin değildir.

Kompaktlık kontrolü

ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1B'de [6] belirtilen koşullar doğrultusunda denklem 5.3 ve 5.4 ile enkesit parçalarının kompaktlık durumu irdelenmektedir. Bu kısımda narinlik kontrolünde olduğu gibi dikkat edilmesi gereken husus ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1B'de [6] gösterilen enkesit parçalarının uzunluklarıdır. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1B'de [6] belirtilen b parametresi, Çizelge 5.1'de belirtilen başlık genişliği, b_f , değerinin yarısıdır.

Başlık parçası için kompaktlık kontrolü gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{b}{t} = \frac{160}{2 \times 11.50} = 6.96 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 11.09 \quad (5.3)$$

Gövde parçası kompaktlık kontrolü gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{248.60}{7.50} = 33.15 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 109.69 \quad (5.4)$$

Eğilme momenti altındaki enkesit parçalarının genişlik ile kalınlıkları oranı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1B’de [6] belirtilen λ_p sınır değerlerini aşmamaktadır. Dolayısıyla enkesit kompakttır.

5.1.2 Tasarım kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

IPE330 enkesit tali kirişin kesme kuvveti dayanımının kontrolü ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 10 [6] çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Öncelikle ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 10.2.1(a)’da [6] I-enkesitli hadde profiller için belirtilen gövde parçası koşulunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Denklem 5.5 doğrultusunda belirtilen koşulun sağlandığı görülmektedir.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{248.60}{7.50} = 33.15 < 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 65.35 \quad (5.5)$$

Dolayısıyla tasarım kesme kuvveti için dayanım katsayısı (ϕ_v) ile gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı (C_{v1}) 1.00 olarak ele alınmaktadır. Enkesitin kesme dayanımı denklem 5.6’da verilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 10.1 [6] kullanılarak elde edilmektedir. Tasarım kesme kuvveti dayanımı ise denklem 5.8 ile hesaplanmaktadır.

$$V_n = 0.60 F_y A_w C_{v1} \quad (5.6)$$

$$A_w = dt_w = 330 \times 7.50 = 2475 mm^2 \quad (5.7)$$

$$V_n = 0.60 \times 235 \times 2475 \times 1.00 \times 10^{-3} = 348.98 kN$$

$$\phi_v V_n = 1.00 \times 348.98 = 348.98 kN > V_a = 58.19 kN \quad (5.8)$$

$$\frac{V_a}{\phi_v V_n} = \frac{58.19}{348.19} = 0.17$$

IPE300 enkesit tali kiriş gerekli kesme kuvveti dayanımını sağlamaktadır.

5.1.3 Tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

IPE330 enkesit tali kiriş elemanın eğilme etkisi altında akma sınır durumu kontrol edilmesi gerekmektedir. Belirtilen kiriş eleman yerleşim yönü dolayısıyla kuvvetli asal

ekseni etrafında eğilme etkisine maruz kalmaktadır. Çift simetri eksenli I-enkesitli IPE330 elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı (M_n), ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 9.2 [6] gereğince denklem 5.9'da gösterilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 9.2 [6] kullanılarak belirlenmektedir.

$$M_n = M_p = F_y W_{px} \quad (5.9)$$

$$M_n = M_p = 235 \times 804.30 \times 10^{-3} = 189.01 kN$$

Daha önce de belirtildiği üzere yük ve dayanım katsayılarına göre analiz gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 9.1 [6] gereğince elemanın tasarım eğilme momenti dayanımı ϕ_b değeri 0.90 alınarak elde edilmektedir. Denklem 5.10 ile elemanın tasarım eğilme momenti dayanımı elde edilmektedir.

$$\phi_b M_n = 0.90 \times 189.01 = 170.11 kNm > M_a = 101.83 kNm \quad (5.10)$$

$$\frac{M_a}{\phi M_n} = \frac{101.83}{170.11} = 0.60$$

IPE330 enkesit tali kiriş gerekli eğilme momenti dayanımını sağlamaktadır.

5.1.4 Kullanılabilirlik sınır durumu kontrolü

Kullanılabilirlik, yapının belirli yük birleşimleri altında yapıdan beklenen performans ve fonksiyonları yerine getirmesi, dayanıklılığını koruması ve kullanıcı konforunu etkilememesi olarak tanımlanabilmektedir. Tali kiriş elemanların sadece düşey etkilere maruz kalması dolayısıyla tali kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu, düşey yer değiştirme (sehim) kontrolü ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 15.2 [6] esasları çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Kirişte sehim kontrolü ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği 15.1 [6] uyarınca G+Q yük birleşimi altında değerlendirilmektedir. Yer değiştirme sınır değeri olarak ise ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 15.2'de [6] belirtilen, L kirişin uzunluğu olmak üzere, $L/300$ değeri esas alınmaktadır. Belirtilen sınır değer denklem 5.11'de yer almaktadır. Kirişte meydana gelen sehim SAP2000 [11] yapısal analiz programından elde edilebilmekle birlikte düzgün yayılı yük etkisi altındaki iki ucu mafsallı çubuğun sehim bağıntısı kullanılarak da hesaplanabilmektedir. IPE330 enkesitli tali kirişlerde oluşacak en büyük sehim değeri SAP2000 [11] yapısal analiz programından 16.78mm olarak elde edilmektedir.

$$\Delta_{sınır} = \frac{L}{300} = \frac{7000}{300} = 23.33mm \quad (5.11)$$

$$\Delta_{maks(SAP2000)} = 16.78mm$$

Karşılaştırma amacıyla sehim formülü kullanılarak oluşacak maksimum sehim ayrıca hesaplanmıştır. Sehim formülünde yer alan düzgün yayılı yük ifadesi çizgisel yükü temsil ettiği için Şekil 5.2’de gösterilen tali kirişin taşıdığı alandaki döşeme yükü çizgisel yüke dönüştürülmüş ve tali kirişin kendi ağırlığı da elde edilen çizgisel yüke eklenmiştir. İlgili bağıntı denklem 5.12’de yer almaktadır.

$$\Delta_{maks} = \frac{5}{384} \frac{(G_{çizgisel} + Q_{çizgisel} + w_g)L^4}{EI_x} \quad (5.12)$$

$$\Delta_{maks} = \frac{5}{384} \frac{((4.975 + 2) \times 1.75 + 0.48) \times 7^4}{200000 \times 11760} \times 10^8 = 16.86mm$$

Meydana gelecek en büyük sehim değeri, sınır değerden küçük olduğundan IPE330 enkesitli tali kirişler için kullanılabilirlik sınır durumu koşulu sağlanmaktadır.

Asansör ve merdiven bölgesinde düşeyde boşluğa ihtiyac. duyulması dolayısıyla tali kiriş yerleşimi diğer döşeme alanlarında olduğu gibi gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle belirtilen alanda Y doğrultusunda iki ana kiriş arasında, X doğrultusundaki dört tali kirişin dolaylı mesnetlendiği bir tali kiriş teşkil edilmesi zorunlu olmaktadır. Asansör ve merdiven alanları yüklerinden ve teşkil edilme durumundan ötürü belirtilen kirişte IPE330 enkesitli diğer tali kirişlerdeki etkilerden daha büyük etkiler meydana gelmektedir. Bu etkiler ayrıca kontrol edilmiş ve belirtilen kiriş enkesiti IPE400 olarak belirlenmiştir.

5.2 Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Çaprazlarının Boyutlandırılması

Bölüm 2’de anlatıldığı üzere tez çalışması kapsamında 3, 6, 9 ve 12 katlı dört yapı tasarlanmaktadır. Yapılar X ve Y doğrultularında yatay etkileri süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ile karşılamaktadır.

Çapraz elemanların iki ucunda da moment aktarmayan (mafsallı) birleşim teşkil edilmektedir. Dolayısıyla bu elemanlarda sadece eksenel çekme ve eksenel basınç etkileri meydana gelmekte; elemanlar bir kafes sistem elemanı gibi çalışmaktadır. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler TBDY 2018 Bölüm 9.6’da [1] tanımlanmaktadır. Belirtilen sistemlerde yatay deprem etkileri, eksenel çekme

etkisindeki çaprazın akması ve/veya eksenel basınç etkisi altındaki çaprazın burkulması dolayısıyla gerçekleşmektedir. Yapı sünekliğini bu davranış oluşturmaktadır. Çapraz elemanlar, en elverişsiz yük birleşimleri altında elde edilen eksenel kuvvetlere bağlı olarak boyutlandırılmaktadır. Bu etkiler SAP2000 [11] yapısal analiz programından ikinci mertebe etkileri içeren ilgili yük birleşimleri altında çapraz elemanlarda oluşacak en elverişsiz eksenel çekme ve basınç kuvveti değerleri olmaktadır. TBDY 2018 [1] ve ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği [6] kapsamında boyutlandırma için izlenecek adımlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Enkesit Koşulu Kontrolü
2. Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi
3. Tasarım Eksenel Çekme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

Çapraz elemanların tasarımında elektrik direnç kaynağı ile oluşturulmuş kare kutu enkesitler ile S235 malzeme sınıfı yapı çeliği kullanılmaktadır. Malzeme sınıfına ait özellikler ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 2.1A'da [6] belirtilmektedir. Çapraz elemanlar için kutu enkesit kullanılması nedeniyle ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 5.4.2 [6] gereğince tasarım et kalınlığının kullanılması gerekmektedir. Elemanın elektrik direnç kaynağı ile oluşturulduğu durumda tasarım et kalınlığı, karakteristik et kalınlığının 0.93 katı olarak ele alınmaktadır. Dolayısıyla enkesitin alan, atalet momenti ve atalet yarıçapı değerlerinde de bir azalma meydana gelmektedir. Belirtilen değerlerin tasarım et kalınlığı kullanılarak hesaplanması gerekmektedir.

12 katlı yapının X ve Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının boyutlandırılmasına ilişkin hesap, sırasıyla Bölüm 5.2.1 ve 5.2.2'de açıklanmaktadır.

Çapraz elemanlar SAP2000 [11] yapısal analiz programında kiriş-kolon düğüm noktası ile girişin orta noktası arasına teşkil edilmektedir. Dolayısıyla çapraz elemanın çalışma noktaları arasındaki uzunluğu 4950mm olmaktadır. Çapraz elemanların boyutlandırılmasında, elemanın uzunluğu olarak bu değer ele alınmaktadır.

5.2.1 X doğrultusunda hesap

12 katlı yapının 1. katında kullanılan 180x180x12.50 enkesit kutu profil için dayanım hesabı gerçekleştirilmiştir. Tasarım et kalınlığı kullanılarak hesaplanan enkesite ait karakteristik özellikler Çizelge 5.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 : 180x180x12.50 enkesite ait karakteristik özellikler.

B=H	t _k	t _d	A _g	I _x =I _y	i _x =i _y
(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(mm)
180	12.50	11.63	7481	3464.62	68.05

5.2.1.1 Enkesit koşulu kontrolü

Yapı süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlandığı için TBDY 2018 Bölüm 9.6.1.1 [1] gereğince çapraz enkesitinin başlık ve gövde parçalarına ait genişlik ile kalınlık oranı, TBDY 2018 Tablo 9.3'te [1] belirtilen sınır değerleri aşmamalıdır. Enkesit parçalarına ait genişlik oranları ise ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 5.4.1.2(d) [6] gereğince parça uzunluğundan ilgili doğrultudaki et kalınlığının 3 katı çıkartılarak elde edilmektedir.

$$\frac{b}{t} = \frac{180 - 3 \times 11.63}{11.63} = 13.48 < 0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.55 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 16.05 \quad (5.13)$$

Denklem 5.13'te gerçekleştirilen kontrol dolayısıyla kullanılan enkesit, süneklik düzeyi yüksek enkesit için verilen koşulu sağlamaktadır. Bununla birlikte TBDY 2018 Bölüm 9.6.3.1'de [1] çapraz elemanın narinlik oranının 200'e eşit veya küçük olması gerektiği belirtilmektedir. İlgili kontrol denklem 5.14'te yer almaktadır.

$$\frac{KL}{i} = \frac{1 \times 4950}{68.05} = 72.75 \leq 200 \quad (5.14)$$

TBDY 2018 Bölüm 9.6.1.2 [1] gereğince merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde bir aks üzerindeki yatay etkilerin en az %30'u ve en çok %70'i basınca çalışan çaprazlar tarafından karşılanmalıdır. Tasarlanan yapılarda merkezi çaprazlar giriş ortasında birleştiği için bu koşul sağlanmaktadır.

5.2.1.2 Gerekli dayanımlar

12 katlı yapıda katlara bağlı olarak merkezi çaprazlara etkiyen en elverişsiz eksenel çekme (T) ve eksenel basınç (P) kuvvetleri ile hangi yük birleşimi altında belirtilen kuvvetin meydana geldiği sırasıyla Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te yer almaktadır. Kutu enkesitli merkezi çaprazların boyutlandırılmasına ilişkin örnek hesap 12 katlı yapının 1. katı için gerçekleştirilmektedir. İlgili hesaplarda kullanılacak değerler tablolarda işaretlenmiştir.

Çizelge 5.3 : 12 katlı yapının X doğrultusunda çaprazlarda meydana gelen en elverişsiz eksenel çekme kuvveti.

Kat	Yük Birleşimi	T (kN)
12	$0.688(G)+(Ex_{nep}+0.3E_{yn})$	250.46
11	$0.688(G)+(Ex_{nep}+0.3E_{yn})$	391.59
10	$0.688(G)+(Ex_{nep}+0.3E_{yn})$	533.39
9	$0.688(G)+(Ex_{nep}+0.3E_{yn})$	660.96
8	$0.688(G)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	762.65
7	$0.688(G)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	838.63
6	$0.688(G)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	933.67
5	$0.688(G)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	978.65
4	$0.688(G)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1009.52
3	$0.688(G)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1027.58
2	$0.688(G)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1023.08
1	$0.688(G)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1026.54

Çizelge 5.4 : 12 katlı yapının X doğrultusunda çaprazlarda meydana gelen en elverişsiz eksenel basınç kuvveti.

Kat	Yük Birleşimi	P (kN)
12	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{nep}+0.3E_{yn})$	364.99
11	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{nep}+0.3E_{yn})$	540.64
10	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{nep}+0.3E_{yn})$	697.72
9	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{nep}+0.3E_{yn})$	823.36
8	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	932.63
7	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1015.85
6	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1107.29
5	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1158.72
4	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1195.11
3	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1205.79
2	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1205.07
1	$1.412(G)+0.5(Q)+0.2(S)+(Ex_{pen}+0.3E_{yn})$	1211.89

5.2.1.3 Tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı

Ele alınan elemanın tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 7 [6] çerçevesinde hesaplanmaktadır. İlgili bölüm gereğince akma ve kırılma sınır durumu olmak üzere elemanın çekme kuvveti dayanımını belirleyen iki durum bulunmaktadır. İki sınır durumdan elde edilen tasarım dayanımlarından küçük olanı, elemanın tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımı olarak ele alınmaktadır. Elde edilen değerin, elemanda oluşacak en elverişsiz eksenel çekme kuvveti değerine eşit veya büyük olması gerekmektedir.

Akma sınır durumu

Elemanın akma sınır durumu altında karakteristik çekme kuvveti dayanımı denklem 5.15'te verilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 7.2 [6] ile elde edilmektedir. İlgili denklemde yer alan A_g elemanın kayıpsız enkesit alanını ifade etmektedir. Denklem 5.16'da belirtildiği üzere karakteristik çekme dayanımının, dayanım katsayısı ile çarpılması ile tasarım çekme kuvveti dayanımı elde edilmektedir.

$$T_n = F_y A_g \quad (5.15)$$

$$T_d = \phi_t T_n \quad \phi_t = 0.90 \text{ (YDKT)} \quad (5.16)$$

$$T_n = 235 \times 7481 \times 10^{-3} = 1758.04 \text{ kN}$$

$$T_d = 0.90 \times 1758.04 = 1582.24 \text{ kN} > T_a = 1026.54 \text{ kN}$$

$$\frac{T_a}{T_d} = \frac{1026}{1582.24} = 0.65$$

Kırılma sınır durumu

Elemanın kırılma sınır durumu altında çekme kuvveti dayanımı denklem 5.17'de gösterilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 7.3 [6] ile elde edilmektedir. Bağintıda yer alan A_e elemanın etkin net enkesit alanını ifade etmektedir. Etkin net enkesit alanı denklem 5.18'de yer alan ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 7.1 [6] ile hesaplanmaktadır. Tez çalışması kapsamında kolon-kiriş-çapraz ve kiriş-çapraz birleşimlerinin tasarımında, çapraz elemanların çerçeve düzlemine dik doğrultuda burkulacağı varsayılmaktadır. Dolayısıyla belirtilen birleşimlerde çapraz elemanlar orta kısmından yarılarak düğüm noktası levhasına kaynakla bağlanmaktadır. Birleşime ait detaylar Bölüm 5.7'de ayrıca ele alınmaktadır. Kaynaklı birleşim teşkil edileceği için enkesit kaybı meydana gelmeyecektir. Fakat ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği

Denklem 7.1 [6] doğrultusunda etkin net enkesit alanının hesaplanması için ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 7.1’de [6] durumlardan, ilgili birleşime karşılık gelen 6. duruma ait bağıntılar kullanılarak gerilme düzensizliği katsayısının (U) hesaplanması gerekmektedir. Belirtilen bağıntılar denklem 5.19 ve 5.20’de gösterilmektedir. Bağıntılarda yer alan B ve H ifadeleri enkesitin sırasıyla düşey ve yatay uzunluğunu, l ifadesi ise birleşim uzunluğunu temsil etmektedir. Tasarımı gerçekleştirilecek 180x180x12.50 enkesit kutu profil için B ve H değerleri 180 olmakla birlikte birleşim uzunluğunun 350mm mertebesinde olması öngörülmektedir.

$$T_n = F_u A_e \quad (5.17)$$

$$A_e = U A_n \quad (5.18)$$

$$T_d = \phi_t T_n \quad \phi_t = 0.90 \text{ (YDKT)}$$

$$\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)} = \frac{180^2 + 2 \times 180 \times 180}{4 \times (180 + 180)} = 67.5 \text{ mm} \quad (5.19)$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{67.5}{350} = 0.81 \quad (5.20)$$

Güvenli tarafta kalan bir yaklaşım ile düzensizlik katsayısı, bütün çapraz elemanların tasarımında 0.80 olarak ele alınmıştır.

$$A_e = 0.80 \times 7481 = 5985 \text{ mm}^2$$

$$T_n = 360 \times 5985 \times 10^{-3} = 2154.6 \text{ kN}$$

$$T_d = 0.75 \times 2154.6 = 1615.95 \text{ kN} > T_a = 1026.54 \text{ kN}$$

$$\frac{T_a}{T_d} = 1026.54/1615.95 = 0.64$$

Dolayısıyla enkesitin tasarım çekme kuvveti dayanımını akma sınır durumu kontrol etmekte ve dayanım değeri 1582.24kN olmaktadır.

5.2.1.4 Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı

Kutu enkesitli çapraz elemanın ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 8.2’de [6] açıklanan tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı, eğilmeli burkulma sınır durumu esas alınarak belirlenmektedir. Eğilmeli burkulma sınır durumuna ilişkin detaylar ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği 8.2.1’de [6] belirtilmektedir. Sırasıyla denklem 5.21 ve 5.22’de verilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 8.2 ve 8.3’te [6] görüldüğü

üzere elemanda meydana gelecek burkulmanın elastik veya elastik olmayan burkulma olması durumu elemanın narinliğine bağlı olarak değişmektedir. İki durum için kritik burkulma gerilmesi ayrı ayrı tanımlanmaktadır. Denklem 5.23'te belirtilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 8.4 [6] ile elde edilen F_e elastik burkulma gerilmesini, E elastisite modülünü, F_{cr} kritik burkulma gerilmesini ifade etmektedir. Denklem 5.24'te verilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 8.1 [6] kullanılarak elemanın karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı elde edilmektedir. Denklem 5.25'te görüldüğü üzere bu değerin dayanım katsayısı ile çarpılması sonucunda tasarım aksenal basınç kuvveti dayanımı elde edilmektedir. 12 katlı yapının birinci kat çaprazı için işlem aşağıda yer almaktadır. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların bütün çapraz elemanlarında narinlik oranının sınır değerden küçük olması dolayısıyla elastik olmayan burkulma meydana gelmektedir.

$$\frac{KL}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = 0.658^{F_y/F_e} F_y \quad \left(\begin{array}{c} \text{Elastik Olmayan} \\ \text{Burkulma} \end{array} \right) \quad (5.21)$$

$$\frac{KL}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e \quad (\text{Elastik Burkulma}) \quad (5.22)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i}\right)^2} \quad (5.23)$$

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (5.24)$$

$$P_d = \phi_c P_n \quad \phi_c = 0.90 \text{ (YDKT)} \quad (5.25)$$

$$\frac{KL}{i} = \frac{1 \times 4950}{68.05} = 72.75 < 4.71 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 137.41$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{(72.75)^2} = 372.96 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 0.658^{\frac{235}{372.96}} \times 235 = 180.54 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 180.54 \times 7481 \times 10^{-3} = 1350.62 \text{ kN}$$

$$P_d = 0.90 \times 1350.62 = 1215.56 \text{ kN} > P_a = 1211.89 \text{ kN}$$

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{1211.89}{1215.56} = 1.00$$

5.2.1.5 Etki/kapasite oranları

Belirtilen işlemler bütün yapıların X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları için gerçekleştirilmiştir. Elemana etkiyen en elverişsiz eksenel çekme ve basınç kuvvetlerinin elemanın eksenel çekme ve basınç dayanımına bölünmesiyle merkezi çapraz elemanlar için “Etki/Kapasite” oranları elde edilmiştir. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların X doğrultusu için elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.5, Çizelge 5.6, Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8’de yer almaktadır.

Çizelge 5.5 : 3 katlı yapının X doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
3	120x120x10.00	0.38	0.95
2	140x140x12.50	0.46	0.92
1	140x140x14.20	0.49	0.98

Çizelge 5.6 : 6 katlı yapının X doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
6	120x120x10.00	0.39	0.99
5	140x140x12.50	0.49	0.98
4	160x160x12.50	0.57	0.96
3	160x160x14.20	0.61	1.01
2	180x180x12.50	0.63	0.96
1	180x180x12.50	0.65	0.99

Çizelge 5.7 : 9 katlı yapının X doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
9	120x120x10.00	0.34	0.87
8	140x140x10.00	0.46	0.95
7	140x140x14.20	0.49	0.98
6	160x160x12.50	0.56	0.95
5	160x160x14.20	0.58	0.98
4	160x160x16.00	0.58	0.98

Çizelge 5.7 (devam) : 9 katlı yapının X doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
3	180x180x12.50	0.64	0.98
2	180x180x12.50	0.66	1.00
1	180x180x12.50	0.66	1.01

Çizelge 5.8 : 12 katlı yapının X doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
12	120x120x10.00	0.30	0.82
11	120x120x12.50	0.39	1.03
10	140x140x12.50	0.45	0.93
9	140x140x14.20	0.50	0.99
8	160x160x12.50	0.55	0.94
7	160x160x12.50	0.61	1.03
6	160x160x14.20	0.60	1.01
5	180x180x12.50	0.62	0.95
4	180x180x12.50	0.64	0.98
3	180x180x12.50	0.65	0.99
2	180x180x12.50	0.65	0.99
1	180x180x12.50	0.65	1.00

5.2.2 Y doğrultusunda hesap

X doğrultusunda gerçekleştirilen işlem adımları Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları için de gerçekleştirilmiştir. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların Y doğrultusunda yer alan merkezi çaprazlı çelik çerçeve çapraz elemanlarına ait “Etki/Kapasite” oranları sırasıyla Çizelge 5.9, Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de yer almaktadır.

Çizelge 5.9 : 3 katlı yapının Y doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
3	140x140x10.00	0.47	0.94
2	160x160x12.50	0.59	1.01
1	180x180x12.50	0.64	0.97

Çizelge 5.10 : 6 katlı yapının Y doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
6	120x120x12.50	0.36	0.95
5	140x140x14.20	0.49	0.99
4	160x160x14.20	0.58	0.99
3	180x180x12.50	0.67	1.02
2	180x180x14.20	0.67	1.01
1	180x180x16.00	0.65	0.98

Çizelge 5.11 : 9 katlı yapının Y doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
9	120x120x10.00	0.31	0.90
8	140x140x10.00	0.45	0.98
7	140x140x14.20	0.48	1.00
6	160x160x12.50	0.56	0.97
5	160x160x14.20	0.58	1.00
4	160x160x16.00	0.6	1.02
3	180x180x12.50	0.67	1.02
2	180x180x14.20	0.65	0.98
1	180x180x14.20	0.67	1.01

Çizelge 5.12 : 12 katlı yapının Y doğrultusundaki çaprazlar için etki/kapasite oranı.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
12	120x120x10.00	0.26	0.82
11	120x120x12.50	0.36	1.03
10	140x140x10.00	0.48	1.04
9	140x140x14.20	0.46	0.97
8	160x160x12.50	0.51	0.92
7	160x160x12.50	0.57	1.01
6	160x160x14.20	0.57	1.00
5	180x180x12.50	0.59	0.94
4	180x180x12.50	0.63	0.99
3	180x180x12.50	0.65	1.00
2	180x180x12.50	0.65	1.01
1	180x180x14.20	0.63	0.97

5.3 Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Kolonlarının Boyutlandırılması

Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde yapı sünekliğinin çapraz elemanların eksenel kuvvet etkisi altında akması ve/veya burkulması dolayısıyla sağlanmaktadır. Fakat kiriş ve kolonlarda herhangi bir plastik şekil değiştirme meydana gelmemesi, elemanların elastik bölgede kalması beklenmektedir. Bu nedenle TBDY 2018 Bölüm 9.6.2 [1] uyarınca süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin kolon, kiriş ve birleşimlerinin boyutlandırılmasında gerekli dayanımlar, TBDY 2018 9.2.6 [1] esas alınarak belirlenmektedir. TBDY 2018 Bölüm 9.2.6'ya [1] göre gerekli dayanımlar, deprem etkilerinin dayanım fazlalığı katsayısı ile çarpılarak büyütülmesi ile belirlenen iç kuvvetlerin TBDY 2018 Bölüm 9.2.5'te [1] tanımlanan yük birleşimlerinde kullanılmasıyla elde edilmektedir. Ancak bu iç kuvvetlerin mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerden daha büyük olması durumunda hesaplarda mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetler kullanılmaktadır. Fakat ASCE 41-17 [14] ve sonraki versiyonlarda tasarımın tamamen mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetler ile gerçekleştirilmesi dolayısıyla TBDY 2018'in [1] gelecek versiyonlarında da tasarımın bu şekilde gerçekleştirileceği öngörülmektedir. Dolayısıyla en elverişsiz durumu yansıtan mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerin, TBDY 2018 Bölüm

9.2.5'te [1] tanımlanan yük birleşimlerinde kullanılmasıyla elde edilen gerekli dayanımlar kullanılarak yapı tasarımları gerçekleştirilmiştir. Kapasite tasarımı ilkesinin gereği olarak pekleşme ve malzeme dayanım artışı etkileri de göz önüne alınarak tanımlanan mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetler TBDY 2018 Bölüm 9.6.2.2 ve 9.6.2.3'e [1] göre belirlenmektedir.

Kolon ve kirişlerin sistemdeki düşey etkiler ile birlikte yatay etkiler dolayısıyla çaprazların mekanizma durumuna ulaştığı andaki etkileri karşılayabilecek dayanıma sahip olması beklenmektedir. TBDY 2018 Bölüm 9.6.2 [1] gereğince eksenel çekme etkisi altındaki çaprazların burkulma anına ve burkulma sonrasına karşılık gelmek üzere iki farklı mekanizma durumu bulunmaktadır. İki mekanizma durumunda da eksenel çekme kuvveti etkisi altındaki çapraz elemanların akma dayanımına ulaşması beklenmektedir. İki mekanizma durumu için de kiriş ve kolonlarda meydana gelecek etkiler belirlenerek en elverişsiz olan değerler ile tasarım gerçekleştirilmektedir.

Kolonlar için gerekli dayanımların belirlenmesi ile birlikte TBDY 2018 [1] ve ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği [6] kapsamında boyutlandırma için izlenecek adımlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Enkesit Koşulu Kontrolü
2. Tasarım Eksenel Çekme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi
3. Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların tamamında tüm katlardaki kolonlar için S275 malzeme sınıfının ve HD enkesitlerin kullanılması kararlaştırılmıştır. Hesaplarda kolon uzunluğu olarak kat yüksekliği olan 3.5m değeri ele alınmıştır. Kolon enkesitleri belirlenirken montaj koşulları da dikkate alınmıştır. Bu nedenle kolon enkesiti üç katta bir değiştirilmiştir. Bununla birlikte merkezi çapraz-kiriş-kolon birleşimi, kolon başlığında teşkil edildiği için kirişlerin başlık genişliğinin kolonun başlık genişliğine eşit veya küçük olması kriteri de dikkate alınmıştır.

5.3.1 X doğrultusunda hesap

Yapının X doğrultusunda 1 ve 4 akslarında ardışık üç açıklıkta olmak üzere toplamda altı merkezi çaprazlı çelik çerçeve konumlandırılmıştır. Belirtilen çerçeve kolonları aynı enkesite sahip olmakla birlikte çerçevelerin C ve F ile D ve E akslarındaki kolonlar için gerekli dayanımlar farklılık göstermektedir. Dolayısıyla boyutlandırma

aşamasında C ve F ile D ve E akslarında yer alan kolonlar için gerekli dayanımlar ayrı ayrı belirlenmekte ve en elverişsiz eksenel basınç kuvveti değeri gerekli dayanım olarak kullanılmaktadır.

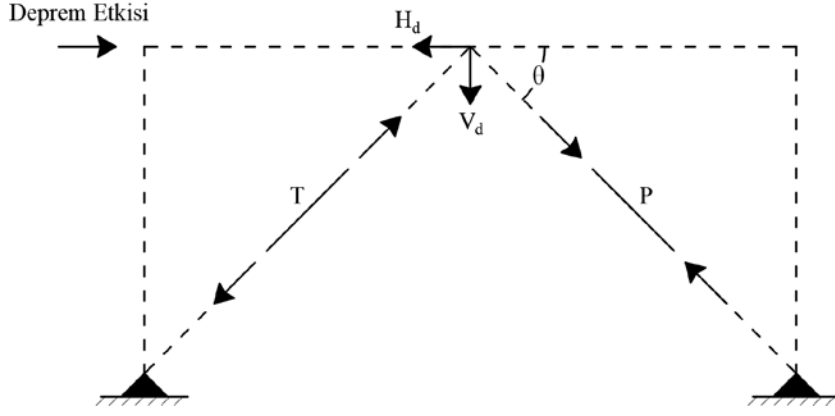
12 katlı yapının 1. katında kullanılan HD400x677 enkesit I profil için dayanım hesabı gerçekleştirilmiştir. Enkesite ait karakteristik özellikler Çizelge 5.13'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.13 : HD400x677 enkesite ait karakteristik özellikler.

d (mm)	t _w (mm)	I _x (cm ⁴)	i _x (mm)	A _g (cm ²)
483	51.20	299820	186.30	863
h (mm)	t _f (mm)	I _y (cm ⁴)	i _y (mm)	G (MPa)
290	81.50	106880	111.30	77200
b (mm)	J (cm ⁴)	C _w (cm ⁶)		
428	16400	42900000		

5.3.1.1 Çaprazların beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları

TBDY 2018 Bölüm 9.6.2'de [1] mekanizma durumları açıklanmaktadır. Mekanizma durumlarında çaprazların beklenen (olası) dayanımları kullanıldığı için dayanım hesaplarında karakteristik akma gerilmesi (F_y) yerine akma gerilmesinin TBDY 2018 Tablo 9.2'de [1] belirtilen beklenen (olası) akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı (R_y) ile çarpımına eşit olan beklenen (olası) akma gerilmesi (F_{ye}) değeri kullanılmaktadır. Dolayısıyla eksenel basınç kuvveti dayanımı hesabında da kritik burkulma gerilmesi yerine beklenen (olası) akma gerilmesi ile hesaplanan kritik burkulma gerilmesi (F_{cre}) kullanılmaktadır. Beklenen (olası) eksenel çekme kuvveti dayanımı T, beklenen (olası) eksenel basınç kuvveti dayanımı P_1 , burkulma sonrası beklenen (olası) eksenel basınç kuvveti dayanımı P_2 olmak üzere mekanizma durumlarında meydana gelecek eksenel kuvvet değerleri denklem 5.26, 5.27 ve 5.28'de verilen sırasıyla TBDY 2018 Denklem 9.15, 9.16 ve 9.17 [1] ile elde edilmektedir. Kuvvetlerin çerçeve üzerindeki gösterimi ise Şekil 5.3'te yer almaktadır. Dolayısıyla burkulma anına ve burkulma sonrasına karşılık gelen mekanizma durumlarında kiriş ortasında meydana gelecek bileşke kuvvetler denklem 5.29 ve 5.30'da belirtildiği şekilde olmaktadır.



Şekil 5.3 : Mekanizma durumu temsili gösterim.

$$F_{ye} = R_y F_y$$

$$T = R_y F_y A_g \quad (5.26)$$

$$P_1 = 1.14 F_{cre} A_g \quad (5.27)$$

$$P_2 = 0.30 P_1 = 0.30 (1.14 F_{cre} A_g) \quad (5.28)$$

$$H_d = (T + P_1) \cos \theta \quad (5.29)$$

$$V_d = (T - P_1) \sin \theta$$

$$\begin{aligned} H_d &= (T + 0.30 P_1) \cos \theta \\ V_d &= (T - 0.30 P_1) \sin \theta \end{aligned} \quad (5.30)$$

Çaprazların sistem uzunluğu 4950mm olmakla birlikte uçlarında teşkil edilecek birleşim dolayısıyla etkili uzunluğu daha az olmaktadır. Etkili uzunluk olarak sistem uzunluğunun %70'i olan 3465mm değeri ele alınmaktadır. Çapraz elemanlar kutu enkesite sahip olduğu için TBDY 2018 Tablo 9.2 [1] gereğince R_y değeri 1.4 olmaktadır. Örnek olarak 12 katlı yapının 1. kat çaprazlarına ait beklenen (olası) dayanım hesabı gösterilmektedir.

$$T = R_y F_y A_g = 1.4 \times 235 \times 7481 \times 10^{-3} = 2461.25 kN$$

$$\frac{KL}{i} = \frac{1 \times 3465}{68.05} = 50.92 < 4.71 \sqrt{\frac{200000}{235}} = 137.41$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{(50.92)^2} = 761.30 MPa$$

$$F_{cre} = 0.658 \frac{R_y F_y}{F_e} R_y F_y$$

$$F_{cre} = 0.658 \frac{1.4 \times 235}{761.30} \times (1.4 \times 235) = 274.58 \text{ MPa}$$

$$P_1 = 1.14 \times 274.58 \times 7481 \times 10^{-3} = 2341.71 \text{ kN}$$

$$P_2 = 0.30 \times 2341.71 \text{ kN} = 702.51 \text{ kN}$$

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının mekanizma durumlarında kullanılacak beklenen (olası) dayanımları sırasıyla Çizelge 5.14, Çizelge 5.15, Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.17’te yer almaktadır.

Çizelge 5.14 : 3 katlı yapının X doğrultusu çaprazları için beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
3	140x140x10.00	77.54	1281.46	960.44	288.14
2	160x160x12.50	66.88	1849.31	1543.17	462.96
1	180x180x12.50	67.73	2055.92	1701.90	510.57

Çizelge 5.15 : 6 katlı yapının X doğrultusu çaprazları için beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
6	120x120x12.50	77.54	1281.46	960.44	288.14
5	140x140x14.20	66.88	1849.31	1543.17	462.96
4	160x160x14.20	57.83	2155.28	1945.83	583.75
3	180x180x12.50	58.49	2403.35	2158.13	647.44
2	180x180x14.20	50.92	2461.25	2341.63	702.49
1	180x180x16.00	50.92	2461.25	2341.63	702.49

Çizelge 5.16 : 9 katlı yapının X doğrultusu çaprazları için beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
9	120x120x10.00	77.54	1281.46	960.44	288.14
8	140x140x10.00	65.61	1526.23	1288.59	386.58
7	140x140x14.20	67.73	2055.92	1701.90	510.57
6	160x160x12.50	57.83	2155.28	1945.83	583.75

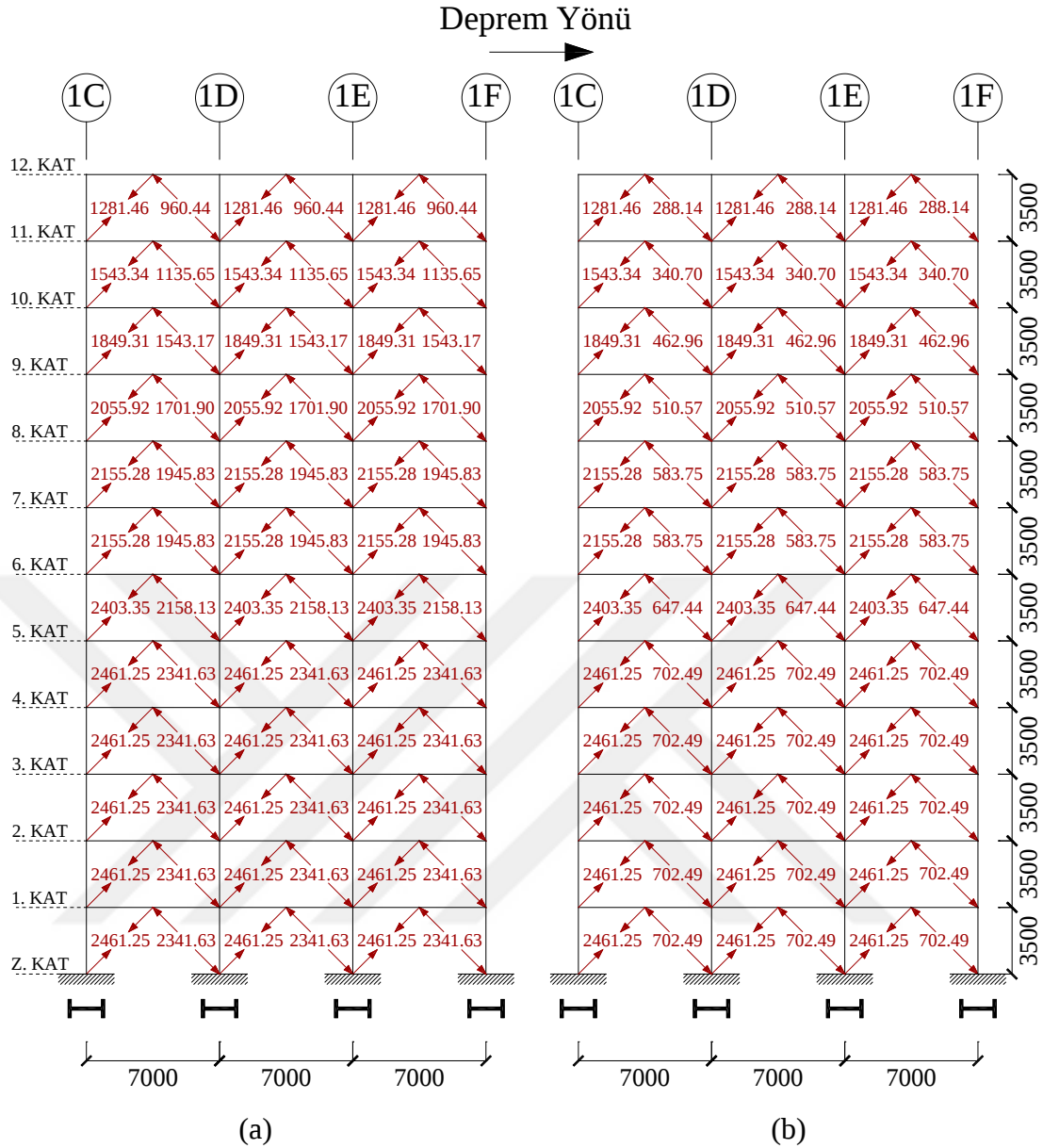
Çizelge 5.16 (devam) : 9 katlı yapının X doğrultusu çaprazları için beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
5	160x160x14.20	58.49	2403.35	2158.13	647.44
4	160x160x16.00	59.18	2654.04	2369.82	710.95
3	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
2	180x180x14.20	50.92	2461.25	2341.63	702.49
1	180x180x14.20	50.92	2461.25	2341.63	702.49

Çizelge 5.17 : 12 katlı yapının X doğrultusu çaprazları için beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
12	120x120x10.00	77.54	1281.46	960.44	288.14
11	120x120x12.50	79.22	1543.34	1135.65	340.70
10	140x140x10.00	66.88	1849.31	1543.17	462.96
9	140x140x14.20	67.73	2055.92	1701.90	510.57
8	160x160x12.50	57.83	2155.28	1945.83	583.75
7	160x160x12.50	57.83	2155.28	1945.83	583.75
6	160x160x14.20	58.49	2403.35	2158.13	647.44
5	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
4	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
3	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
2	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
1	180x180x14.20	50.92	2461.25	2341.63	702.49

12 katlı yapıya belirtilen yönde deprem etkimesi durumunda burkulma anına karşı gelen mekanizma durumu (Durum 1) ve burkulma sonrasına karşılık gelen mekanizma durumu (Durum 2) Şekil 5.4'te gösterilmektedir.



Şekil 5.4 : Çaprazların beklenen (olası) aksel çekme kuvveti dayanımları
(a) Durum 1 (b) Durum 2.

5.3.1.2 Kolonlarda mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetler

Mekanizma durumu dolayısıyla kolonlarda oluşacak etkilerin belirlenmesi için kirişin orta noktasında birleşen çaprazların, bu noktada meydana getirdikleri bileşke düşey kuvvet (V_d) ile kirişte oluşacak kesme kuvvetinin (V_{emh}) elde edilmesi gerekmektedir. 12 katlı yapının birinci kat kolonu için gerekli işlemler aşağıda yer almaktadır.

Burkulma anına karşılık gelen Durum 1 için ilgili işlem gerçekleştirilmektedir.

$$V_{d1} = (-2461.25 + 2341.63) \times \sin(45) = -84.59kN$$

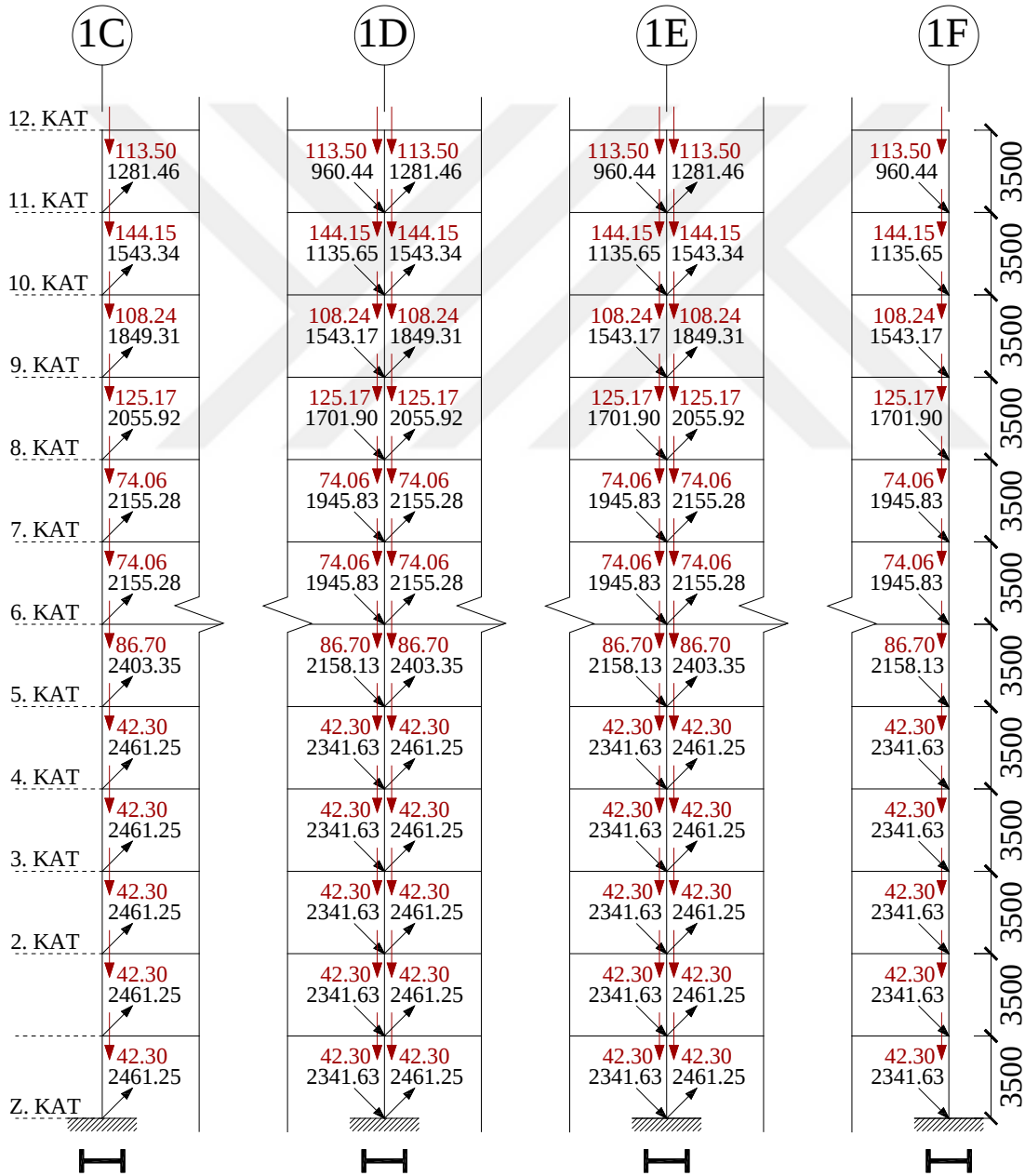
$$V_{1,Emh}^{kiriş} = -\frac{84.59}{2} = -42.295kN$$

Burkulma sonrasına karşılık gelen Durum 2 için ilgili işlem gerçekleştirilmektedir.

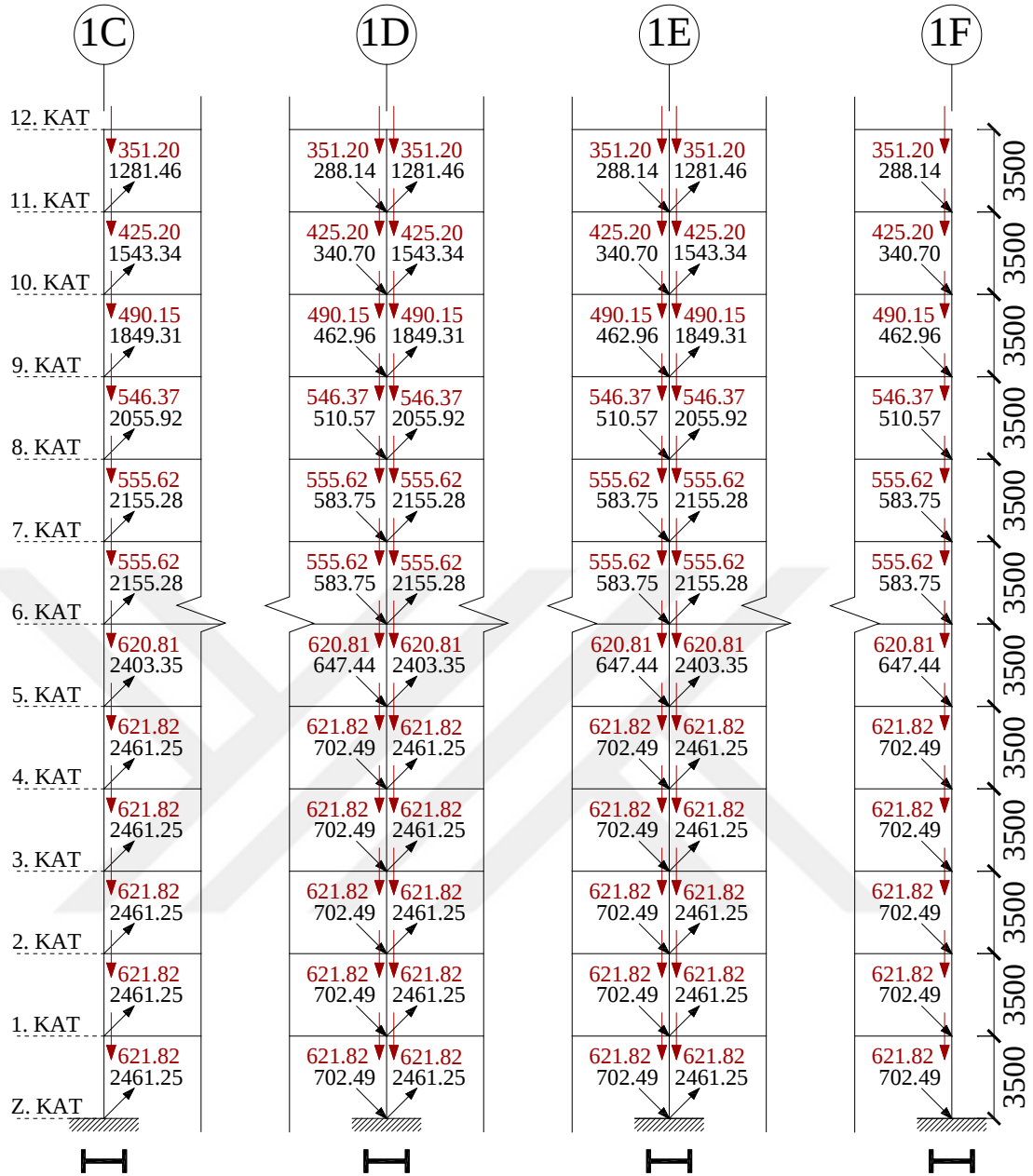
$$V_{d1} = (-2461.25 + 702.49) \times \sin(45) = -1243.64kN$$

$$V_{1,Emh}^{kiriş} = -\frac{1243.64}{2} = -621.82kN$$

Aynı işlemlerin tüm katlarda uygulanması sonucunda Durum 1 ve Durum 2 için kolonlarda oluşacak kuvvetler sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'daki gibi olmaktadır.



Şekil 5.5 : Durum 1 için kolonlarda oluşacak etkiler.



Şekil 5.6 : Durum 2 için kolonlarda oluşacak etkiler.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevenin C ve F ile D ve E akslarında yer alan kolonlarda oluşacak etkiler değişiklik göstermektedir. Denge denklemleri kullanılarak kolonlarda oluşacak eksenel etkiler hesaplanmaktadır. Birinci katta C ve F akslarındaki kolonlarda Durum 1 ve Durum 2 için gerçekleştirilen işlem aşağıda gösterilmektedir. İşlemlerde yer alan T ifadesi eksenel çekme kuvvetini, P ifadesi ise eksenel basınç kuvvetini belirtmektedir.

Burkulma anına karşılık gelen Durum 1 için işlem gerçekleştirilmiştir.

$$\begin{aligned}
T_{1,Emh} = & (-113.50 - 144.15 - 108.24 - 125.17 - 74.06 - 74.06 - 86.70 \\
& - 42.30 - 42.30 - 42.30 - 42.30 - 42.30) \\
& + (1281.46 + 1543.34 + 1849.31 + 2055.92 + 2155.28 \\
& + 2155.28 + 2403.35 + 2461.25 + 2461.25 + 2461.25 \\
& + 2461.25) \times \sin(45) = 15330.43kN
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1,Emh} = & (113.50 + 144.15 + 108.24 + 125.17 + 74.06 + 74.06 + 86.70 \\
& + 42.30 + 42.30 + 42.30 + 42.30 + 42.30) + (960.44 + 1135.65 \\
& + 1543.17 + 1701.9 + 1945.83 + 1945.83 + 2158.13 + 2341.63 \\
& + 2341.63 + 2341.63 + 2341.63 = 15615.18kN
\end{aligned}$$

Burkulma sonrasına karşılık gelen Durum 2 için işlem gerçekleştirilmiştir.

$$\begin{aligned}
T_{1,Emh} = & (-351.20 - 425.20 - 490.15 - 546.37 - 555.62 - 555.62 - 620.81 \\
& - 621.82 - 621.82 - 621.82 - 621.82 - 621.82) \\
& + (1281.46 + 1543.34 + 1849.31 + 2055.92 + 2155.28 \\
& + 2155.28 + 2403.35 + 2461.25 + 2461.25 + 2461.25 \\
& + 2461.25) \times \sin(45) = 9813.74kN
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1,Emh} = & (351.20 + 425.20 + 490.15 + 546.37 + 555.62 + 555.62 + 620.81 \\
& + 621.82 + 621.82 + 621.82 + 621.82 + 621.82) + (288.14 \\
& + 340.7 + 462.96 + 510.57 + 583.75 + 583.75 + 647.44 \\
& + 702.49 + 702.49 + 702.49 + 702.49 = 11057.47kN
\end{aligned}$$

12 katlı yapıda Durum 1 için elde edilen değerler Çizelge 5.18’de yer almaktadır.

Çizelge 5.18 : 12 katlı yapının X doğrultusunda Durum 1 için merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında oluşan iç kuvvetler.

Kat	C ve F Akslarındaki Kolonlar		D ve E Akslarındaki Kolonlar	
	T _{Emh} (kN)	P _{Emh} (kN)	T _{Emh} (kN)	P _{Emh} (kN)
12	0.00	113.50	0.00	227.00
11	648.48	936.79	0.00	288.30
10	1631.55	1848.06	0.00	216.50
9	2814.04	3064.42	0.00	250.37
8	4193.74	4341.91	0.00	148.16
7	5643.7	5791.88	0.00	148.18
6	7081.02	7254.49	0.00	173.48

Çizelge 5.18 (devam) : 12 katlı yapının X doğrultusunda Durum 1 için merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında oluşan iç kuvvetler.

Kat	C ve F Akslarındaki Kolonlar		D ve E Akslarındaki Kolonlar	
	T_{Emh} (kN)	P_{Emh} (kN)	T_{Emh} (kN)	P_{Emh} (kN)
5	8738.15	8822.82	0.00	84.68
4	10436.22	10520.91	0.00	84.70
3	12134.29	12219.00	0.00	84.72
2	13832.36	13917.09	0.00	84.74
1	15530.43	15615.18	0.00	84.76

12 katlı yapıda Durum 2 için elde edilen eksenel kuvvet değerleri Çizelge 5.19’da yer almaktadır.

Çizelge 5.19 : 12 katlı yapının X doğrultusunda Durum 2 için merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında oluşan iç kuvvetler.

Kat	C ve F Akslarındaki Kolonlar		D ve E Akslarındaki Kolonlar	
	T_{Emh} (kN)	P_{Emh} (kN)	T_{Emh} (kN)	P_{Emh} (kN)
12	0.00	351.2	0.00	702.4
11	129.73	980.15	0.00	850.42
10	730.89	1711.22	0.00	980.33
9	1492.18	2584.96	0.00	1092.77
8	2390.32	3501.61	0.00	1111.28
7	3358.72	4470.01	0.00	1111.28
6	4261.93	5503.6	0.00	1241.66
5	5339.54	6583.23	0.00	1243.68
4	6458.09	7701.79	0.00	1243.69
3	7576.64	8820.35	0.00	1243.7
2	8695.19	9938.91	0.00	1243.71
1	9813.74	11057.47	0.00	1243.72

5.3.1.3 Gerekli dayanımların belirlenmesi

Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarının boyutlandırmasını gerçekleştirebilmek için mekanizma kuvvetleri ile uyumlu iç kuvvetlerin, E_{mh} , düşey etkilerden dolayı oluşacak iç kuvvetler ile birleştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada mekanizma

kuvvetleri ile uyumlu iç kuvvetler kullanılarak deprem etkilerini içeren yük birleşimlerinin oluşturulması amaçlandığı için $1.412G+0.50Q+0.20S$ ile $0.688G$ yük birleşimleri kullanılarak düşey etkilerden dolayı oluşacak etkiler belirlenmektedir. Kuvvetlerin birleştirilmesi aşamasında kolonlarda oluşacak en elverişsiz eksenel çekme kuvvetini elde etmek amacıyla düşey yükler için $0.688G$ yük birleşimi, eksenel basınç kuvvetini elde etmek amacıyla $1.412G+0.50Q+0.20S$ yük birleşimi kullanılmaktadır. Dolayısıyla tablolarda $0.688G$ yük birleşimi altında elde edilen değerler eksenel çekme etkilerini temsil eden T sütununda, $1.412G+0.50Q+0.20S$ yük birleşiminden elde edilen değerler ise eksenel basınç etkilerini temsil eden P sütununda verilmektedir. Düşey etkiler dolayısıyla elemanlarda sadece eksenel basınç kuvveti olduğu için T sütunundaki ifadeler negatiftir. Etkilerin birleştirilmesi aşamasında işaretler dikkate alınarak işlem gerçekleştirilmektedir. C ve F ile D ve E akslarındaki kolonlar için belirtilen işlem ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. 12 katlı yapı için belirtilen değerler Çizelge 5.20’de yer almaktadır.

$$1.412(G) + 0.5(Q) + 0.2(S) + E_{emh} \quad (\text{Gerekli Eksenel Basınç Dayanımı})$$

$$0.688(G) + E_{emh} \quad (\text{Gerekli Eksenel Çekme Dayanımı})$$

Çizelge 5.20 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında düşey etkiler dolayısıyla oluşan iç kuvvetler.

Kat	C ve F Akslarındaki Kolonlar		D ve E Akslarındaki Kolonlar	
	T (kN)	P (kN)	T (kN)	P (kN)
12	-94.36	205.07	-96.96	210.40
11	-207.69	462.16	-213.46	474.00
10	-321.69	720.62	-331.30	740.34
9	-436.57	988.87	-450.91	1018.29
8	-555.53	1257.49	-574.78	1297.01
7	-674.48	1526.12	-698.64	1575.72
6	-793.61	1803.62	-822.88	1863.68
5	-916.89	2081.11	-951.25	2151.65
4	-1040.16	2358.61	-1079.63	2439.62
3	-1163.43	2646.53	-1208.00	2738.00
2	-1291.78	2934.44	-1341.45	3036.38
1	-1420.13	3222.36	-1474.90	3334.77

SAP2000 [11] yapısal analiz programından elde edilen düşey etkiler altında kolonlarda meydana gelecek eksenel kuvvet değerlerinin mekanizma durumları ile uyumlu iç kuvvetlerle birleştirilmesi ve her kat için meydana gelecek en elverişsiz eksenel çekme ve eksenel basınç kuvvetlerinin belirlenmesi sonucunda kolonların boyutlandırılması için gerekli dayanımlar belirlenmektedir. Dolayısıyla 12 katlı yapının kolonlarının tasarımında ele alınacak gerekli dayanımlar Çizelge 5.21’de belirtildiği şekilde olmaktadır. Hesaplarda ele alınan 12 katlı yapının 1. kat kolonu için gerekli dayanım değerleri ilgili tabloda işaretlenmiştir.

Çizelge 5.21 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için gerekli dayanımlar.

Kat	T (kN)	P (kN)
12	0.00	984.86
11	173.75	1450.35
10	891.48	2452.98
9	1788.62	3805.38
8	2901.00	5158.92
7	4083.65	6729.15
6	5234.07	8340.30
5	6625.82	9992.69
4	8058.52	11826.16
3	9491.22	13670.05
2	10918.84	15513.93
1	12346.46	17357.82

5.3.1.4 Enkesit koşulu kontrolü

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve tasarlandığı için enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişliklerinin kalınlıklarına oranları, TBDY 2018 Tablo 9.3’te [1] belirtilen λ_{hd} sınır değerini aşmamalıdır. İlgili tablodan elde edilen bağıntılar denklem 5.31-5.34’te yer almaktadır.

Başlık parçası için enkesit koşulu kontrolü gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{b}{2t} = \frac{428}{2 \times 81.50} = 2.63 < \lambda_{hd} = 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.30 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 8.09 \quad (5.31)$$

Gövde parçası için enkesit koşulu kontrolü gerçekleştirilmektedir.

$$P_y = F_y A_g = 275 \times (863 \times 10^2) \times 10^{-3} = 23732.50 kN \quad (5.32)$$

$$C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y} = \frac{17357.82}{0.90 \times 23732.50} = 0.813 \quad (5.33)$$

$$C_a > 0.125 \quad \lambda_{hd} = 0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (5.34)$$

$$\lambda_{hd} = Maks \left[\begin{array}{l} \left(0.77 \sqrt{\frac{200000}{275}} \right) (2.93 - 0.813) = 43.96 \\ 1.49 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 40.18 \end{array} \right] = 43.96$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{290}{51.20} = 5.66 < \lambda_{hd} = 43.96$$

Eleman süneklik düzeyi yüksek enkesit koşullarını sağlamaktadır.

5.3.1.5 Tasarım aksenal çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Kolon enkesitinin aksenal çekme dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 7 [6] çerçevesinde elde edilmektedir. İlgili bölüm gereğince sırasıyla kayıpsız enkesitte akma ve etkin enkesitte kırılma sınır durumları ele alınmaktadır.

Akma sınır durumu

$$T_n = 275 \times (863 \times 10^2) \times 10^{-3} = 23732.5 kN$$

$$T_d = 0.90 \times 23732.5 = 21359.25 kN > T_a = 12346.46 kN$$

$$\frac{T_a}{T_d} = \frac{12346.46}{21359.25} = 0.58$$

Kırılma sınır durumu

Kolonda teşkil edilecek birleşimler kaynaklı birleşim olduğu için elemanda enkesit kaybı meydana gelmemektedir. Dolayısıyla net enkesit alanı kayıpsız enkesit alanına eşit olmaktadır. Teşkil edilen birleşimler ve elemanın düşeyde sürekliliği nedeniyle gerilme düzensizliği katsayısı 1 olarak ele alınmaktadır.

$$A_e = 1 \times (863 \times 10^2) = 86300 mm^2$$

$$T_n = 430 \times 86300 \times 10^{-3} = 37109kN$$

$$T_d = 0.75 \times 37109 = 27831.75kN > T_a = 12346.46kN$$

$$\frac{T_a}{T_d} = \frac{12346.46}{27831.75} = 0.44$$

5.3.1.6 Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı

Elemanın eksenel basınç dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 8 [6] çerçevesinde hesaplanmaktadır. Daha elverişsiz sonuçlar vereceği için enkesitin zayıf doğrultusu olan Y doğrultusu için sırasıyla eğilmeli burkulma ile burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumları incelenmektedir.

Eğilmeli burkulma sınır durumu

$$\frac{KL}{i_y} = \frac{1 \times 3500}{111.30} = 31.45 < 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.02$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(31.45)^2} = 1995.67MPa$$

$$F_{cr,y} = 0.658^{\frac{275}{1995.67}} \times 275 = 259.35MPa$$

$$P_n = F_{cr,y} A_g = 259.35 \times (863 \times 10^2) \times 10^{-3} = 22381.91kN$$

$$P_d = 0.90 \times 22381.91 = 20143.72 > P_a = 17357.82kN$$

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{17357.82}{20143.72} = 0.86$$

Burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu

Burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumunda elemanın elastik burkulma gerilmesi denklem 5.35'te belirtilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 8.5 [6] ile elde edilmektedir.

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (5.35)$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi \times 200000 \times (42900 \times 10^6)}{(1 \times 3500)^2} + 77200 \times (16400 \times 10^4) \right] \times \frac{1}{(299820 + 106880) \times 10^4} = 3114.76 MPa$$

$$\frac{F_y}{F_{ez}} = \frac{275}{3114.76} = 0.09 < 2.25$$

$$F_{cr,z} = 0.658^{0.09} \times 275 = 264 MPa$$

$$P_n = A_g F_{cr,z} = (863 \times 10^2) \times 264 \times 10^{-3} = 22783.2 kN$$

$$P_d = 0.90 \times 22783.20 = 20504.88 > P_a = 17357.82 kN$$

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{17357.82}{20504.88} = 0.85$$

5.3.1.7 Etki/kapasite oranları

3, 6, 9 ve 12 katlı yapılarda merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında eksenel çekme ve basınç etkileri altındaki “Etki/Kapasite” oranları sırasıyla Çizelge 5.22, Çizelge 5.23, Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25’te yer almaktadır.

Çizelge 5.22 : 3 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
3	HD360x196	0.00	0.19
2	HD360x196	0.08	0.31
1	HD360x196	0.25	0.59

Çizelge 5.23 : 6 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
6	HD360x196	0.00	0.12
5	HD360x196	0.08	0.31
4	HD360x196	0.26	0.58
3	HD400x314	0.30	0.52

Çizelge 5.23 (devam) : 6 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
2	HD400x314	0.46	0.73
1	HD400x314	0.62	0.96

Çizelge 5.24 : 9 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
9	HD320x127	0.00	0.30
8	HD320x127	0.13	0.46
7	HD320x127	0.34	0.86
6	HD400x314	0.27	0.48
5	HD400x314	0.40	0.68
4	HD400x314	0.55	0.90
3	HD400x509	0.45	0.65
2	HD400x509	0.55	0.78
1	HD400x509	0.64	0.91

Çizelge 5.25 : 12 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
12	HD320x127	0.00	0.30
11	HD320x127	0.12	0.47
10	HD320x127	0.33	0.84
9	HD400x287	0.27	0.51
8	HD400x287	0.41	0.71
7	HD400x287	0.55	0.93
6	HD400x463	0.44	0.66
5	HD400x463	0.54	0.80

Çizelge 5.25 (devam) : 12 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
4	HD400x463	0.65	0.94
3	HD400x677	0.52	0.74
2	HD400x677	0.59	0.84
1	HD400x677	0.67	0.94

5.3.2 Y doğrultusunda hesap

Yapının Y doğrultusunda A ve H akslarında bağımsız iki açıklıkta olmak üzere toplamda dört merkezi çaprazlı çelik çerçeve konumlandırılmıştır. Belirtilen merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları mekanizma durumları dolayısıyla oluşan iç kuvvetler ile düşey etkiler dolayısıyla oluşan iç kuvvetlerin birleştirilmesi sonucu elde edilen en elverişsiz iç kuvvetlere bağlı olarak boyutlandırılmaktadır.

5.3.2.1 Çaprazların beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları

Yapının Y doğrultusundaki çapraz elemanların beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımlarının hesabı, detayları Bölüm 5.3.1.1’de açıklandığı şekilde gerçekleştirilmiştir. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılar için elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.26, Çizelge 5.27, Çizelge 5.28 ve Çizelge 5.29’da yer almaktadır.

Çizelge 5.26 : 3 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
3	140x140x10.00	65.82	1501.89	1265.59	379.68
2	160x160x12.50	58.05	2078.95	1873.53	562.06
1	180x180x12.50	51.18	2384.92	2264.80	679.44

Çizelge 5.27 : 6 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
6	120x120x12.50	79.22	1543.34	1135.65	340.7

Çizelge 5.27 (devam) : 6 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
5	140x140x14.20	67.73	2055.92	1701.9	510.57
4	160x160x14.20	58.49	2403.35	2158.13	647.44
3	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
2	180x180x14.20	51.45	2751.1	2607.48	782.25
1	180x180x16.00	52.00	3045.88	2875.47	862.65

Çizelge 5.28 : 9 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
9	120x120x10.00	77.54	1281.46	960.44	288.14
8	140x140x10.00	65.61	1526.23	1288.59	386.58
7	140x140x14.20	67.73	2055.92	1701.9	510.57
6	160x160x12.50	57.83	2155.28	1945.83	583.75
5	160x160x14.20	58.49	2403.35	2158.13	647.44
4	160x160x16.00	59.18	2654.04	2369.82	710.95
3	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
2	180x180x14.20	51.45	2751.1	2607.48	782.25
1	180x180x14.20	51.45	2751.1	2607.48	782.25

Çizelge 5.29 : 12 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
12	120x120x10.00	77.54	1281.46	960.44	288.14
11	120x120x12.50	79.22	1543.34	1135.65	340.7
10	140x140x10.00	65.61	1526.23	1288.59	386.58
9	140x140x14.20	67.73	2055.92	1701.9	510.57
8	160x160x12.50	57.83	2155.28	1945.83	583.75
7	160x160x12.50	57.83	2155.28	1945.83	583.75
6	160x160x14.20	58.49	2403.35	2158.13	647.44
5	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49

Çizelge 5.29 (devam): 12 katlı yapının Y doğrultusu çaprazlarının beklenen (olası) eksenel kuvvet dayanımları.

Kat	Enkesit	KL/i	T (kN)	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)
4	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
3	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
2	180x180x12.50	50.92	2461.25	2341.63	702.49
1	180x180x14.20	51.45	2751.1	2607.48	782.25

5.3.2.2 Etki/kapasite oranları

3, 6, 9 ve 12 katlı yapılarda merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında eksenel çekme ve basınç etkileri altındaki “Etki/Kapasite” oranları sırasıyla Çizelge 5.30, Çizelge 5.31, Çizelge 5.32 ve Çizelge 5.33’te yer almaktadır.

Çizelge 5.30 : 3 katlı yapının Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
3	HD360x196	0.00	0.11
2	HD360x196	0.13	0.30
1	HD360x196	0.36	0.56

Çizelge 5.31 : 6 katlı yapının Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
6	HD360x196	0.00	0.11
5	HD360x196	0.12	0.30
4	HD360x196	0.33	0.54
3	HD400x347	0.33	0.48
2	HD400x347	0.48	0.68
1	HD400x347	0.64	0.89

Çizelge 5.32 : 9 katlı yapının Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
9	HD320x127	0.00	0.16
8	HD320x127	0.15	0.40
7	HD320x127	0.37	0.75
6	HD400x314	0.29	0.45
5	HD400x314	0.42	0.64
4	HD400x314	0.58	0.85
3	HD400x509	0.47	0.65
2	HD400x509	0.57	0.78
1	HD400x509	0.68	0.93

Çizelge 5.33 : 12 katlı yapının Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Eksenel Çekme Kuvveti	Eksenel Basınç Kuvveti
12	HD320x127	0.00	0.16
11	HD320x127	0.14	0.41
10	HD320x127	0.37	0.72
9	HD400x287	0.26	0.45
8	HD400x287	0.41	0.64
7	HD400x287	0.56	0.84
6	HD400x463	0.44	0.65
5	HD400x463	0.55	0.78
4	HD400x463	0.66	0.92
3	HD400x677	0.53	0.73
2	HD400x677	0.61	0.83
1	HD400x677	0.68	0.93

5.4 Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması

Bölüm 1’de açıklandığı üzere tez çalışması kapsamında ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde kirişte akmaya izin verilmesi durumunda yapının deprem performansı da değerlendirilmektedir. Bu nedenle hem TBDY 2018’e [1] göre hem de kirişte akmaya izin verilmesi durumuna göre gerçekleştirilen tasarımlar kullanılarak yapıların deprem performansları karşılaştırılmaktadır. Belirtilen tasarımlarda merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri haricindeki tüm elemanların boyutları aynı olarak ele alınmaktadır. Dolayısıyla sadece kirişlerin boyutlandırılmasında TBDY 2018 [1] ve Roeder ve diğ. [3] yöntemi olmak üzere iki tasarım yaklaşımı ayrı ayrı uygulanmaktadır.

TBDY 2018 [1] gereğince merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde kirişlerin Bölüm 5.3’te açıklanan mekanizma durumunda elastik kalması beklenmektedir. Bu nedenle kiriş için mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerin hesaplanması gerekmektedir. En elverişsiz mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerin, kirişte düşey yükler dolayısıyla meydana gelecek etkiler ile birleştirilmesi sonucunda gerekli dayanım elde edilmektedir. Tez çalışması kapsamında çerçeve kirişleri, belirtilen boyutlandırma işlemi gerçekleştirilerek tasarlanan yapılar “TBDY 2018” olarak ifade edilmektedir.

Literatürde ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde akmaya izin verilmesi durumunun incelendiği çalışmalar Bölüm 1.2’de açıklanmaktadır. İlgili çalışmalar sonucunda kirişte akmaya izin verilmesi için kirişin eksenel kapasitesinin en az %25 düşürülmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu doğrultuda tasarlanan çerçevelerde mekanizma durumlarının da değiştiği vurgulanmaktadır. Belirtilen çerçevelerde kirişte meydana gelen plastik deformasyonlar nedeniyle eksenel çekme kuvveti etkisindeki çaprazda oluşan eksenel kuvvetin mertebesi, elemanın beklenen (olası) burkulma dayanımı mertebesinde olmaktadır. Dolayısıyla burkulma anına karşılık gelen mekanizma durumu için hem eksenel çekme kuvveti etkisindeki çaprazlarda hem de eksenel basınç kuvveti etkisindeki çaprazlarda oluşacak iç kuvvet değeri elemanın beklenen (olası) burkulma dayanımına eşit olmaktadır. Burkulma sonrası mekanizma durumunda ise eksenel basınç kuvveti etkisindeki çapraz elemanın burkulması dolayısıyla çaprazda oluşacak iç kuvvet değeri, elemanın beklenen (olası) burkulma sonrası dayanımı olarak ele alınmaktadır. Eksenel çekme kuvveti etkisindeki çaprazda oluşacak iç kuvvet ise burkulma anına karşılık gelen mekanizma

durumundaki gibi elemanın beklenen (olası) burkulma dayanımına eşit olarak ele alınmaktadır. En elverişsiz mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerin kirişte düşey yükler dolayısıyla meydana gelecek etkiler ile birleştirilmesi sonucunda gerekli dayanım elde edilmektedir. Tez çalışması kapsamında çerçeve kirişleri belirtilen boyutlandırma işlemi gerçekleştirilerek tasarlanan yapılar “Roeder ve diğ. yöntemi” olarak ifade edilmektedir.

Kirişler için gerekli dayanımların belirlenmesi ile birlikte TBDY 2018 [1] ve ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği [6] kapsamında boyutlandırma işlemi için takip edilecek adımlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Enkesit Koşulu Kontrolü
2. Tasarım Eksenel Çekme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi
3. Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi
4. Tasarım Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi
5. Tasarım Kesme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi
6. Birleşik Etkiler Altında Uygunluk Kontrolü
7. Kullanılabilirlik Sınır Durumunun Kontrolü

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların tamamında tüm katlardaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için S355 malzeme sınıfı yapı çeliği ve HE enkesit profil kullanılmaktadır. Hesaplarda kirişin güçlü eksenindeki (X) uzunluğu olarak aks açıklığı olan 7m değeri ele alınırken zayıf eksenindeki uzunluğu (Y) olarak tali kirişlerle mesnetlenme uzunluğu olan 1.75m değeri ele alınmıştır.

5.4.1 TBDY 2018’e göre boyutlandırma

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların X ve Y doğrultusunda yer alan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması TBDY 2018 [1] esasları çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

5.4.1.1 X doğrultusunda hesap

12 katlı yapının 1. katında kullanılan HE600M enkesit I profil için dayanım hesabı gerçekleştirilmiştir. Enkesite ait karakteristik özellikler Çizelge 5.34’te verilmektedir.

Çizelge 5.34 : HE600M enkesite ait karakteristik özellikler.

d (mm)	t _w (mm)	I _x (cm ⁴)	i _x (mm)	A _g (cm ²)
620	21	237440	255.50	363.70
h (mm)	t _f (mm)	I _y (cm ⁴)	i _y (mm)	G (MPa)
486	40	18970	72.20	77200
b (mm)	J (cm ⁴)	C _w (cm ⁶)	W _{px} (cm ³)	W _{py} (cm ³)
305	1569	15900000	8772	1930

Kirişlerde mekanizma durumu ile uyumlu iç kuvvetler

Mekanizma durumu dolayısıyla kirişlerde oluşacak etkilerin belirlenmesi için kirişin orta noktasında birleşen çaprazların, bu noktada meydana getirdikleri bileşke yatay kuvvet (P_x) ile bileşke yatay kuvvetin (P_y) elde edilmesi gerekmektedir. Bu değerler ile denge denklemleri kullanılarak gerçekleştirilen işlemler sonucunda kirişte oluşacak eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri elde edilmektedir. İşlemlerde kirişte oluşacak eksenel çekme, basınç, kesme kuvveti ve eğilme momenti sırasıyla T, P, V ve M ile ifade edilmektedir. 12 katlı yapının birinci kat kirişi için gerekli işlemler aşağıda yer almaktadır.

Mekanizma: Durum 1

$$H_{d1} = (2461.25 + 2341.63 - 2461.25 - 2341.63) \times \cos(45) = 0.00kN$$

$$T_{1,Emh} = 2341.63 \times \cos(45) + \frac{0}{2} = 1655.79kN$$

$$P_{1,Emh} = 2461.25 \times \cos(45) + \frac{0}{2} = 1740.37kN$$

$$V_{d1} = (-2461.25 + 2341.63) \times \sin(45) = -84.59kN$$

$$V_{1,Emh} = -\frac{84.59}{2} = -42.295kN$$

$$M_{1,Emh} = \frac{-84.59 \times 7000}{4} \times 10^{-3} = -148.04kNm$$

Mekanizma: Durum 2

$$H_{d1} = (2461.25 + 702.49 - 2461.25 - 702.49) \times \cos(45) = 0.00kN$$

$$T_{1,Emh} = 702.49 \times \cos(45) + \frac{0}{2} = 496.74kN$$

$$P_{1,Emh} = 2461.25 \times \cos(45) + \frac{0}{2} = 1740.37kN$$

$$V_{d1} = (-2461.25 + 702.49) \times \sin(45) = -1243.64kN$$

$$V_{1,Emh} = -\frac{1243.64}{2} = -621.82kN$$

$$M_{1,Emh} = \frac{-1243.64 \times 7000}{4} \times 10^{-3} = -2176.37kNm$$

İki mekanizma durumu için de tüm katlarda ilgili işlemler gerçekleştirilerek en elverişsiz iç kuvvet değerleri elde edilmiştir. 12 katlı yapı için belirlenen sonuçlar Çizelge 5.35'te yer almaktadır.

Çizelge 5.35 : TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde mekanizma durumunda oluşan en elverişsiz iç kuvvetler.

Kat	T _{Emh} (kN)	P _{Emh} (kN)	V _{Emh} (kN)	M _{Emh} (kNm)
12	351.20	792.64	351.2	1229.19
11	833.67	1060.67	425.2	1488.2
10	1055.29	1343.57	490.15	1715.53
9	1220.36	1436.83	546.37	1912.28
8	1324.81	1575.13	555.62	1944.67
7	1375.92	1524.02	555.62	1944.67
6	1538.68	1686.79	620.81	2172.84
5	1611.38	1784.78	621.82	2176.37
4	1655.79	1740.37	621.82	2176.37
3	1655.79	1740.37	621.82	2176.37
2	1655.79	1740.37	621.82	2176.37
1	1655.79	1740.37	621.82	2176.37

Gerekli dayanımların belirlenmesi

Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin boyutlandırılabilmesi için mekanizma kuvvetleri ile uyumlu iç kuvvetlerin (E_{emh}) düşey etkilerden dolayı oluşacak iç kuvvetler ile birleştirilmesi gerekmektedir. En elverişsiz durum arandığı için 1.412G+0.50Q+0.20S yük birleşimi kullanılarak düşey etkiler dolayısıyla kirişte oluşan iç kuvvetler elde edilmektedir. Belirtilen etkilerin mekanizma durumu ile

uyumlu iç kuvvetler ile birleştirilmesi sonucunda aşağıda belirtilen yük birleşimi elde edilmiş olmaktadır.

$$1.412(G) + 0.50(Q) + 0.20(S) + E_{emh}$$

İlgili yük birleşimi için 12 katlı yapının X doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde meydana gelen iç kuvvetler Çizelge 5.36'da yer almaktadır. Rijit kat diyaframı kabulü dolayısıyla kirişlerde meydana gelen eksenel kuvvet değeri ihmal edilebilecek mertebede olmaktadır. Bu nedenle tabloda sıfır olarak gösterilmektedir.

Çizelge 5.36 : Düşey etkiler dolayısıyla 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde meydana gelen iç kuvvetler.

Kat	T (kN)	C (kN)	V (kN)	M (kNm)
12	0.00	0.00	80.92	177.76
11	0.00	0.00	102.4	224.31
10	0.00	0.00	103.77	226.71
9	0.00	0.00	105.59	229.9
8	0.00	0.00	105.97	230.57
7	0.00	0.00	105.97	230.57
6	0.00	0.00	106.35	231.24
5	0.00	0.00	106.35	231.24
4	0.00	0.00	106.35	231.24
3	0.00	0.00	106.35	231.24
2	0.00	0.00	106.35	231.24
1	0.00	0.00	106.35	231.24

Yüklerin birleştirilmesi sonucunda 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin tasarımında ele alınacak gerekli dayanımlar Çizelge 5.37'deki gibi olmaktadır. Hesaplarda 12 katlı yapının 1. kat kirişleri ele alınmaktadır. İlgili kiriş için gerekli dayanımlar tabloda işaretlenmiştir.

Çizelge 5.37 : TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için gerekli dayanımlar.

Kat	T (kN)	C (kN)	V (kN)	M (kNm)
12	351.20	792.64	432.12	1406.95
11	833.67	1060.67	527.60	1712.51

Çizelge 5.37 (devam) : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için gerekli dayanımlar.

Kat	T (kN)	C (kN)	V (kN)	M (kNm)
10	1055.29	1343.57	593.92	1942.24
9	1220.36	1436.83	651.96	2142.18
8	1324.81	1575.13	661.59	2175.24
7	1375.92	1524.02	661.59	2175.24
6	1538.68	1686.79	727.16	2404.08
5	1611.38	1784.78	728.17	2407.61
4	1655.79	1740.37	728.17	2407.61
3	1655.79	1740.37	728.17	2407.61
2	1655.79	1740.37	728.17	2407.61
1	1655.79	1740.37	728.17	2407.61

Enkesit koşulu kontrolü

Yapı süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlandığı için enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişliklerinin kalınlıklarına oranları, TBDY 2018 Tablo 9.3'te [1] belirtilen λ_{hd} sınır değerini aşmamalıdır.

Başlık Parçası

$$\frac{b}{2t} = \frac{305}{2 \times 40} = 3.81 < \lambda_{hd} = 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.30 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 7.12$$

Gövde Parçası

$$C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y} = \frac{1740.37 \times 1000}{0.9 \times 355 \times 363.70 \times 100} = 0.150$$

$$C_a = 0.150 > 0.125 \quad \lambda_{hd} = 0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a) \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{hd} = Maks \left[\begin{array}{l} \left(0.77 \sqrt{\frac{200000}{355}} \right) (2.93 - 0.15) = 50.81 \\ 1.49 \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.37 \end{array} \right] = 50.81$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{486}{21} = 23.14 < \lambda_{hd} = 50.81$$

Eleman süneklik düzeyi yüksek enkesit koşullarını sağlamaktadır.

Tasarım eksenel çekme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Kiriş enkesitinin eksenel çekme dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 7 [6] çerçevesinde elde edilmektedir. İlgili bölüm gereğince sırasıyla kayıpsız enkesitte akma ve etkin enkesitte kırılma sınır durumları ele alınmaktadır.

Akma sınır durumuna ilişkin hesap aşağıda yer almaktadır.

$$T_n = 355 \times (363.70 \times 10^2) \times 10^{-3} = 12911.35kN$$

$$T_d = 0.90 \times 12911.35 = 11620.22kN > T_a = 1655.39kN$$

$$\frac{T_a}{T_d} = \frac{1655.39}{11620.22} = 0.14$$

ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 7 [6] gereğince kırılma sınır durumunda etkin net enkesit alanı kullanılmaktadır. Kirişin kolon ile birleşimi dolayısıyla enkesit kaybı meydana gelmektedir. Güvenli tarafta kalmak adına net enkesit alanı, kayıpsız enkesit alanının %90'ı olarak ele alınmaktadır. Bulonlu birleşimde düzgün gerilme dağılımının sağlanması kabulü ile U katsayısı da 1 olarak ele alınmaktadır. Kırılma sınır durumuna ilişkin hesap aşağıda yer almaktadır.

$$A_n = 0.90 \times (363.70 \times 10^2) = 32733mm^2$$

$$A_e = UA_n = 1 \times 32733 = 32733mm^2$$

$$T_n = 510 \times 32733 \times 10^{-3} = 16693.83kN$$

$$T_d = 0.75 \times 16693.83 = 12520.37kN > T_a = 1655.39kN$$

$$\frac{T_a}{T_d} = \frac{1655.39}{12520.37} = 0.13$$

Tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi

Elemanın eksenel basınç dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği [6] Bölüm 8 çerçevesinde hesaplanmaktadır. Elemanın iki doğrultusu için de basınç dayanımı hesaplanmaktadır. Elemanın güçlü doğrultusunda (X) burkulma boyu sistem açıklığı olan 7m'ye eşit olurken, zayıf doğrultusunda (Y) burkulma boyu tali kirişlerin yerleşimi dolayısıyla 1.75m olarak ele alınmaktadır.

Elemanın güçlü doğrultusu için tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$\frac{KL}{i_x} = \frac{1 \times 7000}{255.50} = 27.40 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.79$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(27.45)^2} = 2629.23 MPa$$

$$F_{cr,x} = 0.658^{\frac{355}{2629.23}} \times 355 = 335.49 MPa$$

$$P_n = F_{cr,x} A_g = 334.80 \times (363.70 \times 10^2) \times 10^{-3} = 12201.77 kN$$

$$P_d = 0.90 \times 12201.77 = 10981.59 kN > P_a = 1740.37 kN$$

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{1740.37}{10981.59} = 0.16$$

Elemanın zayıf doğrultusu için tasarım eksenel basınç kuvveti dayanımı hesabı aşağıda yer almaktadır.

$$\frac{KL}{i_y} = \frac{1 \times 1750}{72.20} = 24.24 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 111.79$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(24.24)^2} = 3359.42 MPa$$

$$F_{cr,y} = 0.658^{\frac{355}{3359.42}} \times 355 = 339.064 MPa$$

$$P_n = F_{cr,y} A_g = 339.64 \times (363.70 \times 10^2) \times 10^{-3} = 12352.71 kN$$

$$P_d = 0.90 \times 12352.71 = 11117.44 kN > P_a = 1740.37 kN$$

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{1740.37}{11117.44} = 0.16$$

Tasarım kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Elemanın tasarım kesme kuvveti dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 10 [6] çerçevesinde hesaplanmaktadır. İlgili bölüm gereğince elemanın karakteristik kesme kuvveti dayanımı (V_n) elde edilmektedir. Denklemden yer alan A_w ifadesi gövde alanını, C_{v1} ise gövde kesme kuvveti dayanım katsayısını temsil etmektedir. ÇYTHYE

2018 Yönetmeliği Bölüm 10.2.1(a) [6] gereğince I enkesitli hadde profillerde denklem 5.5'te belirtilen koşulun sağlanması durumunda gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı (C_{v1}) ve kesme kuvveti için dayanım katsayısı (ϕ_v) 1 olarak ele alınmaktadır.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{486}{21} = 23.14 \leq 2.24 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.17$$

$$A_w = dt_w = 620 \times 21 = 9660 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0.60 \times 355 \times 9660 \times 1 \times 10^{-3} = 2057.58 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = 1 \times 2057.58 = 2057.58 \text{ kN} > V_a = 728.17 \text{ kN}$$

$$\frac{V_a}{\phi_v V_n} = \frac{728.17}{2057.58} = 0.35$$

Tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Elemanın tasarım eğilme momenti dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 9 [6] çerçevesinde hesaplanmaktadır. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 9.2 [6] ile akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı (M_n) elde edilmektedir. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 9.1 [6] gereğince eğilme etkisi dayanım katsayısı (ϕ_b) 0.90 olarak ele alınmaktadır. Kirişin ankrajlarla döşemeye bağlanması ve tali kirişlerle yanalda desteklenmesi dolayısıyla ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 9.2.2(a) [6] gereğince burulmalı burkulma sınır durumunun incelenmesine gerek bulunmamaktadır.

$$M_p = F_y W_{px} = 355 \times 8772000 \times 10^{-6} = 3114.06 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi_b M_p = 0.90 \times 3114.06 = 2802.65 \text{ kNm} > M_a = 2407.61 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_a}{M_d} = \frac{2407.61}{2802.65} = 0.86$$

Bileşik etki kontrolü

ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 11 [6] gereğince eksenel kuvvet ve eğilme etkisi altındaki elemanların tasarımında bileşik etki kontrolünün gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Denklem 5.36 ve 5.37'de verilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 11.1a ve 11.1b [6] doğrultusunda bileşik etki kontrolü elemana etkileyen eksenel kuvvetin elemanın tasarım eksenel kuvvet dayanımına oranına bağlı olarak ilgili bağıntı ile gerçekleştirilmektedir. Belirtilen oran eksenel basınç kuvveti altında

daha kritik sonuç verdiği için eğilme momenti ve basınç kuvveti etkisi için bileşik etki kontrolü gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{P_a}{P_d} \geq 0.20 \rightarrow \frac{P_a}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ax}}{M_{dx}} + \frac{M_{ay}}{M_{dy}} \right) \leq 1.0 \quad (5.36)$$

$$\frac{P_a}{P_d} < 0.20 \rightarrow \frac{P_a}{2P_c} + \left(\frac{M_{ax}}{M_{dx}} + \frac{M_{ay}}{M_{dy}} \right) \leq 1.0 \quad (5.37)$$

$$\frac{P_a}{P_d} = 0.16 < 0.20 \rightarrow \frac{1740.37}{2 \times 10981.59} + \frac{2407.61}{2802.65} = 0.94 < 1.00$$

Kullanılabilirlik sınır durumunun kontrolü

Kullanılabilirlik sınır durumu kontrolünde elemanda meydana gelen düşey yer değiştirme miktarının sınır değeri aşma durumu kontrol edilmektedir. İlgili kontrolle ilgili detaylar Bölüm 5.1.4'te yer almaktadır. Merkezi çaprazlı çelik çerçeve düzeni dolayısıyla çerçeve kirişleri her katta çaprazlar tarafından desteklenmektedir. Bu nedenle düşey yer değiştirme sınır değerini hesabında yer alan L değeri 3.5m olarak ele alınmaktadır.

$$\Delta_{sınır} = \frac{L}{300} = \frac{3500}{300} = 11.67mm$$

$$\Delta_{maks} = 0.128mm < \Delta_{sınır} = 11.67mm$$

Etki/kapasite oranları

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların X doğrultusunda yer alan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için gerçekleştirilen boyutlandırma işlemi sonucunda elde edilen gerekli enkesit ve "Etki/Kapasite" oranları sırasıyla Çizelge 5.38, Çizelge 5.39, Çizelge 5.40 ve Çizelge 5.41'de yer almaktadır.

Çizelge 5.38 : 3 katlı yapının X doğrultusunda TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
3	HE 500 B	0.36	0.97
2	HE 450 M	0.42	1.03
1	HE 500 M	0.40	1.01

Çizelge 5.39 : 6 katlı yapının X doğrultusunda TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
6	HE 340 M	0.45	0.98
5	HE 450 M	0.42	1.03
4	HE 500 M	0.41	1.03
3	HE 600 M	0.35	0.93
2	HE 600 M	0.35	0.94
1	HE 600 M	0.35	0.94

Çizelge 5.40 : 9 katlı yapının X doğrultusunda TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
9	HE 500 B	0.36	0.97
8	HE 550 B	0.36	0.99
7	HE 650 B	0.36	0.99
6	HE 550 M	0.36	0.93
5	HE 550 M	0.39	1.03
4	HE 600 M	0.39	1.03
3	HE 600 M	0.35	0.94
2	HE 550 M	0.39	1.03
1	HE 550 M	0.39	1.03

Çizelge 5.41 : 12 katlı yapının X doğrultusunda TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
12	HE 500 B	0.36	0.97
11	HE 550 B	0.38	1.03
10	HE 600 B	0.37	1.03
9	HE 500 M	0.40	1.02

Çizelge 5.41 (devam) : 12 katlı yapının X doğrultusunda TBDY 2018’e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
8	HE 550 M	0.36	0.93
7	HE 550 M	0.36	0.93
6	HE 550 M	0.39	1.03
5	HE 600 M	0.35	0.94
4	HE 600 M	0.35	0.94
3	HE 600 M	0.35	0.94
2	HE 600 M	0.35	0.94
1	HE 600 M	0.35	0.94

5.4.1.2 Y doğrultusunda hesap

X doğrultusunda gerçekleştirilen işlem adımları Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için gerçekleştirilmiştir. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için “Etki/Kapasite” oranları sırasıyla Çizelge 5.42, Çizelge 5.43, Çizelge 5.44 ve Çizelge 5.45’te yer almaktadır.

Çizelge 5.42 : 3 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018’e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
3	HE 400 M	0.25	0.95
2	HE 500 M	0.28	1.03
1	HE 550 M	0.28	1.03

Çizelge 5.43 : 6 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018’e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
6	HE 400 M	0.26	0.99
5	HE 500 M	0.28	1.01

Çizelge 5.43 (devam) : 6 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
4	HE 600 M	0.26	0.94
3	HE 600 M	0.26	0.94
2	HE 650 M	0.27	0.95
1	HE 700 M	0.27	0.96

Çizelge 5.44 : 9 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
9	HE 500 B	0.36	0.97
8	HE 550 B	0.36	0.99
7	HE 650 B	0.36	0.99
6	HE 550 M	0.36	0.93
5	HE 550 M	0.39	1.03
4	HE 600 M	0.39	1.03
3	HE 600 M	0.35	0.94
2	HE 650 M	0.35	0.95
1	HE 650 M	0.35	0.95

Çizelge 5.45 : 12 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
12	HE 500 B	0.36	0.97
11	HE 550 B	0.38	1.03
10	HE 550 B	0.36	0.99
9	HE 500 M	0.40	1.01
8	HE 550 M	0.36	0.93
7	HE 550 M	0.36	0.93

Çizelge 5.45 (devam) : 12 katlı yapının Y doğrultusunda TBDY 2018'e [1] göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranları	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
6	HE 550 M	0.39	1.03
5	HE 600 M	0.35	0.94
4	HE 600 M	0.35	0.94
3	HE 600 M	0.35	0.94
2	HE 600 M	0.35	0.94
1	HE 650 M	0.35	0.95

5.4.2 Roeder ve diğ. yöntemi

Deprem yönüne bağlı olarak mekanizma durumunda çaprazlarda meydana gelecek etkiler Şekil 5.3'te yer almaktadır. Roeder ve diğ. [3] yöntemi gereğince çaprazlarda meydana gelen beklenen (olası) dayanım değerleri denklem 5.27 ve 5.28 kullanılarak elde edilmektedir. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılarda ilgili mekanizma durumlarında çaprazlarda oluşacak iç kuvvet değerleri sırasıyla Çizelge 5.14, Çizelge 5.15, Çizelge 5.16 ve Çizelge 5.17'de yer almaktadır.

$$T = P_1 = 1.14F_{cre}A_g$$

$$P_2 = 0.30P_1 = 0.30(1.14F_{cre}A_g)$$

Çaprazda meydana gelecek beklenen (olası) eksenel çekme kuvveti dayanımının, elemanın beklenen (olası) burkulma dayanımına eşit alınmasıyla birlikte kiriş ortasında meydana gelecek bileşke kuvvetler burkulma anı ve burkulma sonrası için sırasıyla denklem 5.38 ve 5.39'da gösterildiği şekilde olmaktadır.

$$H_d = (P_1 + P_1)\cos\theta = 2P_1\cos\theta \quad (5.38)$$

$$V_d = (P_1 - P_1)\sin\theta = 0$$

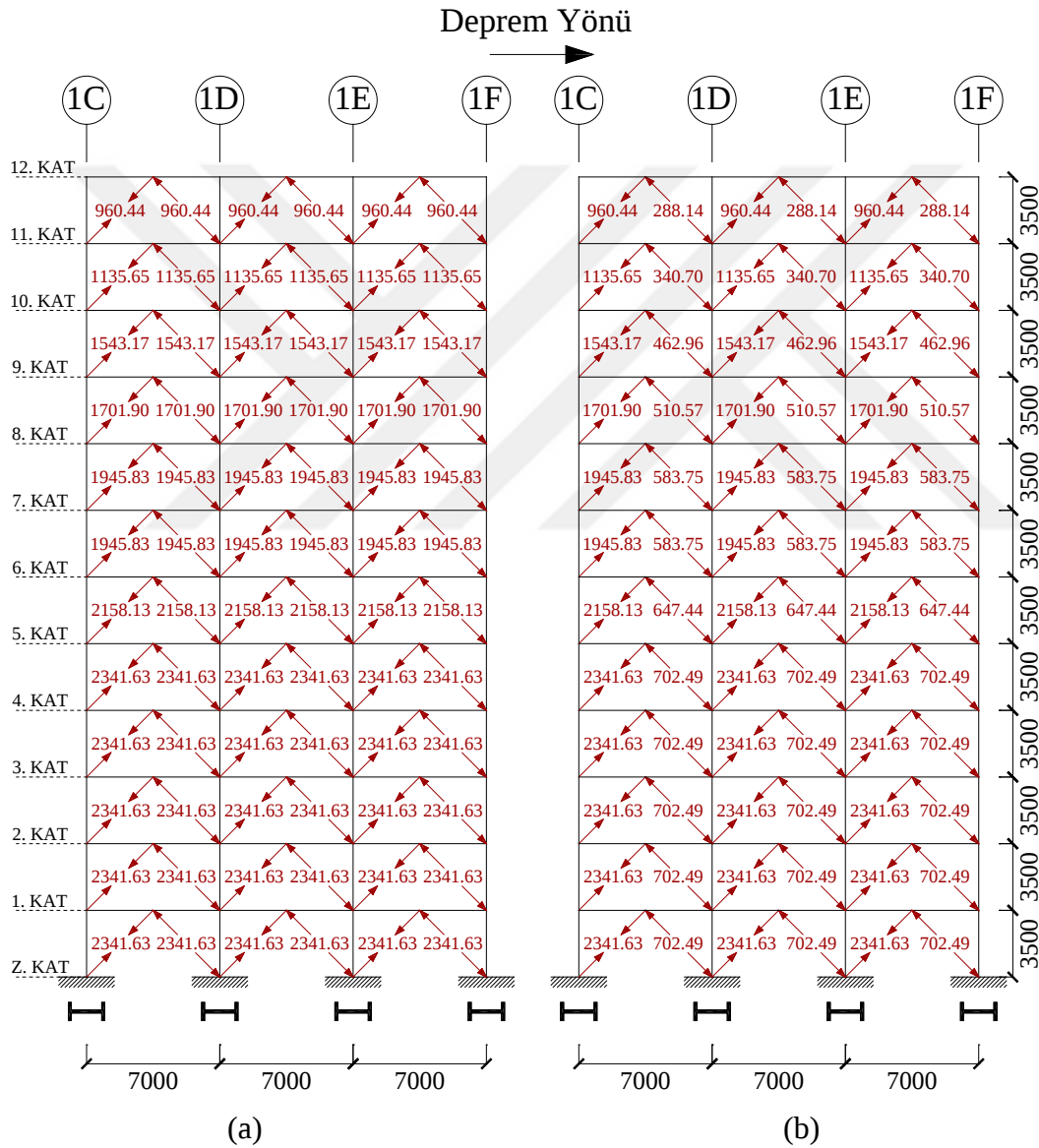
$$H_d = (P_1 + 0.3P_1)\cos\theta = 1.3P_1\cos\theta \quad (5.39)$$

$$V_d = (P_1 - 0.3P_1)\sin\theta = 0.7P_1\sin\theta$$

Kiriş ortasında meydana gelen bileşke kuvvetlerin TBDY 2018'e [1] göre tasarımda meydana gelen kuvvetlerden daha düşük olması nedeniyle Roeder Yöntemi ile tasarımda derinliği daha az olan enkesitlerin kullanımı mümkün olmaktadır.

5.4.2.1 X doğrultusunda hesap

Çaprazlar için Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre beklenen (olası) dayanımların ele alınması durumunda 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde meydana gelen mekanizma durumları Şekil 5.7'deki gibi olmaktadır.



Şekil 5.7 : Kirişte akmaya izin verilmesi durumunda mekanizma durumları

(a) Durum 1 (b) Durum2.

Şekil 5.7'de belirtilen durumlar için denge denklemleri kullanılarak merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde meydana gelecek iç kuvvetler elde edilmektedir. Mekanizma

durumu dolayısıyla kirişlerde oluşan en elverişsiz iç kuvvetler Çizelge 5.46’da gösterilmektedir.

Çizelge 5.46 : Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde mekanizma durumunda oluşan en elverişsiz iç kuvvetler.

Kat	T_{Emh} (kN)	P_{Emh} (kN)	V_{Emh} (kN)	M_{Emh} (kNm)
12	679.14	679.14	237.70	831.94
11	803.03	803.03	281.06	983.71
10	1091.20	1091.20	381.92	1336.71
9	1203.43	1203.43	421.20	1474.20
8	1375.92	1375.92	481.57	1685.50
7	1375.91	1375.91	481.57	1685.50
6	1526.03	1526.03	534.11	1869.39
5	1655.79	1655.79	579.53	2028.34
4	1655.79	1655.79	579.53	2028.34
3	1655.79	1655.79	579.53	2028.34
2	1655.79	1655.79	579.53	2028.34
1	1655.79	1655.79	579.53	2028.34

5.4.2.2 Gerekli dayanımlar

Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin boyutlandırılmasında düşey etkiler dolayısıyla oluşan iç kuvvetler ile mekanizma durumunda meydana gelen en elverişsiz iç kuvvetlerin birleştirilmesi sonucunda elde edilen değerler kullanılmaktadır. Düşey etkiler dolayısıyla kirişlerde oluşacak iç kuvvetler Çizelge 5.36’da yer almaktadır. Çizelge 5.36’da verilen değerler ile Çizelge 5.46’da verilen değerlerin birleştirilmesi sonucunda elde edilen gerekli dayanımlar, Çizelge 5.47’de gösterilmektedir. Belirtilen değerler kullanılarak, Bölüm 5.4.1.1’de açıklanan işlemler doğrultusunda elemanların boyutlandırılması gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 5.47 : Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için gerekli dayanımlar.

Kat	T (kN)	C (kN)	V (kN)	M (kNm)
12	679.14	679.14	318.62	1009.70

Çizelge 5.47 (devam) : Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için gerekli dayanımlar.

Kat	T (kN)	C (kN)	V (kN)	M (kNm)
11	803.03	803.03	382.85	1206.96
10	1091.20	1091.20	484.32	1561.02
9	1203.43	1203.43	526.41	1703.44
8	1375.92	1375.92	587.16	1915.40
7	1375.91	1375.91	587.16	1915.40
6	1526.03	1526.03	639.70	2099.29
5	1655.79	1655.79	685.50	2258.91
4	1655.79	1655.79	685.50	2258.91
3	1655.79	1655.79	685.50	2258.91
2	1655.79	1655.79	685.50	2258.91
1	1655.79	1655.79	685.50	2258.91

5.4.2.3 Etki/kapasite oranları

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların X doğrultusunda yer alan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması Roeder ve diğ. [3] yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma sonucunda elde edilen enkesitler ve meydana gelen “Etki/Kapasite” oranları Çizelge 5.48, Çizelge 5.49, Çizelge 5.50 ve Çizelge 5.51’de verilmektedir.

Çizelge 5.48 : 3 katlı yapının X doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
3	HE 400 B	0.36	1.04
2	HE 400 M	0.40	0.94
1	HE 400 M	0.43	1.02

Çizelge 5.49 : 6 katlı yapının X doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
6	HE 400 B	0.37	1.04
5	HE 400 M	0.40	0.94
4	HE 450 M	0.41	1.02
3	HE 500 M	0.49	1.00
2	HE 550 M	0.37	0.97
1	HE 550 M	0.37	0.97

Çizelge 5.50 : 9 katlı yapının X doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
9	HE 400 B	0.36	1.04
8	HE 500 B	0.35	0.94
7	HE 550 B	0.38	1.03
6	HE 450 M	0.41	1.02
5	HE 500 M	0.39	1.00
4	HE 550 M	0.38	0.98
3	HE 550 M	0.37	0.97
2	HE 550 M	0.37	0.97
1	HE 550 M	0.37	0.97

Çizelge 5.51 : 12 katlı yapının X doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
12	HE 400 B	0.36	1.04
11	HE 450 B	0.37	1.01
10	HE 550 B	0.35	0.94

Çizelge 5.51 (devam) : 12 katlı yapının X doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
9	HE 400 M	0.43	1.02
8	HE 450 M	0.41	1.02
7	HE 450 M	0.41	1.02
6	HE 500 M	0.39	1.00
5	HE 550 M	0.37	0.97
4	HE 550 M	0.37	0.97
3	HE 550 M	0.37	0.97
2	HE 550 M	0.37	0.97
1	HE 550 M	0.37	0.97

5.4.2.4 Y doğrultusunda hesap

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların Y doğrultusunda yer alan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması Roeder ve diğ. [3] yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Boyutlandırma sonucunda elde edilen enkesitler ve meydana gelen “Etki/Kapasite” oranları Çizelge 5.52, Çizelge 5.53, Çizelge 5.54 ve Çizelge 5.55’te verilmektedir.

Çizelge 5.52 : 3 katlı yapının Y doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
3	HE 320 M	0.25	0.96
2	HE 450 M	0.27	0.99
1	HE 550 M	0.26	0.94

Çizelge 5.53 : 6 katlı yapının Y doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
6	HE 300 M	0.24	0.95
5	HE 400 M	0.27	1.02
4	HE 500 M	0.27	1.00
3	HE 550 M	0.27	0.97
2	HE 600 M	0.27	0.97
1	HE 650 M	0.27	0.97

Çizelge 5.54 : 9 katlı yapının Y doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
9	HE 400 B	0.36	1.04
8	HE 500 B	0.35	0.94
7	HE 550 B	0.38	1.03
6	HE 450 M	0.41	1.02
5	HE 500 M	0.39	1.00
4	HE 550 M	0.38	0.98
3	HE 550 M	0.37	0.97
2	HE 600 M	0.37	0.97
1	HE 600 M	0.37	0.97

Çizelge 5.55 : 12 katlı yapının Y doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
12	HE 400 B	0.36	1.04
11	HE 450 B	0.37	1.01
10	HE 500 B	0.35	0.94

Çizelge 5.55 (devam) : 12 katlı yapının Y doğrultusunda Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre boyutlandırılan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı	
		Kesme Kuvveti	Bileşik Etki
9	HE 400 M	0.43	1.02
8	HE 450 M	0.41	1.02
7	HE 450 M	0.41	1.02
6	HE 500 M	0.39	1.00
5	HE 550 M	0.37	0.97
4	HE 550 M	0.37	0.97
3	HE 550 M	0.37	0.97
2	HE 550 M	0.37	0.97
1	HE 600 M	0.37	0.97

5.4.3 Çerçeve kütlelerinin karşılaştırılması

Yapıların X ve Y doğrultularında yer alan merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin TBDY 2018'e [1] ve Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanması sonucunda toplam kütleleri Çizelge 5.56'daki gibi olmaktadır.

Çizelge 5.56 : TBDY 2018'e [1] ve Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan çerçevelerin kütlelerinin karşılaştırılması.

Bina Kat Sayısı	Tasarım Yöntemi	Çerçevenin Toplam Kütlesi (ton)			Kütlenin Azalma Oranı (%)		
		X	Y	Toplam	X	Y	Toplam
3	TBDY 2018	55	45	100	4.1	1.1	2.7
	Roeder ve diğ.	53	45	98			
6	TBDY 2018	131	108	239	4.4	1.8	3.2
	Roeder ve diğ.	126	106	232			
9	TBDY 2018	206	166	372	2.2	2.1	2.1
	Roeder ve diğ.	202	162	364			
12	TBDY 2018	302	245	547	2.3	1.9	2.1
	Roeder ve diğ.	296	240	536			

Çalışma kapsamında ele alınan Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapıların merkezi çaprazlı çelik çerçeve kiriş enkesitlerinin, TBDY 2018'e [1] göre gerekli enkesitten küçük olması dolayısıyla Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan çerçevelerin kütleleri de daha düşük olmaktadır. Roeder ve diğ. [3] yöntemi kullanılarak yapı genelinde merkezi çaprazlı çerçevelerin toplam kütlesinin %2 ile %3 aralığında düşürülmesi mümkün olmaktadır.

5.5 Sadece Düşey Yükleri Taşıyan Çerçeve Kolonlarının Boyutlandırılması

Yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonlarının boyutlandırılmasında düşey etkiler dolayısıyla elemanda oluşacak gerekli dayanımların belirlenmesiyle birlikte TBDY 2018 [1] ve ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği [6] kapsamında izlenecek adımlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Enkesit Koşulu Kontrolü
2. Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların tamamında belirtilen çerçeve kolonları için S275 malzeme sınıfı yapı çeliği ve HE enkesit profil kullanılmaktadır. Belirtilen çerçeve kolonlarının boyutlandırılmasında da merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarının boyutlandırılmasında olduğu gibi montaj koşulları dikkate alınmıştır.

Hesaplarda HE 300 M enkesite sahip 12 katlı yapının 1. kat kolonu ele alınmaktadır. Belirtilen enkesite ait karakteristik özellikler Çizelge 5.57'de yer almaktadır.

Çizelge 5.57 : HE 300 M enkesite ait karakteristik özellikler.

d (mm)	t _w (mm)	I _x (cm ⁴)	i _x (mm)	A _g (cm ²)
340	21	59200	139.80	303.10
h (mm)	t _f (mm)	I _y (cm ⁴)	i _y (mm)	G (MPa)
208	39	19400	80	77200
b (mm)	J (cm ⁴)	C _w (cm ⁶)	W _{px} (cm ³)	W _{py} (cm ³)
310	1408	4386000	4078	1913

5.5.1 Gerekli dayanımların belirlenmesi

SAP2000 [11] yapısal analiz programından sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonlarında, düşey yükleri içeren yük birleşimleri dolayısıyla oluşan en elverişsiz iç

kuvvetler elde edilmiştir. Değerler Çizelge 5.58’da gösterilmektedir. Belirtilen iç kuvvetler, ikinci mertebe etkileri içermektedir. Hesaplarda kullanılan değer çizelgede işaretlenmiştir. Yük birleşimi sadece düşey etkileri içerdiği için elemanda eksenel çekme etkisi meydana gelmemektedir.

Çizelge 5.58 : 12 katlı yapının sadece düşey etkileri taşıyan çerçeve kolonları için gerekli dayanımlar.

Kat	Yük Birleşimi	Eksenel Basınç Kuvveti (kN)
12	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q_r+N_{qrx})$	464.67
11	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	966.67
10	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	1468.68
9	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	1974.20
8	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	2479.73
7	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	2985.26
6	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	3491.44
5	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	3997.61
4	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	4503.79
3	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	5012.64
2	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	5521.50
1	$1.20(G+N_{gx})+1.60(Q+N_{qx})+0.50(Q_r+N_{qrx})$	6030.36

5.5.2 Enkesit koşulu kontrolü

Bölüm 5.1.1’de açıklandığı üzere eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanlarda narinlik kontrolü gerçekleştirilmektedir. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1A [6] gereğince gerçekleştirilen ilgili kontrole ilişkin hesaplar aşağıda yer almaktadır.

Başlık parçası için enkesit koşulu gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{b}{2t} = \frac{310}{2 \times 39} = 3.97 < \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 15.10$$

Gövde parçası için enkesit koşulu gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{208}{21} = 9.90 < \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 40.18$$

Gerekli narinlik koşulu sağlanmaktadır. Dolayısıyla enkesit narin değildir.

5.5.3 Tasarım aksel basınç dayanımının belirlenmesi

Elemanın aksel basınç dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 8 [6] çerçevesinde hesaplanmaktadır. Daha elverişsiz sonuçlar vereceği için enkesitin zayıf doğrultusu olan Y doğrultusu için sırasıyla eğilmeli burkulma ile burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumları incelenmektedir.

5.5.3.1 Eğilmeli burkulma sınır durumu

$$\frac{KL}{i_y} = \frac{1 \times 3500}{80} = 43.75 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.02$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(43.75)^2} = 1031.27 \text{ MPa}$$

$$F_{cr,y} = 0.658^{\frac{275}{1031.27}} \times 275 = 245.62 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr,y} A_g = 245.62 \times (303.10 \times 10^2) \times 10^{-3} = 7444.74 \text{ kN}$$

$$P_d = 0.90 \times 7444.74 = 6700.27 > P_a = 6030.36 \text{ kN}$$

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{6030.36}{6700.27} = 0.90$$

5.5.3.2 Eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi E C_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi \times 200000 \times 4386000000000}{(1 \times 3500)^2} + 77200 \times 14080000 \right] \times \frac{1}{592000000 + 194000000} = 2282.09 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_y}{F_{ez}} = \frac{275}{2282.09} = 0.12 < 2.25$$

$$F_{cr,z} = 0.658^{\frac{F_y}{F_{ez}}} F_y = 0.658^{0.12} \times 275 = 261.25 \text{ MPa}$$

$$P_n = A_g F_{cr,z} = (303.10 \times 10^2) \times 261.25 \times 10^{-3} = 7918.49 \text{ kN}$$

$$P_d = \phi P_n = 0.90 \times 7918.49 = 7126.64 > P_a = 6030.36 \text{ kN}$$

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{6030.36}{7126.64} = 0.85$$

5.5.4 Etki/kapasite oranları

3, 6, 9 ve 12 katlı yapılarda sadece düşey etkileri taşıyan çerçeve kolonlarının eksenel basınç etkisi altındaki “Etki/Kapasite” oranları sırasıyla Çizelge 5.59, Çizelge 5.60, Çizelge 5.61 ve Çizelge 5.62’de yer almaktadır.

Çizelge 5.59 : 3 katlı yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı
3	HE 220 B	0.26
2	HE 220 B	0.54
1	HE 220 B	0.82

Çizelge 5.60 : 6 katlı yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı
6	HE 200 B	0.32
5	HE 200 B	0.66
4	HE 240 B	0.68
3	HE 240 B	0.91
2	HE 320 B	0.70
1	HE 320 B	0.85

Çizelge 5.61 : 9 katlı yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı
9	HE 220 B	0.26
8	HE 220 B	0.54
7	HE 220 B	0.82
6	HE 240 M	0.48
5	HE 240 M	0.60
4	HE 240 M	0.72

Çizelge 5.61 (devam) : 9 katlı yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı
3	HE 280 M	0.67
2	HE 280 M	0.77
1	HE 280 M	0.86

Çizelge 5.62 : 12 katlı yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonları için etki/kapasite oranları.

Kat	Enkesit	Etki/Kapasite Oranı
12	HE 220 B	0.26
11	HE 220 B	0.54
10	HE 220 B	0.82
9	HE 240 M	0.48
8	HE 240 M	0.60
7	HE 240 M	0.72
6	HE 260 M	0.75
5	HE 260 M	0.86
4	HE 260 M	0.96
3	HE 300 M	0.75
2	HE 300 M	0.82
1	HE 300 M	0.90

5.6 Sadece Düşey Yükleri Taşıyan Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması

Yapının sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kolonlarının boyutlandırılmasında düşey etkiler dolayısıyla elemanda oluşacak gerekli dayanımlar, sadece düşey etkileri içeren yük birleşimlerinden elde edilmektedir. Gerekli dayanımların elde edilmesiyle birlikte kirişte meydana kesme kuvveti ve eğilme momenti altında boyutlandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. TBDY 2018 [1] ve ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği [6] kapsamında boyutlandırma işlemi için takip edilecek adımlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Enkesit Koşulu Kontrolü
2. Tasarım Eğilme Momenti Dayanımının Belirlenmesi

3. Tasarım Kesme Kuvveti Dayanımının Belirlenmesi

4. Kullanılabilirlik Sınır Durumunun Kontrolü

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların tamamında belirtilen çerçeve kirişleri için S355 malzeme sınıfı ve IPE enkesit kullanılması kararlaştırılmıştır. Elemanın iki doğrultudaki uzunluğu da açıklık uzunluğu olan 7m değeri olarak ele alınmıştır. Yapıların tüm kat planları ve çatı katı hariç katlara etkiyen yükler aynı olduğu için katlarda meydana gelen en elverişsiz iç kuvvetler de aynı olmaktadır. Bu nedenle tüm yapılarda bütün katlarda sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kirişleri için aynı enkesit kullanılmaktadır. Kullanılan IPE450 enkesite ait karakteristik özellikler Çizelge 5.63'te yer almaktadır.

Çizelge 5.63 : IPE450 enkesite ait karakteristik özellikler.

d (mm)	t _w (mm)	I _x (cm ⁴)	i _x (mm)	A _g (cm ²)
450	9.40	33740	185	98.80
h (mm)	t _f (mm)	I _y (cm ⁴)	i _y (mm)	G (MPa)
378.80	14.60	1675	41.20	77200
b (mm)	J (cm ⁴)	C _w (cm ⁶)	W _{px} (cm ³)	W _{py} (cm ³)
190	66.74	791000	1702.24	276.41

5.6.1 Gerekli dayanımların belirlenmesi

SAP2000 [11] yapısal analiz programından sadece düşey etkileri taşıyan çerçeve kirişlerinde sadece düşey etkileri içeren yük birleşimleri altında meydana gelen en elverişsiz iç kuvvet değerleri elde edilmektedir. Bu değerler Çizelge 5.64'te yer almaktadır. Çizelgede yer alan V kesme kuvvetini, M ise eğilme momentini temsil etmektedir.

Çizelge 5.64 : Sadece düşey etkileri taşıyan çerçeve kirişlerinde gerekli dayanımlar.

Yük Birleşimi	V (kN)	M (kNm)
1.20(G+N _{gx})+1.60(Q+N _{qx})+0.50(Q _r +N _{qrx})	177.76	451.83

5.6.2 Enkesit koşulu kontrolü

Bölüm 5.1.1’de açıklandığı üzere eğilme momenti etkisindeki elemanlarda kompaktlık kontrolü gerçekleştirilmektedir. ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Tablo 5.1B [6] gereğince gerçekleştirilen ilgili kontrole ilişkin hesaplar aşağıda yer almaktadır.

Başlık parçası için enkesit koşulu gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{190}{2 \times 14.60} = 6.51 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.02$$

Gövde parçası için enkesit koşulu gerçekleştirilmektedir.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{378.80}{14.60} = 25.95 < \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.25$$

Eğilme momentinin basınç bileşeni etkisi altındaki enkesit parçalarının genişlik ile kalınlıkları oranı λ_p sınır değerlerini aşmamaktadır. Dolayısıyla enkesit kompakttır.

5.6.3 Tasarım kesme kuvveti dayanımının belirlenmesi

Elemanın tasarım kesme kuvveti dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 10 [6] çerçevesinde elde edilmektedir. İlgili bölümde yer alan detaylar Bölüm 5.1.2’te açıklanmaktadır. IPE450 enkesit için gerçekleştirilen tasarım kesme kuvveti dayanımı hesabı aşağıda gösterilmektedir.

$$\frac{d}{t_w} = \frac{450}{9.40} = 47.87 < 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.17$$

$$C_{v1} = 1.00 \quad \phi = 1.00$$

$$A_w = dt_w = 450 \times 9.40 = 4230 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 0.60 F_y A_w C_{v1} = 0.60 \times 355 \times 4230 \times 1 \times 10^{-3} = 900.99 \text{ kN}$$

$$V_d = \phi V_n = 1 \times 900.99 = 900.99 \text{ kN} > V_a = 177.76 \text{ kN}$$

$$\frac{V_a}{\phi_v V_n} = \frac{177.76}{900.99} = 0.20$$

Eleman gerekli kesme kuvveti dayanımını sağlamaktadır.

5.6.4 Tasarım eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Elemanın tasarım eğilme momenti dayanımı ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 9 [6] çerçevesinde hesaplanmaktadır. İlgili hesap detayları Bölüm 5.1.3'te açıklanmaktadır. IPE450 eleman için gerçekleştirilen hesap aşağıda yer almaktadır.

$$M_p = F_y W_{p,x} = 355 \times 1702240 \times 10^{-6} = 604.30 kNm$$

$$M_d = \phi M_p = 0.90 \times 604.30 = 543.87 kNm > M_a = 485.00 kNm$$

$$\frac{M_a}{M_d} = \frac{485.00}{543.87} = 0.89$$

Eleman gerekli eğilme momenti dayanımını karşılamaktadır.

5.6.5 Kullanılabilirlik sınır durumunun kontrolü

Kullanılabilirlik sınır durumu ile ilgili detaylar Bölüm 5.1.4'te yer almaktadır. Sadece düşey yükleri taşıyan çerçeve kirişlerinde meydana gelen en büyük düşey yer değiştirme değeri SAP2000 [11] yapısal analiz programından elde edilmiştir. Düşey yer değiştirme sınır değerine bağlı olarak gerçekleştirilen kontrol aşağıda yer almaktadır.

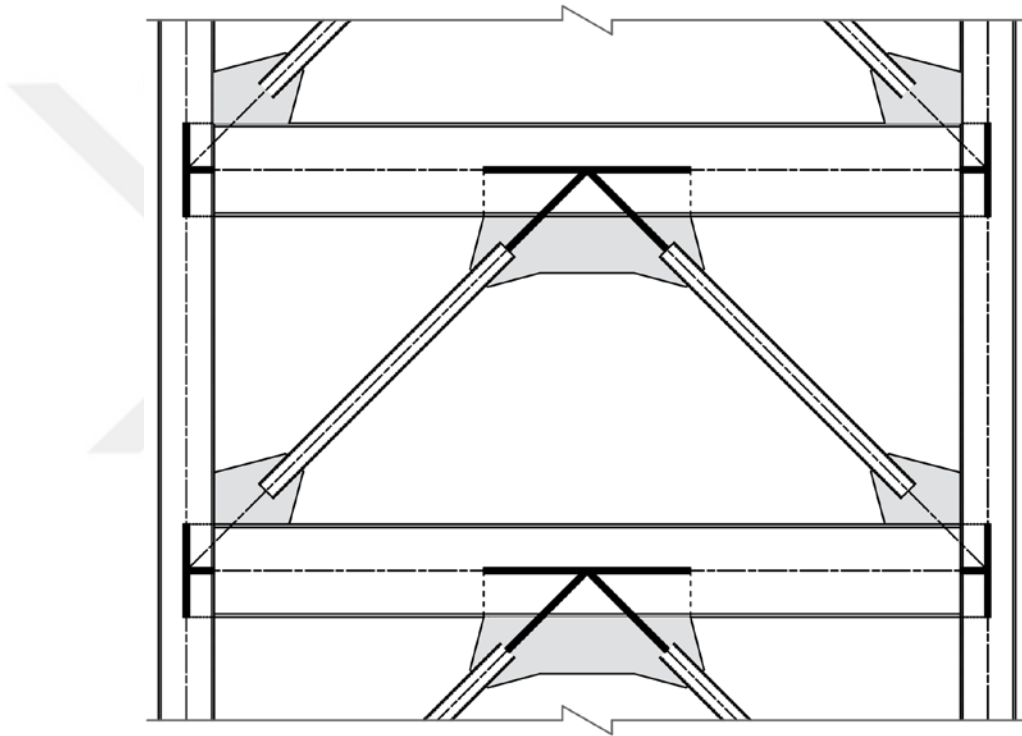
$$\Delta_{sınır} = \frac{L}{300} = \frac{7000}{300} = 23.33 mm$$

$$\Delta_{maks} = 22.18 mm < \Delta_{sınır} = 23.33 mm$$

5.7 Birleşimlerin Tasarımı

Tez çalışması kapsamında yapıların deprem performansının değerlendirilmesi amacıyla Perform3D [15] analiz programı kullanılmaktadır. Perform3D [15] analiz programında yapı elemanları, çubuk eleman olarak modellenmektedir. Dolayısıyla elemanın enkesit yüksekliği içerisinde kalan kısımlar veya birleşim bölgeleri, eleman uzunluğu içerisinde yer almaktadır. Bu durum yapıların analizde kullanılan modelini, yapının fiziki durumundan ayırtmaktadır. Bu nedenle doğrusal olmayan analizlerin gerçekleştirileceği Perform3D [15] analiz programında kolon ve kirişlerin birleşim noktalarında, enkesitlerin derinliği kadar rijit bölge tanımlaması gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte kolon-çapraz-kiriş ve çapraz-kiriş birleşimlerinde yer alan birleşim levhaları dolayısıyla çapraz elemanın iki ucunda ve çaprazın birleştiği kirişte birleşim levhası uzunluğunca rijit bölge tanımlanmaktadır.

Belirtilen rijit bölge davranışına ilişkin detay FEMA P-2006'da [16] yer almaktadır. FEMA P-2006'da [16] çaprazın birleştiği kirişte birleşim levhası uzunluğunca rijit bölge tanımlaması gösterilmemektedir. Fakat Asada ve diğ. [4] tarafından yapılan çalışmada çaprazın birleştiği kirişin iki ucunun mafsallı olması durumunda FEMA P-2006'da [16] belirtilen rijit bölgelere ek olarak kiriş ortasında da rijit bölge tanımlanmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, ilgili bölgenin rijit davranış gösterdiği de vurgulanmaktadır. Dolayısıyla tez çalışması kapsamında kiriş ortasında da bir rijit bölge tanımlaması gerçekleştirilmektedir. Perform3D [15] analiz programında oluşturulan çerçeve temsili olarak Şekil 5.8'de gösterilmektedir.



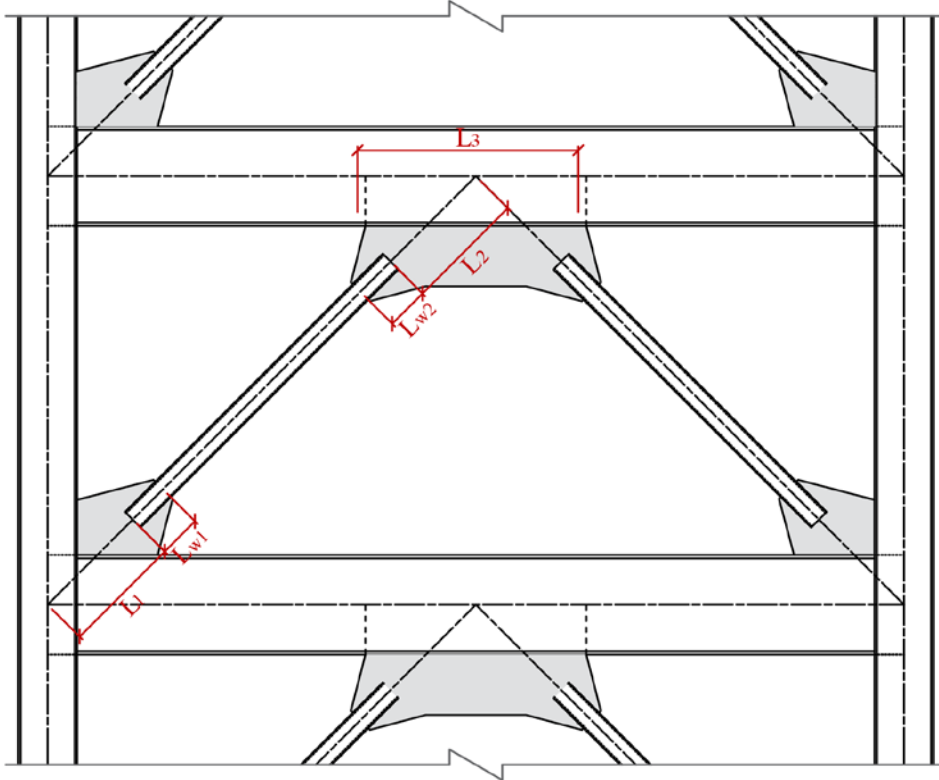
Şekil 5.8 : Perform3D analiz programında tanımlanan rijit bölgelerin merkezi çaprazlı çelik çerçeve üzerinde temsili gösterimi.

Çaprazın iki ucunda ve kiriş ortasında ve tanımlanacak rijit bölge uzunluklarının belirlenebilmesi için çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin oluşturulması gerekmektedir. İlgili birleşimlerin oluşturulabilmesi için öncelikle teşkil edilecek birleşim türüne karar verilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında düğüm noktası levhasının geometrisi, çaprazların çerçeve düzlemine dik doğrultuda burkulacağı varsayılarak oluşturulmuştur.

Merkezi çaprazlı çelik çerçevede teşkil edilecek çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımında AISC Steel Design Guide 29 [17] takip edilmiştir.

Belirtilen birleşimlerin deprem etkileri dolayısıyla oluşacak iç kuvvetleri taşıması dolayısıyla, AISC Steel Design Guide 29'da [17] verilen deprem etkilerini taşıyan birleşim türleri kullanılmıştır. İlgili birleşimlerin tasarımında üniform kuvvet yöntemi ele alınmış; geometrik koşulların sağlanmasına ve düğüm noktası levhası üzerinde, t_p düğüm noktası levhası kalınlığı olmak üzere, $3t_p$ genişliğinde bir eğilme bölgesi oluşturulmasına dikkat edilmiştir.

Gerçekleştirilen birleşim tasarımları sonucunda elde edilen uzunlukların çerçeve üzerinde gösterimi Şekil 5.9'da yer almaktadır. İlgili şekilde L_1 ve L_2 ile gösterilen uzunluklar, çapraz elemanların uçlarında teşkil edilecek rijit bölge uzunluğunu göstermektedir. L_3 uzunluğu ise çapraz-kiriş birleşimi dolayısıyla kirişte tanımlanan rijit bölgenin uzunluğunu belirtmektedir. Şekil 5.9'da gösterilen L_{w1} ve L_{w2} değerleri çaprazın düğüm noktası ile birleşiminde teşkil edilecek kaynaklı birleşimin uzunluğunu; a_1 ve a_2 değerleri ise kaynak etkin kalınlığını ifade etmektedir. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların X doğrultusunda yer alan merkezi çaprazlı çelik çerçeveler için ilgili birleşimlerin tasarımı sonucunda elde edilen değerler sırasıyla Çizelge 5.65, Çizelge 5.66, Çizelge 5.67 ve Çizelge 5.68'de yer almaktadır.



Şekil 5.9 : Tasarlanan birleşimlere ait uzunlukların çerçeve üzerinde temsili gösterimi.

3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların Y doğrultusunda yer alan merkezi çaprazlı çelik çerçeveler için gerçekleştirilen işlemler sonucunda elde edilen değerler ise sırasıyla Çizelge 5.69, Çizelge 5.70, Çizelge 5.71 ve Çizelge 5.72’de gösterilmektedir. Çizelgelerde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinde çapraz-düğüm noktası levhası arasında teşkil edilecek kaynaklı birleşimin uzunluğu sırasıyla L_{w1} ve L_{w2} ile gösterilmektedir. Çizelgelerde yer alan t_{p1} ve t_{p2} ise sırasıyla çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinde kullanılacak düğüm noktası levhasının kalınlığını belirtmektedir.

Çizelge 5.65 : 3 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	t _{p1}	t _{p2}
3	590	600	1210	250	250	6	6	15	15
2	660	630	1300	300	300	7	7	15	15
1	660	660	1340	300	300	7	7	15	15

Çizelge 5.66 : 6 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	t _{p1}	t _{p2}
6	600	530	1110	250	250	6	6	20	20
5	670	640	1320	300	300	7	7	20	20
4	780	710	1480	350	350	7	7	20	20
3	780	780	1570	350	350	7	7	20	20
2	810	810	1680	400	400	7	7	20	20
1	810	810	1680	400	400	7	7	20	20

Çizelge 5.67 : 9 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	tp ₁	tp ₂
9	650	610	1230	250	250	6	6	20	20
8	760	690	1390	300	300	6	6	20	20
7	700	760	1490	300	300	7	7	20	20
6	740	740	1520	350	350	7	7	20	20
5	780	740	1520	350	350	7	7	20	20
4	780	780	1570	350	350	8	8	20	20

Çizelge 5.67 (devam) : 9 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	t _{p1}	t _{p2}
3	780	810	1680	400	400	7	7	20	20
2	780	780	1630	400	400	7	7	20	20
1	780	780	1630	400	400	7	7	20	20

Çizelge 5.68 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	t _{p1}	t _{p2}
12	640	600	1210	250	250	6	6	15	15
11	670	640	1260	250	250	7	7	15	15
10	660	710	1420	300	300	7	7	15	15
9	690	660	1340	300	300	7	7	15	15
8	730	730	1500	350	350	7	7	15	15
7	730	730	1500	350	350	7	7	15	15
6	770	730	1500	350	350	7	7	15	15
5	810	810	1660	400	400	7	7	15	15
4	810	810	1660	400	400	7	7	15	15
3	810	810	1660	400	400	7	7	15	15
2	810	810	1660	400	400	7	7	15	15
1	810	810	1660	400	400	7	7	15	15

Çizelge 5.69 : 3 katlı yapının Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	t _{p1}	t _{p2}
3	660	590	1250	300	300	6	6	15	15
2	730	700	1450	350	350	7	7	15	15
1	730	770	1610	350	400	7	7	15	15

Çizelge 5.70 : 6 katlı yapının Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	t _{p1}	t _{p2}
6	630	560	1160	250	250	7	7	20	20
5	740	670	1370	300	300	7	7	20	20
4	780	780	1570	350	350	7	7	20	20
3	850	810	1680	400	400	7	7	20	20
2	880	850	1730	400	400	7	7	20	20
1	880	880	1780	400	400	7	8	20	20

Çizelge 5.71 : 9 katlı yapının Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	t _{p1}	t _{p2}
9	650	610	1230	250	250	6	6	20	20
8	760	690	1390	300	300	6	6	20	20
7	700	760	1490	300	300	7	7	20	20
6	740	740	1520	350	350	7	7	20	20
5	780	740	1520	350	350	7	7	20	20
4	780	780	1570	350	350	8	8	20	20
3	850	810	1680	400	400	7	7	20	20
2	850	850	1730	400	400	7	7	20	20
1	850	850	1730	400	400	7	7	20	20

Çizelge 5.72 : 12 katlı yapının Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	t _{p1}	t _{p2}
12	640	600	1210	250	250	6	6	15	15
11	640	640	1260	250	250	7	7	15	15
10	660	680	1370	300	300	6	6	15	15
9	690	660	1340	300	300	7	7	15	15
8	730	730	1500	350	350	7	7	15	15
7	730	730	1500	350	350	7	7	15	15
6	770	730	1500	350	350	7	7	15	15
5	810	810	1660	400	400	7	7	15	15
4	810	810	1660	400	400	7	7	15	15
3	810	810	1660	400	400	7	7	15	15

Çizelge 5.72 (devam) : 12 katlı yapının Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminde çapraz-kiriş-kolon ve çapraz-kiriş birleşimlerinin tasarımı sonucunda elde edilen değerler.

Kat	Birleşime Ait Parametreler (mm)								
	L ₁	L ₂	L ₃	L _{w1}	L _{w2}	a ₁	a ₂	t _{p1}	t _{p2}
2	840	810	1660	400	400	7	7	15	15
1	840	840	1710	400	400	7	8	15	15

5.7.1 Çapraz-kiriş-kolon birleşimi

12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin 2. katında teşkil edilecek çapraz-kiriş-kolon birleşimi için hesap gerçekleştirilmiştir. Belirtilen birleşim 180x180x12.50 enkesitli 2. kat çapraz, HD 400x677 enkesitli kolon ve HE 600 M enkesitli kirişin düğüm noktası levhası dolayısıyla birleşimini sağlamaktadır. İlgili birleşim tasarımı için belirtilen enkesitlere ait gerekli karakteristik özellikler Çizelge 5.73 ve Çizelge 5.74’te yer almaktadır.

Çizelge 5.73 : Birleşim tasarımı için 180x180x12.50 enkesite ait gerekli karakteristik özellikler.

Enkesit	d (mm)	b (mm)	t _k (mm)	t _d (mm)
180x180x12.50	180	180	12.50	11.63

Çizelge 5.74 : Birleşim tasarımı için HD 400x677 ve HE 600 M enkesitlere ait gerekli karakteristik özellikler.

Enkesit	d (mm)	b (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)
HD 400x677	483	428	51.20	81.50
HE 600 M	620	305	21	40

AISC Steel Design Guide 29 [17] gereğince öncelikle çapraz-düğüm noktası levhası kaynaklı birleşiminin tasarımı gerçekleştirilmektedir. İlgili birleşim, çapraz elemanda oluşacak eksenel kuvveti taşımaktadır. Yapı bütünlüğünü sağlamak amacıyla birleşimin, çapraz elemanda oluşacak en elverişsiz iç kuvvetleri taşıyacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle birleşimin tasarımı, çapraz elemanın mekanizma durumunda elemanda oluşacak en elverişsiz eksenel kuvvet ele alınarak gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla Çizelge 5.17’de belirtilen ve çapraz elemanın beklenen (olası) akma dayanım değeri olan 2461.25kN değeri, birleşimin tasarımında

kullanılmaktadır. Öncelikle çapraz elemanda kesme kuvveti etkisi altında akma sınır durumu irdelenerek gerekli kaynak uzunluğu belirlenmektedir. Çapraz elemanın et kalınlığı olarak Çizelge 5.73'te belirtilen tasarım et kalınlığı değeri kullanılmaktadır.

$$\phi R_n = \phi(0.60F_y)tl \geq T$$

$$4 \times [1 \times (0.60 \times 235) \times 11.63 \times l] \times 10^{-3} \geq 2461.25kN \rightarrow l \geq 375.23mm$$

Elde edilen sonuç doğrultusunda çapraz-düğüm noktası levhası arasında teşkil edilecek kaynaklı birleşimin uzunluğu 400mm olarak belirlenmektedir. Birleşimin deprem etkileri nedeniyle oluşacak iç kuvvetleri taşıması dolayısıyla kaynak metali sınıfı TBDY 2018 Tablo 9.1 [1] gereğince E550 olarak seçilmektedir. Kaynak etkin kalınlığı denklem 5.40 ve 5.41'de gösterilen sırasıyla ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 13.3 ve Denklem 13.4 [6] kullanılarak belirlenmektedir.

$$\phi R_n = \phi F_{nw} A_{we} \geq T \quad (5.40)$$

$$F_{nw} = 0.60F_E(1 + 0.50 \sin^{1.50} \theta) \xrightarrow{\theta=0^\circ} F_{nw} = 0.60F_E \quad (5.41)$$

$$0.75 \times (0.60 \times 550) \times a \times (4 \times 400) \times 10^{-3} = 396a \text{ kN} \geq 2461.25kN$$

$$a \geq 6.22mm$$

Dolayısıyla etkin kaynak kalınlığı 7mm olarak seçilmektedir. AISC Steel Design Guide 29 [17] gereğince birleşim levhası kalınlığının belirlenmesinde çapraz-düğüm noktası levhası kaynaklı birleşimi için blok kayma sınır durumu incelenmektedir. İlgili hesap denklem 5.42'de verilen ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Denklem 13.19 [6] kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Hesaplarda birleşim levhası kalınlığı t_p ile gösterilmektedir. Düğüm noktası levhası için S355 malzeme sınıfı kullanılmaktadır.

$$R_n = \text{Min} \left[\frac{0.60F_y A_{gv}}{0.60F_u A_{nv}} \right] + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (5.42)$$

$$A_{gv} = 400 \times 2 \times t_p = 800t_p \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} = 800t \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 180 \times t_p = 180t \text{ mm}^2$$

$$0.60F_y A_{gv} = 0.60 \times 355 \times 800t_p \times 10^{-3} = 170.40t_p \text{ kN}$$

$$0.60F_u A_{nv} = 0.60 \times 510 \times 800t_p \times 10^{-3} = 244.80t_p \text{ kN}$$

$$U_{bs} F_u A_{nt} = 1 \times 510 \times 180t \times 10^{-3} = 91.80t \text{ kN}$$

$$R_n = \min \left[\frac{170.40t_p}{244.80t_p} \right] + (91.80t_p) = 262.20t_p \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 262.20t_p = 196.65t_p \text{ kN} \geq T = 2461.25 \text{ kN} \rightarrow t \geq 12.52 \text{ mm}$$

Dolayısıyla düğüm noktası levhasının kalınlığı 15mm olarak belirlenmektedir.

AISC Steel Design Guide 29 [17] gereğince çapraz elemanın düğüm noktası levhası üzerindeki ucunda, $2t_p$ - $4t_p$ genişliğinde akma bölgesi oluşturulması gerekmektedir. Belirtilen bölge Whitmore kesiti olarak adlandırılmakta ve düğüm noktasının çekme kuvveti etkisi altında akma dayanımı bu kesitte kontrol edilmektedir. AISC Steel Design Guide 29 [17] gereğince etkin bir Whitmore kesitinin oluşturulabilmesi amacıyla 30 derece yayılım açısına sahip düğüm noktası levhası geometrisi oluşturulmaktadır. Tez çalışması kapsamında Whitmore kesitinin genişliği $3t_p$ olarak ele alınarak ve 30 derece yayılım açısı teşkil edilerek düğüm noktası levhasının geometrisi belirlenmektedir. Ayrıca yayılım açısının tanımlandığı noktada düğüm noktasının çapraz birleşim kısmında, çaprazın her iki tarafında da olmak üzere 20mm uzunluğunda bir bölge oluşturulmuştur. Düğüm noktası levhasının geometrik olarak tasarımında kullanılan değerler Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

İlgili birleşim için belirtilen uzunlukların hesabına ilişkin detay aşağıda yer almaktadır. Denklem 5.43-5.46'da verilen bağıntılar, geometrik koşullar dikkate alınarak elde edilmiştir.

$$e_b = \frac{d_{kiriş}}{2} = \frac{620}{2} = 310 \text{ mm}$$

$$e_c = \frac{d_{kolon}}{2} = \frac{483}{2} = 241.5 \text{ mm}$$

$$d = 180 + 20 + 20 = 220 \text{ mm}$$

$$l' = l + 3t_p = 400 + 3 \times 15 = 445 \text{ mm}$$

$$a = \frac{d}{2} + l' \tan 30^\circ = \frac{220}{2} + 445 \times \tan 30^\circ = 366.92 \text{ mm} \quad (5.43)$$

$$l_b = a \tan \theta + 3t_p = 366.92 \times \tan 45^\circ + 3 \times 15 = 411.92 \text{ mm} \quad (5.44)$$

$$c = l_b \cos \theta - \frac{d}{2} \sin \theta = 411.92 \times \cos 45^\circ - \frac{220}{2} \times \sin 45^\circ = 213.49 \text{ mm} \quad (5.45)$$

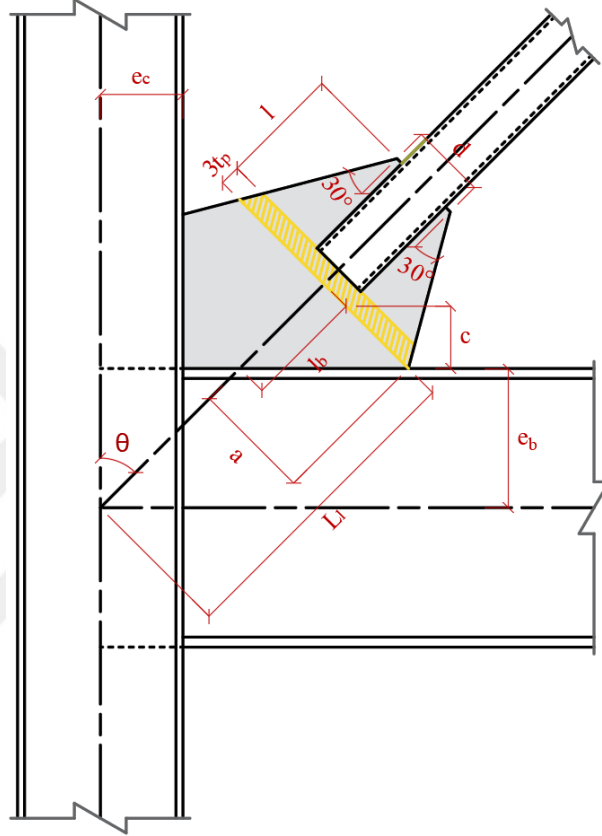
$$L^2 = [e_b \tan \theta + (a \sin \theta)(\tan \theta)]^2 + (e_b + a \sin \theta)^2 \quad (5.46)$$

$$L_1^2 = [310 \times \tan 45 + (366.92 \times \sin 45)(\tan 45)]^2 + (310 + 366.92 \times \sin 45)^2$$

$$L_1^2 = 648550 \text{ mm}^2$$

$$L_1 = 805 \text{ mm} \rightarrow L_1 = 810 \text{ mm}$$

Hesaplanan değerlerde yuvarlama gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle ilgili birleşim için elde edilen L_1 değeri Çizelge 5.68’de 810mm olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.10 : Çapraz-kiriş-kolon birleşiminin tasarımında kullanılan değerlerin gösterimi.

AISC Design Guide 29 [17] gereğince çapraz elemanda meydana gelecek eksenel çekme ve basınç kuvvetleri altında Whitmore kesitinin akma durumunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Çapraz elemanda meydana gelen eksenel çekme kuvveti değerinin, Çizelge 5.17’de belirtilen beklenen (olası) akma değeri olması durumu için gerçekleştirilen kontrol aşağıda yer almaktadır. Denklem 5.47’de gösterilen l_w ifadesi Whitmore kesitinin uzunluğunu ifade etmektedir.

$$l_w = d_{\text{çapraz}} + 2(l)\tan 30^\circ \quad (5.47)$$

$$l_w = 180 + 2 \times 400 \times \tan 30^\circ = 642 \text{ mm}$$

$$\phi R_n = 0.90 F_y l_w t$$

$$\phi R_n = 0.90 \times 355 \times 562 \times 15 \times 10^{-3} = 2693.39 kN$$

$$\phi R_n = 2693.39 > T = 2461.25 kN$$

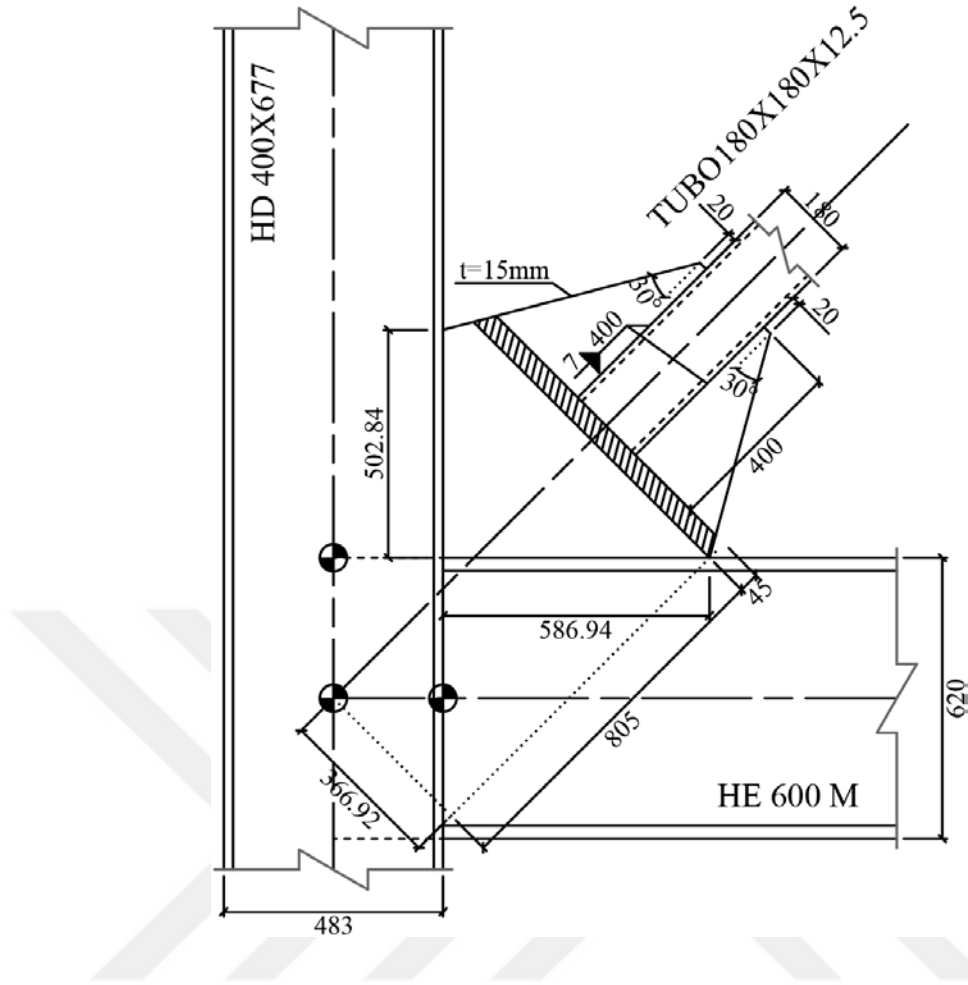
Çapraz elemanda meydana gelen eksenel basınç kuvveti değerinin, Çizelge 5.17’de belirtilen beklenen (olası) eksenel basınç kuvveti değeri olması durumu için gerçekleştirilen kontrol aşağıda yer almaktadır. Bu değer 2341.63kN olmaktadır. Bu etki altında Whitmore kesitinin eğilmeli burkulma sınır durumu incelenmektedir. Belirtilen sınır durumun kontrolü için Dowswell’in 2006 yılında [18] gerçekleştirdiği çalışmada yer alan ve denklem 5.48’de verilen gerekli düğüm noktası levhası kalınlığı bağıntısı kullanılmaktadır. Çalışmada seçilen düğüm noktası levhası kalınlığının t_β ile gösterilen gerekli düğüm noktası levhası kalınlığından büyük olması durumunda, düğüm noktası levhasının kompakt olduğu açıklanmaktadır. Dolayısıyla ilgili birleşim için belirtilen koşul irdelenmektedir. Denklem 5.48’de yer alan ve denklem 5.45’te hesabı gösterilen c değerinin, AISC Design Guide 29 [17] gereğince bağıntıda yer alan d değeri yerine çapraz elemanın B değeri kullanılarak tekrar elde edilmesi gerekmektedir.

$$c = 411.92 \times \cos 45 - \frac{180}{2} \times \sin 45 = 227.63 mm$$

$$t_\beta = 1.5 \sqrt{\frac{F_y c^3}{E l_b}} = 1.5 \times \sqrt{\frac{355 \times 227.63^3}{200000 \times 411.92}} = 10.69 mm \quad (5.48)$$

$$t_\beta = 10.69 mm < t_p = 15 mm$$

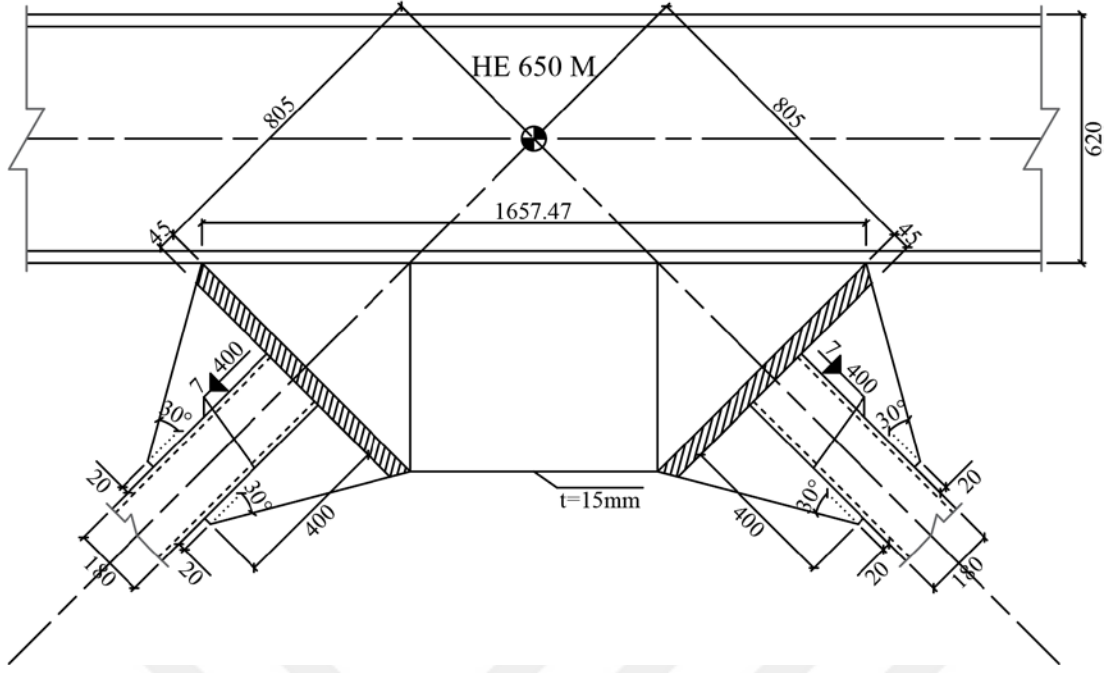
Oluşturulan birleşim Şekil 5.11’de yer almaktadır.



Şekil 5.11 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin 2. kat çapraz-kiriş-kolon birleşimi.

5.7.2 Çapraz-kiriş birleşimi

12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin 2. kat çapraz elemanı ile 3. kat kirişinin orta noktası arasında teşkil edilecek çapraz-kiriş birleşimi AISC Design Guide 29 [17] çerçevesinde tasarlanmaktadır. İlgili hesaplarda Bölüm 5.7.1’de açıklanan tasarım aşamaları tekrarlanmakta ve geometrik koşullar gereğince birleşim tasarımı gerçekleştirilmektedir. Hesaplar sonucunda elde edilen birleşim Şekil 5.12’de yer almaktadır.



Şekil 5.12 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin 2. kat çaprazı ile 3. kat kirişinin ortasında teşkil edilen çapraz-kiriş birleşimi.

Şekil 5.12’de görüldüğü üzere L_2 değeri 805mm olarak elde edilmektedir. Değerlerde yuvarlama gerçekleştirildiği için Çizelge 5.68’te L_2 değeri 810mm olarak gösterilmektedir.

6. YAPILARIN DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

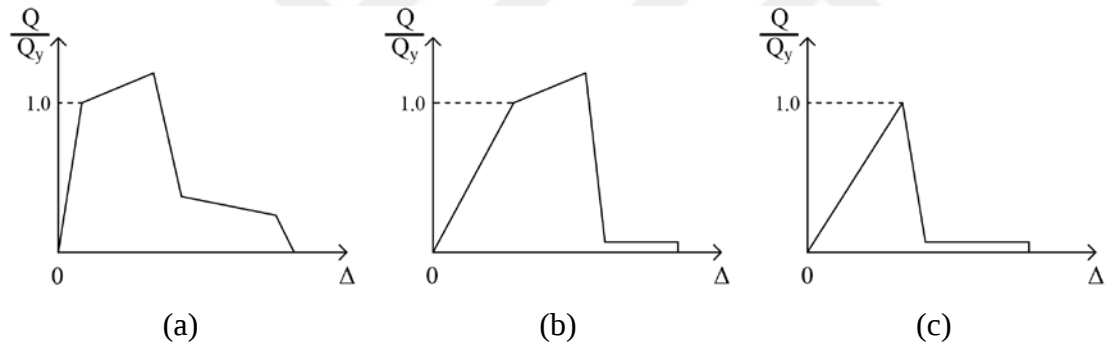
Tez çalışması kapsamında TBDY 2018 gereğince [1] deprem yer hareketi düzeyi DD-2'ye göre tasarlanan yapıların, tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan TBDY 2018'in [1] öngördüğü en büyük deprem etkisi (DD-1) altında performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede deprem yer hareketi düzeyi DD-2'ye göre tasarlanan bir yapının, bölgede öngörülen en büyük deprem etkisinde kalması durumunda sergileyeceği performans belirlenmektedir. Bununla birlikte Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapıların da performans değerlendirmesi aynı deprem etkisi için gerçekleştirilmektedir. Yapıların deprem performansının değerlendirilmesi, TBDY 2018 Bölüm 15'te [1] yer alan mevcut yapıların deprem etkisi altındaki performansının belirlenmesine yönelik açıklamalar doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. TBDY 2018 Bölüm 15.6.2 [1] gereğince yapının deprem performansının değerlendirilmesi amacıyla doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden olan tek modlu itme yöntemleri, çok modlu itme yöntemleri veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmaktadır. Analiz sonucunda elde edilen veriler ile yapı performansı TBDY 2018 Bölüm 15.8 [1] gereğince değerlendirilmektedir. Bu kapsamda öncelikle yapı performansının değerlendirilmesinde esas alınacak deprem düzeyi için TBDY 2018 Tablo 3.4'e [1] bağlı olarak performans hedefinin belirlenmesi gerekmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen yapılar için verilen performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları Çizelge 3.11'de gösterilmektedir. İlgili tabloda deprem tasarım sınıfı 1 olan yapıların DD-1 deprem yer hareketi düzeyi etkisi altında normal performans hedefi belirtilmemektedir.

Yapıların performansı TBDY 2018 Bölüm 5.7'de [1] açıklanan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte doğrusal olmayan tek modlu itme yöntemi de uygulanmaktadır. İlgili hesap yöntemlerinin uygulanabilmesi için gerçekleştirilen işlemler ve uygulanan hesap yöntemlerine ilişkin detaylar bu bölümde açıklanmaktadır.

6.1 Yapı Elemanlarının Davranış Modellerinin Oluşturulması ve Plastik Şekil Değiştirme Sınırlarının Belirlenmesi

Yapı performansının değerlendirilmesi amacıyla doğrusal olmayan analizlerin gerçekleştirilebilmesi için elemanların davranış modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile yapının deprem performansının değerlendirilmesi aşamasında ise elemanlarda meydana gelecek plastik şekil değiştirmeler dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla elemanların davranış modelleriyle birlikte plastik şekil değiştirme sınırlarının da elde edilmesi gerekmektedir.

Yapı elemanlarının davranış modelleri, TBDY 2018 Ek 5C'de [1] belirtilen açıklamalar gereğince şekil değiştirme kontrollü veya kuvvet kontrollü olmaktadır. TBDY 2018 EK 5C.1'de [1] açıklandığı üzere elemanın davranış modeli üç farklı tipte olmaktadır. Bu tipler Şekil 6.1'de gösterilmektedir.



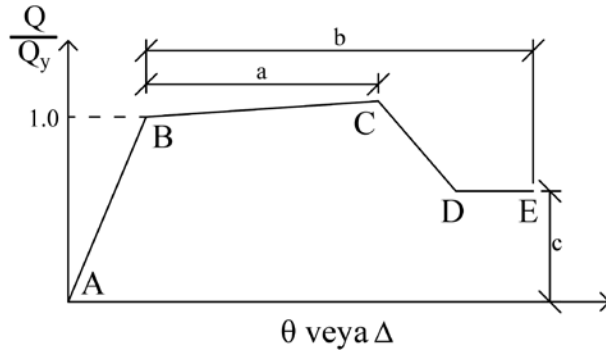
Şekil 6.1 : Elemanların gösterecekleri olası davranışlar

(a) Tip 1 Eğrisi (b) Tip 2 Eğrisi (c) Tip 3 Eğrisi.

Tip 1 ve Tip 2 eğrileri sünek bir davranışı; Tip 3 ise gevrek veya sünek olmayan davranışı temsil etmektedir. Tip 1 ve Tip 2'de plastik bölgede davranışa bağlı olarak şekil değiştirme kontrollü veya kuvvet kontrollü olarak sınıflandırılma gerçekleştirilmektedir. Tip 3 ise kuvvet kontrollü olarak sınıflandırılmaktadır.

TBDY 2018 Ek 5C.2 [1] gereğince eleman davranışlarının deneysel çalışmalar sonucunda elde edilemediği durumlarda genelleştirilmiş kuvvet-şekil değiştirme eğrisi kullanılabilmektedir. Genelleştirilmiş kuvvet-şekil değiştirme eğrisinde elemanların davranış modeli a, b ve c davranış modeli değişkenlerine bağlı olarak elde edilmektedir. Bu durumda davranış modeli temsili olarak Şekil 6.2'deki gibi

olmaktadır. Bununla birlikte sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi hasar durumları için plastik şekil değiştirme sınırları da tanımlanmaktadır.



Şekil 6.2 : Genelleştirilmiş kuvvet-şekil değiştirme eğrisi.

Şekil 8.2’de gösterilen Q , Q_y , θ ve Δ ifadeleri sırasıyla genelleştirilmiş iç kuvveti, genelleştirilmiş beklenen (olası) dayanımı, genelleştirilmiş dönmeyi ve genelleştirilmiş şekil değiştirmeyi temsil etmektedir.

Elemanların davranış modelinin oluşturulabilmesi için yapı elemanlarının beklenen (olası) malzeme dayanımlarının elde edilmesi gerekmektedir. Yapı çeliğinin karakteristik akma ve çekme dayanımı sırasıyla F_y ve F_u olmak üzere TBDY 2018 Bölüm 9.2.4 [1] gereğince beklenen (olası) akma ve çekme dayanımları sırasıyla $R_y F_y$ ve $R_t F_u$ olmaktadır. Belirtilen R_y ve R_t katsayıları TBDY 2018 Tablo 9.2’de [1] yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında S235 malzeme sınıfı kutu profil çapraz elemanlar, S275 malzeme sınıfı haddelenmiş I profil kolonlar ve S355 malzeme sınıfı haddelenmiş I profil kirişler kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında kullanılacak R_y ve R_t katsayıları Çizelge 6.1’de yer almaktadır.

Çizelge 6.1 : R_y ve R_t katsayıları.

Yapı Çeliği Sınıfı ve Eleman Türü	R_y	R_t
Boru ve kutu profiller	1.40	1.30
S275 malzeme sınıfı	1.30	1.10
S355 malzeme sınıfı	1.25	1.10

Elemanların davranış modelleri, eleman tipine bağlı olarak TBDY 2018 Tablo 5C.2, Tablo 5C.3 ve Tablo 5C.5’te [1] yer alan davranış modeli değişkenleri kullanılarak

elde edilmiştir. Elemanların plastik şekil değiştirme sınırları da ilgili tablolarda yer almaktadır. Davranış modelinin ve plastik şekil değiştirme sınırlarının belirlenmesi FEMA P-2006 [16] çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Tüm elemanlarda Şekil 6.2’de gösterilen noktalarda meydana gelen plastik ve toplam şekil değiştirmeler ayrı ayrı elde edilmiş ve üst indis olarak belirtilmiştir. Bu bölümdeki örnek hesaplarda en kapsamlı işlem adımlarını göstermek amacıyla 12 katlı yapının X doğrultusunda yer alan merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemin 6. kat elemanları ele alınmıştır. Hesaplarda Şekil 6.2’de belirtilen noktalarda meydana gelen eksenel kuvvet (P) ve şekil değiştirme değerleri (Δ veya θ), nokta adlandırmaları alt indis olacak şekilde gösterilmektedir.

6.1.1 Merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları

Merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları hem eksenel çekme hem de eksenel basınç kuvveti altında çalışmaktadır. Elemanların davranış modeli değişkenleri ile hasar durumlarına ait eksenel plastik şekil değiştirme sınırları eksenel çekme ve basınç etkisine bağlı olarak TBDY 2018 Tablo 5C.5’te [1] verilmektedir. İlgili tabloda değişkenler enkesit türüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bununla birlikte basınç etkisi altındaki çapraz elemanların davranış modeli değişkenleri, enkesitin narinlik ve tokluk durumuna bağlı olarak ayrılmaktadır. Enkesitin KL/i değerinin narinlik ve tokluk sınır durumlarının arasında kalması durumunda, narinlik ve tokluk için belirtilen değerler arasında doğrusal interpolasyon gerçekleştirilmektedir. TBDY 2018 Tablo 5C.5 [1] gereğince kutu enkesite sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının davranış modeli değişkenleri ve eksenel plastik şekil değiştirme sınırları Çizelge 6.2’de yer almaktadır.

Çizelge 6.2 : Merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları için davranış modeli değişkenleri ve plastik şekil değiştirme sınırları.

Etki Türü	a	b	c	SH	KH	GÖ
Çekme Kuvveti	$9.0\Delta_T$	$11.0\Delta_T$	0.6	$0.5\Delta_T$	$8.0\Delta_T$	$11.0\Delta_T$
Basınç Kuvveti	Narin Kesit	$0.5\Delta_c$	$9.0\Delta_c$	0.3	$0.5\Delta_c$	$6.0\Delta_c$
	Tok Kesit	$1.0\Delta_c$	$7.0\Delta_c$	0.5	$0.5\Delta_c$	$5.0\Delta_c$

TBDY 2018 Tablo 5C.5'te [1] narin kesitler ve tok kesitler için verilen koşul denklem 6.1 ve 6.2'de yer almaktadır.

$$\frac{KL}{i} \leq 4.2 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad (6.1)$$

$$\frac{KL}{i} \leq 2.1 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad (6.2)$$

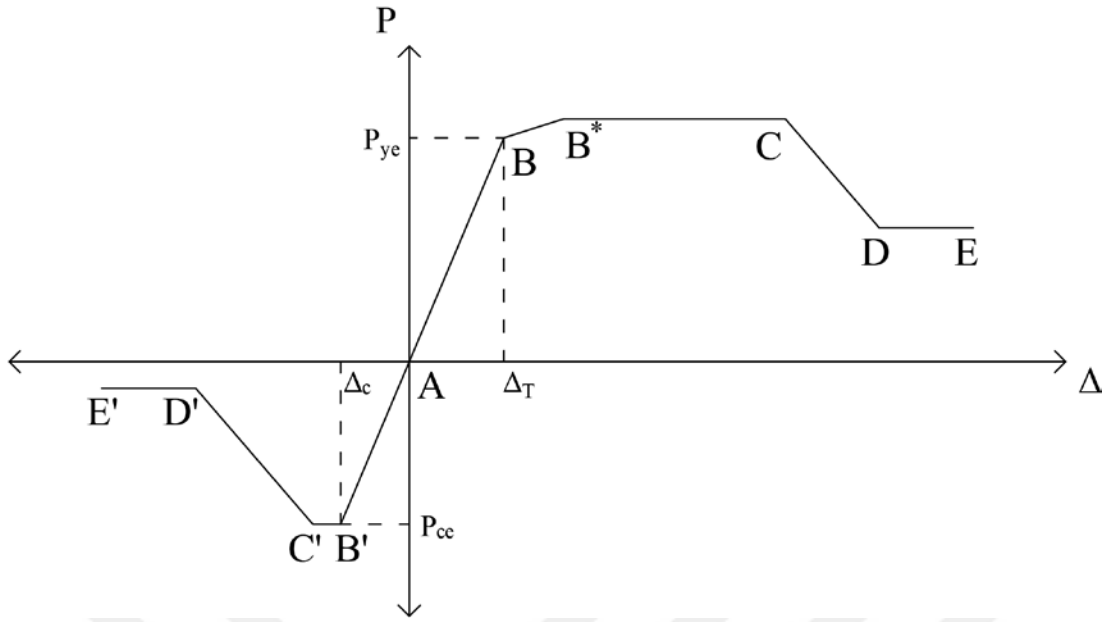
Elemanın aksenal basınç kuvveti altındaki akma şekil değiştirmesi TBDY 2018 Denklem 5C.5 [1]; aksenal çekme kuvveti altındaki akma şekil değiştirmesi ise TBDY 2018 Denklem 5C.6 [1] ile elde edilmektedir. Belirtilen bağıntılar sırasıyla denklem 6.3 ve 6.4'te yer almaktadır.

$$\Delta_c = \frac{P_{ce} l_c}{EA_c} \quad (6.3)$$

$$\Delta_T = \frac{P_{ye} l_c}{EA_c} \quad (6.4)$$

Bağıntılarda yer alan P_{ce} ve P_{ye} ifadeleri sırasıyla elemanın beklenen (olası) basınç dayanımını ve beklenen (olası) akma dayanımını temsil etmektedir. Belirtilen değerlerin hesabına ilişkin açıklama Bölüm 5.3.1.1'de yer almaktadır. P_c değerinin hesabında eleman uzunluğu değeri (l_c), çaprazın sistem uzunluğundan (L) Bölüm 5.7'de elde edilen rijit bölge uzunluklarının (L_1 ve L_2) çıkartılması sonucu elde edilen değer olarak alınmaktadır. Perform3D [15] analiz programında çapraz elemanlar doğrusal olmayan aksenal çekme/basınç elemanı (inelastic bar) olarak tanımlanmaktadır. İlgili tanım gereğince şekil değiştirme değerleri birim uzunluğa bağlı olmaktadır. Dolayısıyla denklem 6.3 ve 6.4'te yer alan l_c ifadesi, birim uzunluk olarak ele alınmaktadır.

Çapraz elemanın davranış modelinin oluşturulmasında FEMA P-2006'da [16] verilen ve Şekil 6.3'te gösterilen genelleştirilmiş davranış modeli ele alınmaktadır.



Şekil 6.3 : Merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazının genelleştirilmiş davranış modeli.

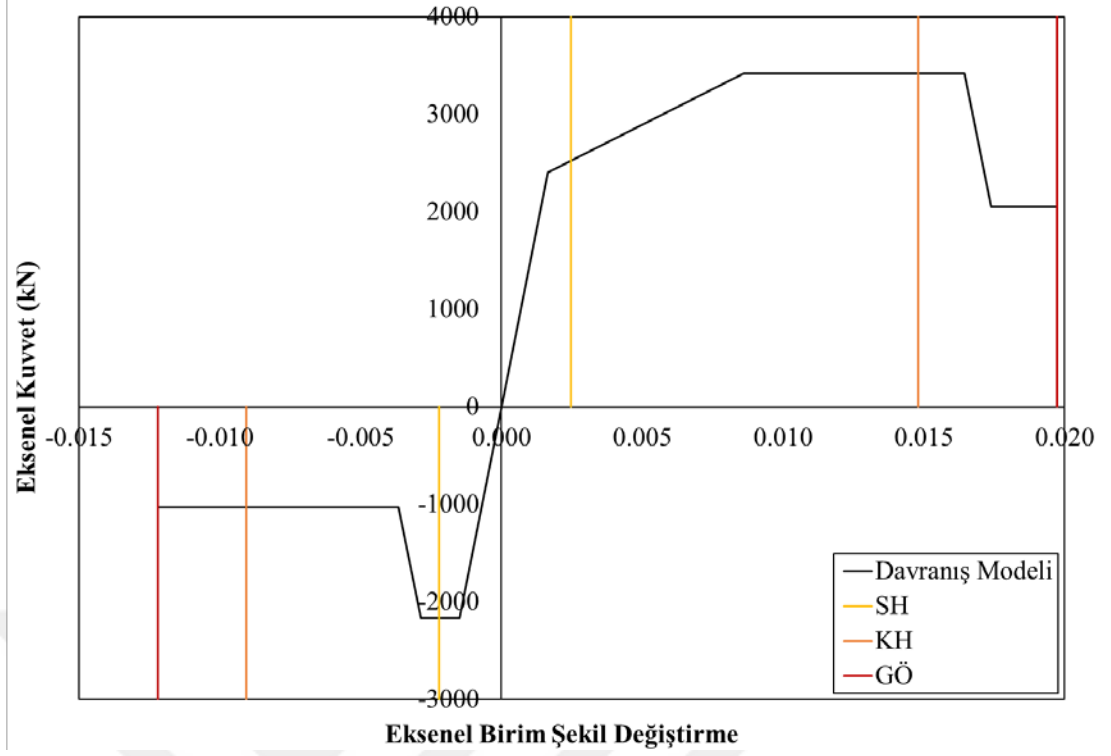
Şekil 6.3'te gösterilen davranış modelinde pekleşme bölgesi B ile B* noktaları arasında tanımlanmaktadır. Enkesitin beklenen (olası) çekme dayanımına ulaştığı nokta B* olmak üzere, B ve B* noktaları arasındaki pekleşme bölgesinin eğimi olarak A ile B noktaları arasındaki eğimin %10'u alınmaktadır. Basınç etkisi altında ise böyle bir davranış meydana gelmemektedir. Şekil 6.3'te görülen C-D ve C'-D' arasındaki bölgeye karşılık gelen dayanım kaybının davranışının eğimi ise sırasıyla A-B ve A-B' arasındaki eğim olarak ele alınmaktadır.

Davranış modeli belirlenirken, tasarımda uygulandığı üzere, tasarım et kalınlığı kullanılarak elde edilen karakteristik özellikler ele alınmaktadır. 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemi 160x160x14.20 enkesitli 6. kat çapraz elemanına ait karakteristik özellikler Çizelge 6.3'te yer almaktadır.

Çizelge 6.3 : 160x160x14.20 enkesite ait karakteristik özellikler.

h=b	t _k	t _d	A	I _x =I _y	i _x =i _y
(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(mm)
160	14.20	13.21	7305	2564.07	59.25

Elemanın davranış modeli ve plastik şekil değiştirme sınırları Şekil 6.4'te gösterilmektedir. İlgili hesap adımları Bölüm 6.1.1.1 ve 6.1.1.2'de açıklanmaktadır.



Şekil 6.4 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemi 160x160x14.20 enkesitli 6. kat çaprazına ait davranış modeli ve plastik şekil değiştirme sınırları.

6.1.1.1 Çekme kuvveti etkisi altında hesap

Elemanın çekme etkisi altındaki davranış modeli ve plastik şekil değiştirme sınırları bu bölümde ele alınmaktadır. Davranış modelini oluşturmak amacıyla Şekil 6.2’de gösterilen B, C, D ve E noktalarına ait değerler sırasıyla elde edilmektedir. B noktasında kesit çekme etkisi altında beklenen (olası) akma dayanımına ulaşmakta ve kesitte denklem 6.4’te tanımlanan Δ_T değerinde eksenel birim şekil değiştirme meydana gelmektedir.

$$P_B = P_{ye} = R_y F_y A_g = 1.40 \times 235 \times 7305 \times 10^{-3} = 2403.35 kN$$

$$\Delta_B = \Delta_T = \frac{P_{ye}}{EA_c} = \frac{2403.35 \times 10^3}{200000 \times 7305} = 0.00165$$

B* noktasında eleman beklenen (olası) çekme dayanımına ulaşmaktadır. FEMA P-2006 [16] gereğince B ile B* noktaları arasındaki eğim, A ile B noktaları arasındaki eğimin %10’u olarak ele alınmaktadır.

$$P_{B^*} = P_{ue} = R_t F_u A_g = 1.30 \times 360 \times 7305 \times 10^{-3} = 3418.74 kN$$

$$m_{AB} = \frac{2403.35}{0.00165} = 1461000$$

$$\Delta_{B^*}^{plastik} = \frac{P_{B^*} - P_B}{0.10m_{AB}} = \frac{3418.74 - 2403.35}{0.10 \times 1461000} = 0.00695$$

$$\Delta_{B^*}^{toplamlam} = \Delta_T + \Delta_{B^*}^{plastik} = 0.00165 + 0.00695 = 0.00860$$

FEMA P-2006 [16] gereğince B* ile C noktaları arasında enkesitin dayanımı değişmemektedir. C noktasında meydana gelecek eksenel birim şekil değiştirme ise Şekil 6.2’de görüldüğü üzere Çizelge 6.2’de çekme kuvveti etkisi için verilen a değişkeni kullanılarak elde edilmektedir.

$$P_C = P_{B^*} = 3418.74kN$$

$$\Delta_C^{plastik} = a\Delta_T = 9 \times 0.00165 = 0.01481$$

$$\Delta_C^{toplamlam} = \Delta_T + \Delta_C^{plastik} = 0.00165 + 0.01481 = 0.01646$$

D noktasında enkesitin dayanımı Şekil 6.2’de görüldüğü üzere, Çizelge 6.2’de çekme kuvveti etkisi için verilen c değişkeni kullanılarak elde edilmektedir. Belirtilen c değişkeni, artık dayanım oranını ifade etmektedir. D noktasındaki dayanım, elemanın beklenen (olası) akma dayanımının c değişkeni ile çarpılması sonucu elde edilmektedir. Fakat çapraz elemanların tasarımı, elemanın deprem etkisi altında beklenen (olası) akma dayanımına ulaşması durumu göz önüne alınarak gerçekleştirildiği için D noktasında dayanımın elde edilmesi amacıyla C noktasındaki değerin kullanılması da mümkün olmaktadır. FEMA P-2006 [16] gereğince D noktasındaki dayanım ve meydana gelecek plastik birim şekil değiştirme aşağıda elde edilmektedir.

$$P_D = cP_B = 0.60 \times 2403.35 = 1442.01kN$$

$$\Delta_D^{plastik} = \Delta_C^{plastik} + (1 - c)\Delta_T = 0.01481 + (1 - 0.60) \times 0.00165 = 0.01547$$

$$\Delta_D^{toplamlam} = \Delta_T + \Delta_D^{plastik} = 0.00165 + 0.01547 = 0.01712$$

E noktasındaki dayanım, D noktasındaki dayanıma eşit olmaktadır. E noktasında meydana gelecek eksenel birim şekil değiştirme ise Şekil 6.2’de görüldüğü üzere Çizelge 6.2’de çekme kuvveti etkisi için verilen b değişkeni kullanılarak elde edilmektedir.

$$P_E = P_D = 1442.01kN$$

$$\Delta_E^{plastik} = b\Delta_T = 11 \times 0.00165 = 0.01815$$

$$\Delta_E^{toplamlam} = \Delta_T + \Delta_E^{plastik} = 0.00165 + 0.01815 = 0.01974$$

Enkesitin eksenel plastik şekil değiştirme sınırları da Çizelge 6.2’de belirtilen değerlere bağlı olarak elde edilmektedir. Şekil 6.4’te gösterilen ve Perform3D [15] analiz programında tanımlanacak olan sınır değerler, toplam eksenel birim şekil değiştirme değerleridir. Bu nedenle Çizelge 6.2’de belirtilen eksenel plastik şekil değiştirme sınır değerlerine enkesitin eksenel akma şekil değiştirmesi eklenmektedir. Eksenel çekme kuvveti altında sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi hasar sınırlarına ilişkin hesap aşağıda yer almaktadır.

$$SH^{toplamlam} = (1 + SH)\Delta_T = (1 + 0.50) \times 0.00165 = 0.00247$$

$$KH^{toplamlam} = (1 + KH)\Delta_T = (1 + 8) \times 0.00165 = 0.01481$$

$$GÖ^{toplamlam} = (1 + GÖ)\Delta_T = (1 + 11) \times 0.00165 = 0.01974$$

6.1.1.2 Basınç kuvveti etkisi altında hesap

TBDY 2018 Tablo 5C.5 [1] gereğince enkesitin basınç etkisi altındaki davranış modeli değişkenleri ve plastik şekil değiştirme sınırları narin ve tok enkesitler için farklılık göstermektedir. Elemanın sistem uzunluğundan rijit bölge uzunluklarının çıkartılması ile elde edilen uzunluk değeri denklem 6.5’te gösterilmektedir.

$$l_c = L - L_1 - L_2 = 4950 - 770 - 730 = 3450mm \quad (6.5)$$

$$\frac{Kl_c}{i} = \frac{1 \times 3450}{59.25} = 58.23$$

$$4.2 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = 4.2 \times \sqrt{\frac{200000}{1.4 \times 235}} = 103.55$$

$$2.1 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = 2.1 \times \sqrt{\frac{200000}{1.4 \times 235}} = 51.78$$

$$2.1 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = 51.78 < \frac{Kl_c}{i} = 58.23 < 4.2 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = 103.55$$

Elemanın KL/i değeri narin ve tok kesitler için verilen sınır değerlerin arasında kaldığından Çizelge 6.2’de verilen davranış modeli değişkenleri ve plastik şekil değiştirme sınırları için doğrusal interpolasyon yapılması gerekmektedir.

$$a = 0.50 + \frac{1 - 0.50}{103.55 - 51.78} \times (103.55 - 58.23) = 0.94$$

$$b = 9 + \frac{7 - 9}{103.55 - 51.78} \times (103.55 - 58.23) = 7.25$$

$$c = 0.30 + \frac{0.50 - 0.30}{103.55 - 51.78} \times (103.55 - 58.23) = 0.48$$

$$SH = 0.50 + \frac{0.50 - 0.50}{103.55 - 51.78} \times (103.55 - 58.23) = 0.50$$

$$KH = 6 + \frac{5 - 6}{103.55 - 51.78} \times (103.55 - 58.23) = 5.12$$

$$GÖ = 9 + \frac{7 - 9}{103.55 - 51.78} \times (103.55 - 58.23) = 7.25$$

Elde edilen davranış modeli değişkenleri ve plastik şekil değiştirme sınırları Çizelge 6.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 6.4 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemi 6. kat çaprazının basınç etkisi altında davranış modeli değişkenleri ve plastik şekil değiştirme sınırları.

Etki Türü	a	b	c	SH	KH	GÖ
Basınç Kuvveti	0.94	7.25	0.48	0.50	5.12	7.25

B’ noktasında eleman beklenen (olası) burkulma dayanımına ulaşmaktadır. Bu noktada meydana gelecek eksenel birim şekil değiştirme ise bağıntısı denklem 6.3’te verilen Δ_c olmaktadır.

$$\frac{KL}{i} = 58.23 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} = 4.71 \times \sqrt{\frac{200000}{1.40 \times 235}} = 116.13$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{58.23^2} = 582.19 MPa$$

$$F_{cre} = 0.658 \frac{R_y F_y}{F_e} R_y F_y = 0.658 \frac{1.40 \times 235}{582.19} \times 1.40 \times 235 = 259.70 MPa$$

$$P_{B'} = P_{ce} = P_1 1.14 F_{cre} A_g = 1.14 \times 259.70 \times 7305 \times 10^{-3} = 2162.72 kN$$

$$\Delta_{B'} = \Delta_c = \frac{P_{ce}}{EA} = \frac{2162.72 \times 10^3}{200000 \times 7305} = 0.00148$$

Elemanın C' noktasındaki dayanımı, B' noktasındaki dayanımına eşit olmaktadır. C' noktasında meydana gelecek eksenel birim plastik şekil değiştirme değeri Şekil 6.2'de görüldüğü üzere Çizelge 6.4'te verilen a değişkeni kullanılarak elde edilmektedir.

$$P_{C'} = P_{B'} = 2162.72 kN$$

$$\Delta_{C'}^{plastik} = a \Delta_c = 0.94 \times 0.00148 = 0.00139$$

$$\Delta_{C'}^{toplamlam} = \Delta_c + \Delta_{C'}^{plastik} = 0.00148 + 0.00139 = 0.00287$$

Elemanın D' noktasındaki dayanımı, Şekil 6.2'de görüldüğü üzere Çizelge 6.4'te verilen c değişkeni kullanılarak elde edilmektedir. Meydana gelecek plastik birim şekil değiştirme ise A' ile B' noktaları arasındaki eğim kullanılarak elde edilmektedir.

$$P_{D'} = c P_{B'} = 0.48 \times 2162.72 = 1038.11 kN$$

$$\Delta_{D'}^{plastik} = \Delta_{C'}^{plastik} + (1 - c) \Delta_c = 0.00139 + (1 - 0.48) \times 0.00148 = 0.00216$$

$$\Delta_{D'}^{toplamlam} = \Delta_c + \Delta_{D'}^{plastik} = 0.00148 + 0.00216 = 0.00364$$

Elemanın E' noktasındaki dayanımı, D' noktasındaki dayanımına eşit olmaktadır. E' noktasında meydana gelecek eksenel birim plastik şekil değiştirme değeri Şekil 6.2'de görüldüğü üzere Çizelge 6.4'te verilen b değişkenine bağlı olarak elde edilmektedir.

$$P_{E'} = P_{D'} = 1038.11 kN$$

$$\Delta_{E'}^{plastik} = b \Delta_c = 7.25 \times 0.00148 = 0.01073$$

$$\Delta_{E'}^{toplamlam} = \Delta_c + \Delta_{E'}^{plastik} = 0.00148 + 0.01073 = 0.01221$$

Eksenel basınç kuvveti altında sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi hasar sınırlarına ilişkin hesap aşağıda yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, toplam eksenel birim şekil değiştirmeyi ifade etmektedir.

$$SH^{toplamlam} = (1 + SH) \Delta_T = (1 + 0.50) \times 0.00148 = 0.00222$$

$$KH^{toplamlam} = (1 + KH) \Delta_T = (1 + 5.12) \times 0.00148 = 0.00907$$

$$G\ddot{O}^{toplamlam} = (1 + G\ddot{O})\Delta_T = (1 + 7.25) \times 0.00148 = 0.01221$$

6.1.2 Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları

Eğilme etkisi altındaki kolon elemanların davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları TBDY 2018 Tablo 5C.3'te [1] verilmektedir. Değerler elemana etkiyen eksenel basınç kuvveti değerinin elemanın beklenen (olası) basınç kuvveti dayanımına oranını ifade eden P/P_{ce} değerine ve enkesitin süneklik düzeyine bağlı olarak değişmektedir. İlgili tablo gereğince enkesitin süneklik düzeyi TBDY 2018 Tablo 9.3'e [1] bağlı olarak belirlenmektedir. Tez çalışması kapsamında merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemler süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmıştır. Dolayısıyla merkezi çaprazlı çelik çerçeve elemanlarının tamamı, TBDY 2018 Tablo 9.3'te [1] süneklik düzeyi yüksek elemanlar için verilen sınır değeri sağlamaktadır. Bu nedenle TBDY 2018 Tablo 5C.3'te [1] süneklik düzeyi yüksek elemanlar için verilen değerler ele alınmaktadır.

Perform3D [15] analiz programında P-M₂-M₃ mafsallının davranışı, mafsalda oluşacak minimum eksenel kuvvet ve maksimum eksenel kuvvet değerine bağlı olarak tanımlanabilmektedir. Dolayısıyla kolona etkiyecek minimum ve maksimum eksenel kuvvet değerlerinin belirlenmesi; bu değerlere bağlı olarak elde edilen P/P_{ce} oranları kullanılarak davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırlarının saptanması gerekmektedir. Detayları Bölüm 3.1.6.2'de açıklandığı üzere, yapının depreme katılan kütlelerinin belirlenmesinde G+0.3Q yük birleşimi ele alınmaktadır. Dolayısıyla elemanda meydana gelecek minimum eksenel kuvvet değeri için G+0.3Q yük birleşimi dikkate alınmaktadır. Kolonlarda yatay deprem etkisi dolayısıyla oluşacak en elverişsiz iç kuvvetler, mekanizma ile uyumlu iç kuvvetler (E_{emh}) olmaktadır. Bu nedenle elemanda meydana gelecek maksimum eksenel kuvvet değeri G+0.3Q+ E_{emh} yük birleşimi kullanılarak elde edilmektedir. FEMA P-2006'da da [16] belirtilen yük birleşimi kullanılarak kolon elemanların davranış modeli elde edilmektedir.

12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında mekanizma ile uyumlu iç kuvvetler Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19'da verilmektedir. G+0.3Q yük birleşimi birlikte Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19'da belirtilen etkilerden en elverişsizlerinin G+0.3Q yüklemesiyle birleştirilmesi sonucunda elde edilen G+0.3Q+ E_{emh} yük birleşimi altında kolonlarda oluşacak eksenel basınç kuvveti değerleri Çizelge 6.5'te yer almaktadır.

Çizelge 6.5 : Deprem etkisinde 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında oluşacak minimum ve maksimum basınç kuvveti değerleri.

Kat	C ve F Akslarındaki Kolonlar		D ve E Akslarındaki Kolonlar	
	G+0.3Q	G+0.3Q+E _{emh}	G+0.3Q	G+0.3Q +E _{emh}
12	149.60	500.80	153.38	855.78
11	282.65	1262.80	336.55	1186.97
10	508.02	2356.08	520.58	1500.91
9	695.07	3759.49	714.24	1807.01
8	882.39	5224.30	908.44	2019.72
7	1069.72	6861.60	1102.64	2213.92
6	1263.06	8517.55	1302.85	2544.51
5	1456.66	10279.48	1503.60	2747.28
4	1650.27	12171.18	1704.36	2948.05
3	1851.16	14070.16	1912.49	3156.19
2	2052.24	15969.33	2120.62	3364.33
1	2253.23	17868.41	2328.75	3572.47

TBDY 2018 Tablo 5C.3 [1] gereğince kolonların davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları sırasıyla Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.6 : Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için davranış modeli değişkenleri.

Durum	a	b	c
$P/P_{ce} < 0.20$	$6 \theta_y$	$11 \theta_y$	0.60
$0.20 \leq P/P_{ce} \leq 0.50$	$9(1-1.66P/P_{ce})\theta_y$	$17(1-1.66P/P_{ce})\theta_y$	0.20

Çizelge 6.7 : Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için plastik dönme sınırları.

Durum	SH	KH	GÖ
$P/P_{ce} < 0.20$	$1 \theta_y$	$6 \theta_y$	9
$0.20 \leq P/P_{ce} \leq 0.50$	$1.5-(1-1.66P/P_{ce})\theta_y$	$9(1-1.66P/P_{ce})\theta_y$	$13.5(1-1.66P/P_{ce})$

Elemanın akma dönmesi ve beklenen (olası) eğilme dayanımı TBDY 2018 Denklem 5C.2a ve 5C.2b [1] ile elde edilmektedir. Belirtilen bağıntılar sırasıyla denklem 6.6 ve

6.7’de gösterilmektedir. Bağıntılarda yer alan P_{ye} ifadesi elemanın beklenen (olası) eksenel akma dayanımını ifade etmektedir.

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} l_k}{6EI_k} \left[1 - \frac{|P|}{P_{ye}} \right] \quad (6.6)$$

$$Q_y = 1.18 W_p F_{ye} \left[1 - \frac{|P|}{P_{ye}} \right] \leq M_{pe} = W_p F_{ye} \quad (6.7)$$

12 katlı yapının 1-C aksı üzerinde yer alan HD400x463 enkesite sahip 6. kat kolon enkesitine ait karakteristik bilgiler Çizelge 6.8’de yer almaktadır.

Çizelge 6.8 : HD400x463 enkesite ait karakteristik özellikler.

d (mm)	t _w (mm)	I _x (cm ⁴)	i _x (mm)	A _g (cm ²)
435	35.80	180000	174.80	590
h (mm)	t _f (mm)	I _y (cm ⁴)	i _y (mm)	G (MPa)
290	57.30	67000	106.60	77200
b (mm)	J (cm ⁴)	C _w (cm ⁶)	W _{px} (cm ³)	W _{py} (cm ³)
412	5650	23800000	9880	4980

Öncelikle elemanın beklenen (olası) eksenel akma dayanımı (P_{ye}) ile beklenen (olası) basınç kuvveti dayanımının (P_{ce}) elde edilmesi gerekmektedir. Çizelge 6.1’de verilen R_y katsayısı ile elde edilen yapı çeliğinin beklenen (olası) akma dayanımı kullanılarak sırasıyla ÇYTHYE 2018 Yönetmeliği Bölüm 7 ve Bölüm 8 [6] çerçevesinde P_{ye} ve P_c değerleri elde edilmektedir.

$$P_{ye} = R_y F_y A_g = 1.30 \times 275 \times (590 \times 10^2) \times 10^{-3} = 21092.50 \text{ kN}$$

Elemanın beklenen (olası) basınç kuvveti dayanımı hesabında daha elverişsiz sonuçlar vereceğinden enkesitin zayıf doğrultusu olan Y doğrultusu için sırasıyla eğilmeli burkulma ile burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumları incelenmektedir. Tüm hesaplarda eleman uzunluğu olarak elemanın sistem uzunluğu değeri olan 3500mm ele alınmaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumuna ilişkin hesap aşağıda yer almaktadır.

$$\frac{KL}{i_y} = \frac{1 \times 3500}{106.60} = 32.83 < 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.02$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(32.83)^2} = 1831.42 MPa$$

$$F_{cr,y} = 0.658^{\frac{1.30 \times 275}{1831.42}} \times 1.30 \times 275 = 329.45 MPa$$

$$P_n = F_{cr,y} A_g = 329.45 \times (590 \times 10^2) \times 10^{-3} = 19437.71 kN$$

Burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumuna ilişkin hesap aşağıda yer almaktadır.

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 \times 200000 \times (23800000 \times 10^6)}{(1 \times 3500)^2} + 77200 \times (5650 \times 10^4) \right] \times \frac{1}{(180000 + 67000) \times 10^4} = 3318.56 MPa$$

$$\frac{R_y F_y}{F_{ez}} = \frac{1.30 \times 275}{3318.56} = 0.11 < 2.25$$

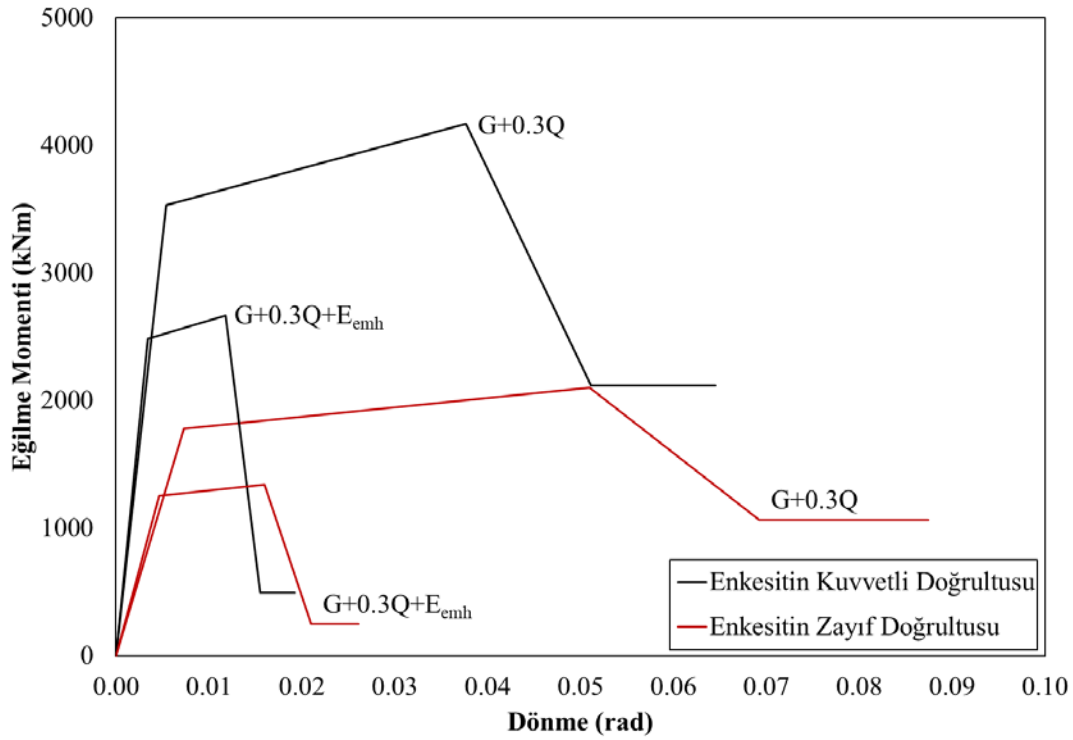
$$F_{cr,z} = 0.658^{0.11} \times 1.30 \times 275 = 341.74 MPa$$

$$P_n = F_{cr,z} A_g = 341.74 \times (590 \times 10^2) \times 10^{-3} = 20162.58 kN$$

Dolayısıyla elemanın beklenen (olası) basınç kuvveti dayanımı aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$P_{ce} = \min \left[\begin{matrix} 19437.71 kN \\ 20162.58 kN \end{matrix} \right] = 19437.71 kN$$

Bölüm 6.1.2.1 ve 6.1.2.2’de elemanın minimum eksenel basınç kuvveti ve maksimum eksenel basınç kuvveti altında hesabı gerçekleştirilmektedir. İlgili bölümler sonucunda elde edilen davranış modeli, enkesitin kuvvetli ve zayıf doğrultusuna bağlı olarak Şekil 6.5’te yer almaktadır.



Şekil 6.5 : 12 katlı yapının 1-C aksı üzerindeki HD400x463 enkesitli 6. kat kolonunun davranış modeli.

6.1.2.1 Minimum eksenel basınç kuvveti etkisi altında hesap

Açıklandığı üzere kolonda meydana gelecek minimum eksenel basınç kuvveti değeri $G+0.3Q$ yük birleşiminden elde edilmektedir. Çizelge 6.5 gereğince bu değer 1263.06kN olmaktadır. Dolayısıyla minimum eksenel basınç kuvveti altında P/P_{ye} ve P/P_{ce} oranları aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$\frac{P}{P_{ye}} = \frac{1263.06}{21092.50} = 0.06$$

$$\frac{P}{P_{ce}} = \frac{1263.06}{19437.71} = 0.06$$

Elde edilen P/P_{ye} değerine bağlı olarak enkesitin akma dönmesi ve beklenen (olası) eğilme dayanımı sırasıyla denklem 6.6 ve 6.7 ile elde edilmektedir.

$$\theta_{y,x} = \frac{(9880 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times 3500}{6 \times 200000 \times (180000 \times 10^4)} \times [1 - 0.06] = 0.00538rad$$

$$M_{y,x} = 1.18 \times (9880 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times [1 - 0.06] \times 10^{-6} = 3918.30kNm$$

$$M_{pe,x} = (9880 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times 10^{-6} = 3532.10kNm$$

$$M_{y,x} = \min \begin{bmatrix} 3918.30kNm \\ 3532.10kNm \end{bmatrix} = 3532.10kNm$$

$$\theta_{y,y} = \frac{(4980 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times 3500}{6 \times 200000 \times (67000 \times 10^4)} \times [1 - 0.06] = 0.00729rad$$

$$M_{y,y} = 1.18 \times (4980 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times [1 - 0.06] \times 10^{-6} = 1975.01kNm$$

$$M_{pe,y} = (4980 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times 10^{-6} = 1780.35kNm$$

$$M_{y,y} = \min \begin{bmatrix} 1975.01kNm \\ 1780.35kNm \end{bmatrix} = 1780.35kNm$$

P/P_{ce} oranının 0.20 değerinden küçük olması dolayısıyla minimum eksenel basınç kuvveti altında elemanın davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları Çizelge 6.9'da gösterildiği şekilde olmaktadır.

Çizelge 6.9 : 12 katlı yapının 1-C aksı üzerindeki 6. kat kolonunun minimum eksenel basınç kuvveti altında davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları.

Durum	a	b	c	SH	KH	GÖ
$P/P_{ce} < 0.20$	$6\theta_y$	$11\theta_y$	0.60	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$

Şekil 6.2'de görüldüğü üzere B noktasındaki dönme değeri enkesitin akma dönmesine; eğilme momenti değeri ise enkesitin beklenen (olası) eğilme dayanımına eşit olmaktadır.

$$M_{B,x} = M_{y,x} = 3532.10kNm$$

$$\theta_{B,x}^{toplamlam} = \theta_{y,x} = 0.00538rad$$

$$M_{B,y} = M_{y,y} = 1780.35kNm$$

$$\theta_{B,y}^{toplamlam} = \theta_{y,y} = 0.00729rad$$

FEMA P-2006 [16] gereğince B-C noktaları arasındaki eğim, A-B noktaları arasındaki eğimin %3'ü olarak alınarak. Bu şekilde pekleşme, eleman davranışına yansıtılmış olmaktadır. Dolayısıyla C noktasındaki eğilme momenti değeri denklem 6.8 ile belirlenmektedir. C noktasında meydana gelecek plastik dönme değeri Şekil 6.2'de görüldüğü üzere Çizelge 6.9'da verilen a değişkeni ile elde edilmektedir.

$$\theta_{C,x}^{plastik} = a\theta_{y,x} = 6 \times 0.00538 = 0.03228rad$$

$$\theta_{C,x}^{toplaml} = \theta_{y,x} + \theta_{C,x}^{plastik} = 0.00538 + 0.03228 = 0.03766rad$$

$$M_C = M_B + 0.03m_{AB}(\theta_C^{toplaml} - \theta_B^{toplaml}) \quad (6.8)$$

$$m_{AB,x} = \frac{3532.10}{0.00538} = 656524$$

$$M_{C,x} = 3532.10 + 0.03 \times 656525 \times (0.03766 - 0.00538) = 4167.88kNm$$

$$\theta_{C,y}^{plastik} = a\theta_{y,y} = 6 \times 0.00729 = 0.04374rad$$

$$\theta_{C,y}^{toplaml} = \theta_{y,y} + \theta_{C,y}^{plastik} = 0.00729 + 0.04374 = 0.05103rad$$

$$m_{AB,y} = \frac{1780.35}{0.00729} = 244218$$

$$M_{C,y} = 1780.35 + 0.03 \times 244218 \times (0.05103 - 0.00729) = 2100.81kNm$$

D noktasındaki dönme değeri, FEMA P-2006 [16] gereğince E noktasındaki dönme ile C noktasındaki dönmenin ortalaması olarak ele alınmaktadır. Dolayısıyla öncelikle E noktasına ait dönme değerleri elde edilmektedir. Şekil 6.2’de görüldüğü üzere E noktasındaki plastik dönme değeri Çizelge 6.9’da verilen b değişkeni kullanılarak elde edilmektedir.

$$\theta_{E,x}^{plastik} = b\theta_{y,x} = 11 \times 0.00538 = 0.05918rad$$

$$\theta_{E,x}^{toplaml} = \theta_{y,x} + \theta_{E,x}^{plastik} = 0.00538 + 0.05918 = 0.06456rad$$

$$\theta_{E,y}^{plastik} = b\theta_{y,y} = 11 \times 0.00729 = 0.08019rad$$

$$\theta_{E,y}^{toplaml} = \theta_{y,y} + \theta_{E,y}^{plastik} = 0.00729 + 0.08019 = 0.08748rad$$

Şekil 6.2’de görüldüğü üzere D noktasındaki eğilme momenti değeri Çizelge 6.9’da verilen c değişkeni kullanılarak elde edilmektedir. Dolayısıyla D noktasında meydana gelen dönme ve eğilme momenti değerleri aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$\theta_{D,x}^{toplaml} = \frac{\theta_{C,x}^{toplaml} + \theta_{E,x}^{toplaml}}{2} = \frac{0.03766 + 0.06456}{2} = 0.05111rad$$

$$\theta_{D,x}^{plastik} = \theta_{D,x}^{toplaml} - \theta_{y,x} = 0.05111 - 0.00538 = 0.04573rad$$

$$M_{D,x} = cM_{y,x} = 0.60 \times 3532.10 = 2119.26kNm$$

$$\theta_{D,y}^{toplamlam} = \frac{\theta_{C,y}^{toplamlam} + \theta_{E,y}^{toplamlam}}{2} = \frac{0.05103 + 0.08748}{2} = 0.06926rad$$

$$\theta_{D,y}^{plastik} = \theta_{D,y}^{toplamlam} - \theta_{y,y} = 0.06926 - 0.00729 = 0.04573rad$$

$$M_{D,y} = cM_{y,y} = 0.60 \times 1780.35 = 1068.21kNm$$

Şekil 6.2’de gereğince E noktasında eğilme momenti değeri, D noktasındaki eğilme momenti değerine eşit olmaktadır.

$$\theta_{E,x}^{plastik} = 0.05918rad$$

$$\theta_{E,x}^{toplamlam} = 0.06456rad$$

$$M_{E,x} = M_{D,x} = 2119.26kNm$$

$$\theta_{E,y}^{plastik} = 0.08019rad$$

$$\theta_{E,y}^{toplamlam} = 0.08748rad$$

$$M_{E,y} = M_{D,y} = 1068.21kNm$$

Perform3D [15] analiz programında kolon elemanlar için P-M₂-M₃ mafsalı tanımlanacağından plastik dönme sınır değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Plastik dönme sınır değerleri Çizelge 6.9’da belirtilen ilgili değerlere bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$SH_x^{plastik} = 1\theta_{y,x} = 1 \times 0.00538 = 0.00538rad$$

$$KH_x^{plastik} = 6\theta_{y,x} = 6 \times 0.00538 = 0.03228rad$$

$$G\ddot{O}_x^{plastik} = 9\theta_{y,x} = 9 \times 0.00538 = 0.04843rad$$

$$SH_y^{plastik} = 1\theta_{y,y} = 1 \times 0.00729 = 0.00729rad$$

$$KH_y^{plastik} = 6\theta_{y,y} = 6 \times 0.00729 = 0.04372rad$$

$$G\ddot{O}_y^{plastik} = 9\theta_{y,y} = 9 \times 0.00729 = 0.06558rad$$

6.1.2.2 Maksimum eksenel basınç kuvveti etkisi altında hesap

Kolonda meydana gelecek maksimum eksenel basınç kuvveti değeri G+0.3Q+E_{emh} yük birleşiminden elde edilmektedir. Çizelge 6.5 gereğince bu değer 8421.08kN

olmaktadır. Dolayısıyla maksimum eksenel basınç kuvveti altında P/P_{ye} ve P/P_{ce} oranları aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$\frac{P}{P_{ye}} = \frac{8517.55}{21092.50} = 0.40$$

$$\frac{P}{P_{ce}} = \frac{8517.55}{19437.71} = 0.44$$

Elde edilen P/P_{ye} değerine bağlı olarak enkesitin akma dönmesi ve beklenen (olası) eğilme dayanımı sırasıyla denklem 6.6 ve 6.7 ile elde edilmektedir.

$$\theta_{y,x} = \frac{(9880 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times 3500}{6 \times 200000 \times (180000 \times 10^4)} \times [1 - 0.40] = 0.00341 \text{ rad}$$

$$M_{y,x} = 1.18 \times (9880 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times [1 - 0.40] \times 10^{-6} = 2484.81 \text{ kNm}$$

$$M_{pe,x} = (9880 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times 10^{-6} = 3532.10 \text{ kNm}$$

$$M_{y,x} = \text{Min} \begin{bmatrix} 2484.81 \text{ kNm} \\ 3532.10 \text{ kNm} \end{bmatrix} = 2484.81 \text{ kNm}$$

$$\theta_{y,y} = \frac{(4980 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times 3500}{6 \times 200000 \times (67000 \times 10^4)} \times [1 - 0.40] = 0.00462 \text{ rad}$$

$$M_{y,y} = 1.18 \times (4980 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times [1 - 0.40] \times 10^{-6} = 1252.47 \text{ kNm}$$

$$M_{pe,y} = (4980 \times 10^3) \times 1.30 \times 275 \times 10^{-6} = 1780.35 \text{ kNm}$$

$$M_{y,y} = \text{Min} \begin{bmatrix} 1252.47 \text{ kNm} \\ 1780.35 \text{ kNm} \end{bmatrix} = 1252.47 \text{ kNm}$$

P/P_{ce} oranının 0.20 ile 0.50 arasında olması dolayısıyla Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’de verilen bağıntılar kullanılarak sırasıyla elemanın davranış modeli değişkenleri ile plastik dönme sınırları elde edilmektedir.

$$a = 9 \left(1 - 1.66 \frac{P}{P_c} \right) \theta_y = 9 \times (1 - 1.66 \times 0.44) = 2.46 \theta_y$$

$$b = 17 \left(1 - 1.66 \frac{P}{P_c} \right) \theta_y = 17 \times (1 - 1.66 \times 0.44) = 4.64 \theta_y$$

$$c = 0.20$$

$$SH = 1.5 \left(1 - 1.66 \frac{P}{P_c} \right) \theta_y = 1.5 \times (1 - 1.66 \times 0.44) = 0.41 \theta_y$$

$$KH = 9 \left(1 - 1.66 \frac{P}{P_c} \right) \theta_y = 9 \times (1 - 1.66 \times 0.44) = 2.46\theta_y$$

$$G\ddot{O} = 13.5 \left(1 - 1.66 \frac{P}{P_c} \right) \theta_y = 13.5 \times (1 - 1.66 \times 0.44) = 3.69\theta_y$$

Dolayısıyla $G+0.3Q+E_{emh}$ yük birleşimi altında elemanın davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları Çizelge 6.10'daki gibi olmaktadır.

Çizelge 6.10 : 12 katlı yapının 1-C aksı üzerinde yer alan 6. kat kolonunun maksimum eksenel basınç kuvveti altında davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları.

Durum	a	b	c	SH	KH	GÖ
$0.20 \leq P/P_{ce} \leq 0.50$	$2.46\theta_y$	$4.64\theta_y$	0.20	$0.41\theta_y$	$2.46\theta_y$	$3.69\theta_y$

Şekil 6.2'de görüldüğü üzere B noktasındaki dönme değeri enkesitin akma dönmesine; eğilme momenti değeri ise enkesitin beklenen (olası) eğilme dayanımına eşit olmaktadır.

$$M_{B,x} = M_{y,x} = 2484.81kNm$$

$$\theta_{B,x}^{toplamlam} = \theta_{y,x} = 0.00341rad$$

$$M_{B,y} = M_{y,y} = 1252.47kNm$$

$$\theta_{B,y}^{toplamlam} = \theta_{y,y} = 0.00462 rad$$

B-C noktaları arasındaki eğim, FEMA P-2006 [16] gereğince A-B noktaları arasındaki eğimin %3'ü olarak alınmaktadır. C noktasında meydana gelecek plastik dönme değeri Şekil 6.2'de görüldüğü üzere Çizelge 6.10'da verilen a değişkeni ile elde edilmektedir.

$$\theta_{C,x}^{plastik} = a\theta_{y,x} = 2.46 \times 0.00341 = 0.008389rad$$

$$\theta_{C,x}^{toplamlam} = \theta_{y,x} + \theta_{C,x}^{plastik} = 0.00341 + 0.008389 = 0.01180rad$$

$$M_C = M_B + 0.03m_{AB}(\theta_C^{toplamlam} - \theta_B^{toplamlam})$$

$$m_{AB,x} = \frac{2484.81}{0.00341} = 728683$$

$$M_{C,x} = 2484.81 + 0.03 \times 728683 \times (0.01180 - 0.00341) = 2667.98kNm$$

$$\theta_{C,y}^{plastik} = a\theta_{y,y} = 2.46 \times 0.00462 = 0.01136rad$$

$$\theta_{C,y}^{toplamlam} = \theta_{y,y} + \theta_{C,y}^{plastik} = 0.00462 + 0.01136 = 0.01598$$

$$m_{AB,y} = \frac{1252.47}{0.00461} = 271685$$

$$M_{C,y} = 1252.47 + 0.03 \times 271685 \times (0.01598 - 0.00462) = 1344.79kNm$$

D noktasındaki dönme değeri, FEMA P-2006 [16] gereğince E noktasındaki dönme ile C noktasındaki dönmenin ortalaması olarak ele alınmaktadır. Dolayısıyla öncelikle E noktasına ait dönme değerleri elde edilmektedir. Şekil 6.2’de görüldüğü üzere E noktasındaki plastik dönme değeri Çizelge 6.10’da verilen b değişkeni kullanılarak elde edilmektedir.

$$\theta_{E,x}^{plastik} = b\theta_{y,x} = 4.64 \times 0.00341 = 0.01582$$

$$\theta_{E,x}^{toplamlam} = \theta_{y,x} + \theta_{E,x}^{plastik} = 0.00341 + 0.01582 = 0.01923rad$$

$$\theta_{E,y}^{plastik} = b\theta_{y,y} = 4.64 \times 0.00462 = 0.02144rad$$

$$\theta_{E,y}^{toplamlam} = \theta_{y,y} + \theta_{E,y}^{plastik} = 0.00462 + 0.02144 = 0.02606rad$$

Şekil 6.2’de görüldüğü üzere D noktasındaki eğilme momenti değeri Çizelge 6.10’da verilen c değişkeni kullanılarak elde edilmektedir. Dolayısıyla D noktasında meydana gelen dönme ve eğilme momenti değerleri aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$\theta_{D,x}^{toplamlam} = \frac{\theta_{C,x}^{toplamlam} + \theta_{E,x}^{toplamlam}}{2} = \frac{0.01280 + 0.01923}{2} = 0.01602rad$$

$$\theta_{D,x}^{plastik} = \theta_{D,x}^{toplamlam} - \theta_{y,x} = 0.01602 - 0.00341 = 0.01261rad$$

$$M_{D,x} = cM_{y,x} = 0.20 \times 2484.81 = 496.96kNm$$

$$\theta_{D,x}^{toplamlam} = \frac{\theta_{C,x}^{toplamlam} + \theta_{E,x}^{toplamlam}}{2} = \frac{0.01598 + 0.02606}{2} = 0.02102rad$$

$$\theta_{D,y}^{plastik} = \theta_{D,y}^{toplamlam} - \theta_{y,y} = 0.02102 - 0.00462 = 0.01640rad$$

$$M_{D,y} = cM_{y,y} = 0.20 \times 1252.47 = 250.49kNm$$

Şekil 6.2’de gereğince E noktasında eğilme momenti değeri, D noktasındaki eğilme momenti değerine eşit olmaktadır.

$$\theta_{E,x}^{plastik} = 0.01582rad$$

$$\theta_{E,x}^{toplamlam} = 0.01923rad$$

$$M_{E,x} = M_{D,x} = 496.96kNm$$

$$\theta_{E,y}^{plastik} = 0.02144rad$$

$$\theta_{E,y}^{toplamlam} = 0.02606rad$$

$$M_{E,y} = M_{D,y} = 250.49kNm$$

Perform3D [15] analiz programında kolon elemanlar için P-M₂-M₃ mafsallı tanımlanacağından plastik dönme sınır değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Plastik dönme sınır değerleri Çizelge 6.10'da belirtilen ilgili değerlere bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$SH_x^{plastik} = 0.42\theta_{y,x} = 0.41 \times 0.00341 = 0.00140rad$$

$$KH_x^{plastik} = 2.53\theta_{y,x} = 2.46 \times 0.00341 = 0.00838rad$$

$$G\ddot{O}_x^{plastik} = 3.80\theta_{y,x} = 3.69 \times 0.00341 = 0.01258rad$$

$$SH_y^{plastik} = 0.42\theta_{y,y} = 0.41 \times 0.00462 = 0.00189rad$$

$$KH_y^{plastik} = 2.53\theta_{y,y} = 2.46 \times 0.00462 = 0.1135rad$$

$$G\ddot{O}_y^{plastik} = 3.80\theta_{y,y} = 3.69 \times 0.00462 = 0.01703rad$$

6.1.3 Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri

Bölüm 6.1.2'de açıklandığı üzere elemanın davranışı, elemanda meydana gelecek minimum ve maksimum eksenel basınç kuvvetine bağlı olarak elde edilmektedir. Bu değerler sırasıyla G+0.3Q ve G+0.3Q+E_{emh} yük birleşimlerinden elde edilmektedir. Rijit kat diyaframı kabulü dolayısıyla düşey etkiler altında kirişte meydana gelen eksenel kuvvet değeri ihmal edilebilecek mertebede olmaktadır. Dolayısıyla G+0.3Q yük birleşimi altında kirişte sadece eğilme etkisi ele alınmaktadır. G+0.3Q+E_{emh} yük birleşimine ait eksenel kuvvet değeri de sadece mekanizma ile uyumlu iç kuvvetlerden (E_{emh}) ötürü meydana gelmektedir. Bu nedenle 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde G+0.3Q+E_{emh} yük birleşimi altında oluşacak eksenel basınç kuvveti değerleri Çizelge 5.35'te verilen değerlere eşit olmaktadır.

Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları $G+0.3Q$ yük birleşiminde sadece eğilme etkisi olduğundan TBDY 2018 Tablo 5C.2 [1] dikkate alınarak belirlenmektedir. $G+0.3Q+E_{emh}$ yük birleşiminde ise kirişe eksenel basınç kuvveti etkidiğinden TBDY 2018 Tablo 5C.3'te [1] eğilme etkisindeki kolonlar için verilen değerler ele alınmaktadır. Bununla birlikte TBDY 2018 Tablo 5C.2'te [1] verilen değerlerin, TBDY 2018 Tablo 5C.3'te [1] P/P_{ce} oranının 0.20 değerinden küçük olması durumundaki değerlere eşit olduğu görülmektedir. $G+0.3Q$ yük birleşimi altında kirişte eksenel basınç kuvveti meydana gelmediği kabulü dolayısıyla P/P_{ce} ve P/P_{ye} oranlarının değeri sıfır olmaktadır. Bu nedenle $G+0.3Q$ yük birleşimi için ilgili değerlerin, TBDY 2018 Tablo 5C.3'ten [1] elde edilmesinde de bir sakınca bulunmamaktadır.

12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin HE 550 M enkesitli 6. kat kirişlerinde $G+0.3Q+E_{emh}$ yük birleşimi altında meydana gelecek eksenel basınç kuvveti değeri 1686.79kN olmaktadır. İlgili elemanın enkesitine ait karakteristik özellikler Çizelge 6.11'de yer almaktadır.

Çizelge 6.11 : HE 550 M enkesite ait karakteristik özellikler.

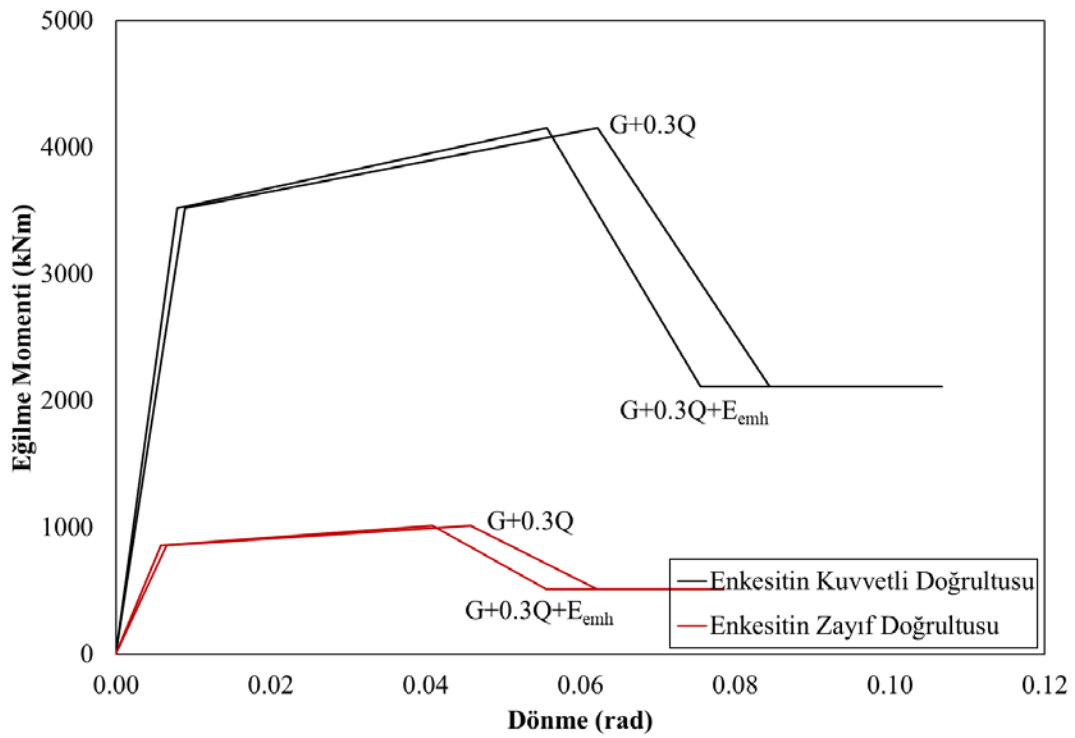
d (mm)	t_w (mm)	I_x (cm ⁴)	i_x (mm)	A_g (cm ²)
572	21	197980	236.40	354
h (mm)	t_f (mm)	I_y (cm ⁴)	i_y (mm)	G (MPa)
438	40	19150	73.50	77200
b (mm)	J (cm ⁴)	C_w (cm ⁶)	W_{px} (cm ³)	W_{py} (cm ³)
306	1558	13510000	7933	1937

Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için davranış modeli değişkenleri ve plastik şekil değiştirme sınırları, ayrıntıları Bölüm 6.1.2'de açıklanan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için gerçekleştirilen işlemler uygulanarak belirlenmektedir. Elemanın beklenen (olası) eksenel akma dayanımı ve beklenen (olası) eksenel basınç kuvveti dayanımı sırasıyla 15726.50kN ve 14801.59kN olarak elde edilmektedir. İlgili değerler doğrultusunda $G+0.3Q+E_{emh}$ yük birleşimi altında P/P_{ye} ve P/P_{ce} oranlarının değeri 0.11 olmaktadır. Dolayısıyla $G+0.3Q$ ve $G+0.3Q+E_{emh}$ yük birleşimleri altında elemanın davranış modeli değişkenleri ve plastik şekil değiştirme sınırları aynı olmaktadır. Belirtilen değerler Çizelge 6.12'de yer almaktadır.

Çizelge 6.12 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemi 6. kat kirişlerinin davranış modeli değişkenleri ve plastik dönme sınırları.

Durum	a	b	c	SH	KH	GÖ
$P/P_{ce} < 0.20$	$6\theta_y$	$11\theta_y$	0.60	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$

İlgili hesaplar sonucunda elde edilen 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin HE 550 M enkesitli 6. kat kirişlerine ait davranış modeli Şekil 6.6'da yer almaktadır.



Şekil 6.6 : 12 katlı yapının X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteminin HE 550 M enkesitli 6. kat kirişlerine ait davranış modeli.

6.2 Deprem Yer Hareketi İvme Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklenmesi

Perform3D [15] analiz programında gerçekleştirilecek zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için TBDY 2018 Bölüm 2.5.1.3 [1] gereğince en az 11 deprem yer hareketi ivme kaydı takımının kullanılması gerekmektedir. Ayrıca aynı depremden seçilen deprem yer hareketi ivme kayıtlarının sayısının en fazla üç olması gerekmektedir. Deprem yer hareketi ivme kayıtlarının seçiminde yapıların inşa

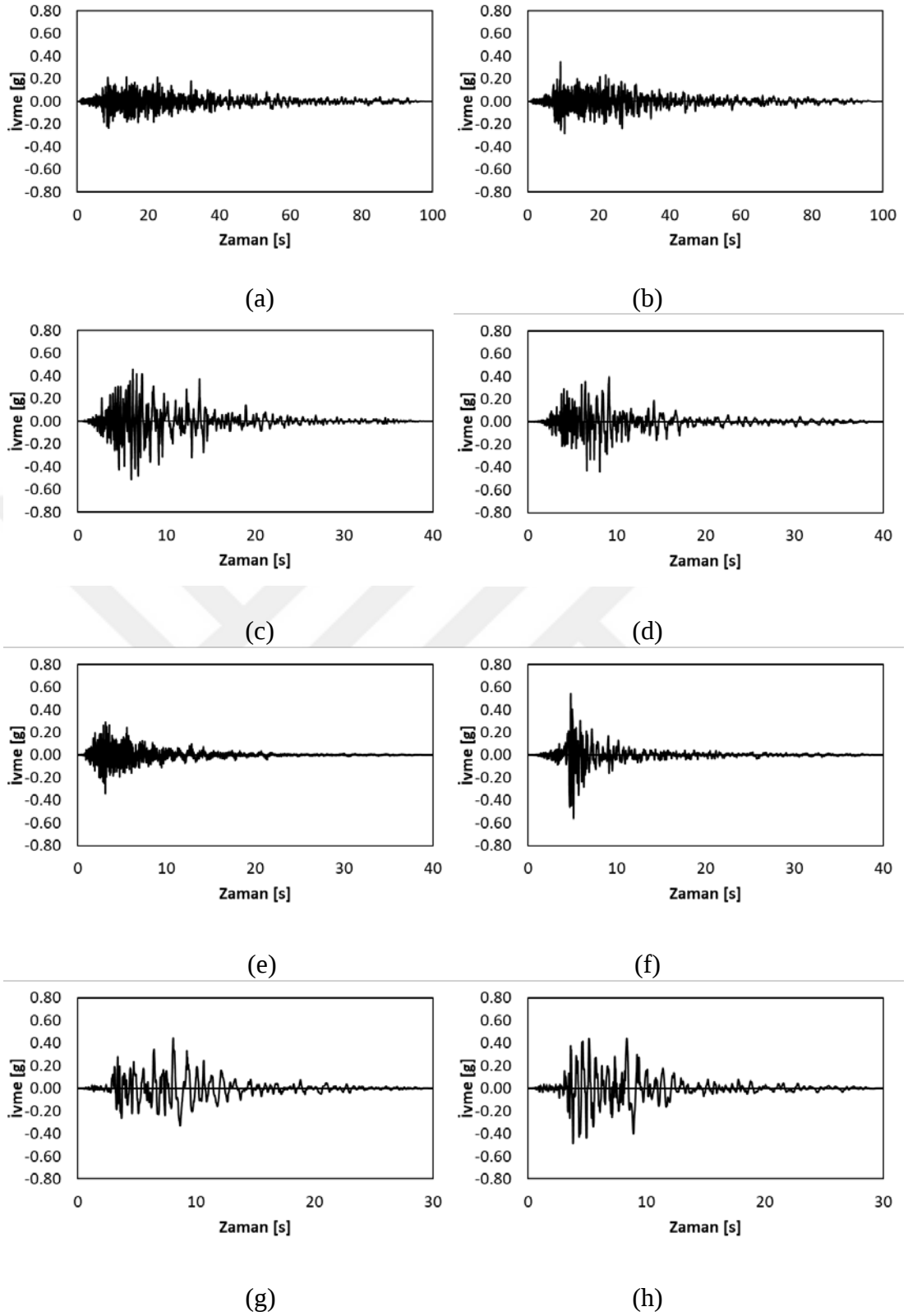
edileceği bölgenin koşulları ile birlikte üretebileceği deprem özellikleri göz önüne alınmıştır. Dolayısıyla kayıtların seçiminde deprem büyüklüğü, fay uzaklığı, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları ele alınmaktadır.

Deprem yer hareketi ivme kayıtları PEER NGA [19] veritabanından elde edilmiştir. Bölgenin deprem üretme kapasitesi dolayısıyla büyüklüğü 6.5'tan büyük depremler ele alınmıştır. Bölüm 2.1'de açıklandığı üzere tasarlanan yapıların konumu İstanbul ili Kadıköy ilçesi olarak belirlenmiş ve bölgenin zemin sınıfı ZD olarak ele alınmıştır. Bu nedenle ZC veya ZD zemin sınıflarında kaydedilen deprem yer hareketi ivme kayıtları ele alınmaktadır. PEER NGA [19] veritabanında yer alan deprem yer hareketi ivme kayıtlarının kaydedildiği zemin sınıfının belirlenmesinde, TBDY 2018 Tablo 16.1'de [1] zemin sınıflarına bağlı olarak tanımlanan zeminin üst 30 metresine ait ortalama kayma dalgası hızından $((V_s)_{30})$ yararlanılmaktadır. Dolayısıyla TBDY 2018 Tablo 16.1 [1] gereğince seçilen deprem yer hareketi ivme kayıtlarının $(V_s)_{30}$ değeri 180m/s ile 760m/s arasında olmaktadır. Deprem yer hareketi ivme kayıtlarının fay türü ise doğrultu veya ters atımlı olarak ele alınmaktadır. Seçilen deprem yer hareketi ivme kayıtlarına ilişkin bilgiler Çizelge 6.13'te yer almaktadır.

Çizelge 6.13 : Seçilen deprem yer hareketi ivme kayıtlarına ait bilgiler.

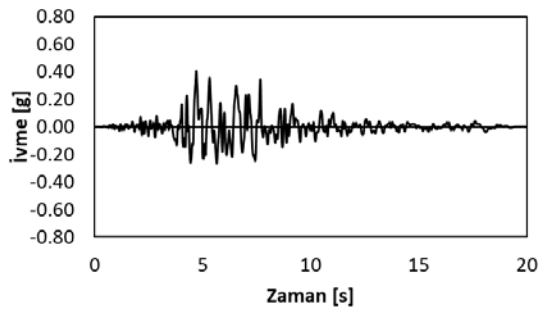
No	PEER No	Büyükölük	Yıl	$(V_s)_{30}$ (m/s)	Deprem
1	169	6.53	1979	242.05	Imperial Valley
2	752	6.93	1989	288.62	Loma Prieta
3	767	6.93	1989	349.85	Loma Prieta
4	953	6.69	1994	355.81	Northridge
5	960	6.69	1994	325.60	Northridge
6	1111	6.90	1995	609.00	Kobe, Japan
7	1158	7.51	1999	281.86	Kocaeli, Turkey
8	1244	7.62	1999	258.89	Chi-Chi, Taiwan
9	1485	7.62	1999	704.64	Chi-Chi, Taiwan
10	1602	7.14	1999	293.57	Duzce, Turkey
11	1633	7.37	1990	723.95	Manjil, Iran

Deprem yer hareketi ivme kayıtlarına ait iki asal yön H1 ve H2 olmak üzere, seçilen deprem yer hareketi ivme kayıtları Şekil 6.7'de gösterilmektedir.

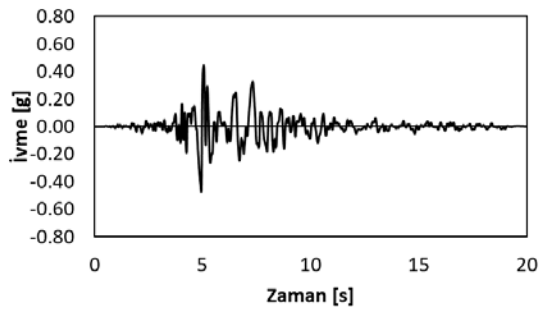


Şekil 6.7 : Ölçeklenmemiş deprem yer hareketi ivme kayıtları

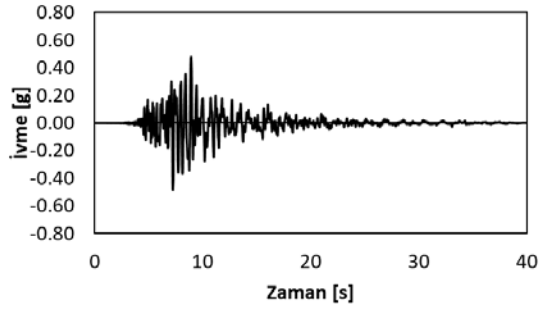
(a) 1-H1 (b) 1-H2 (c) 2-H1 (d) 2-H2 (e) 3-H1 (f) 3-H2 (g) 4-H1 (h) 4-H2
 (i) 5-H1 (j) 5-H2 (k) 6-H1 (l) 6-H2 (m) 7-H1 (n) 7-H2 (p) 8-H1 (r) 8-H2
 (s) 9-H1 (t) 9-H2 (u) 10-H1 (v) 10-H2 (y) 11-H1 (z) 11-H2.



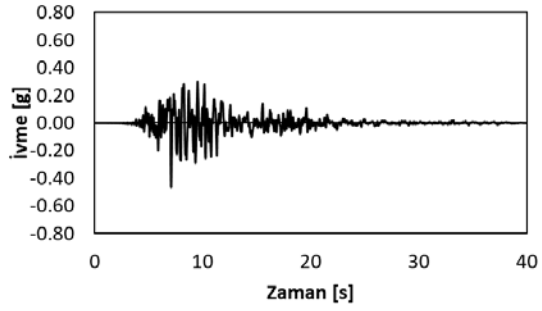
(i)



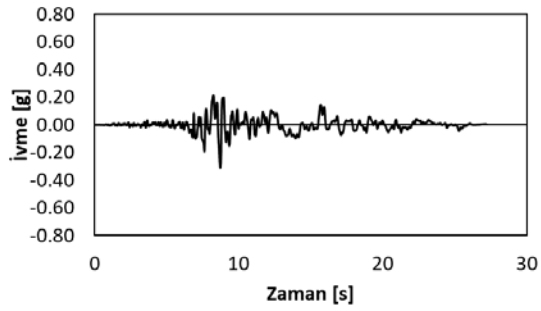
(j)



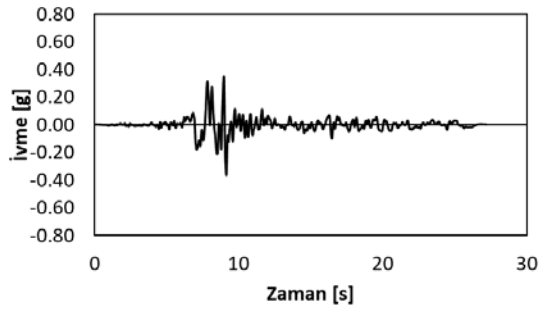
(k)



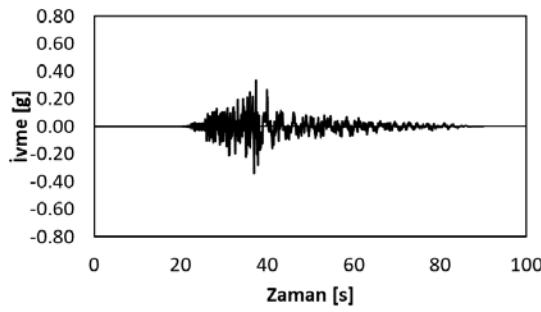
(l)



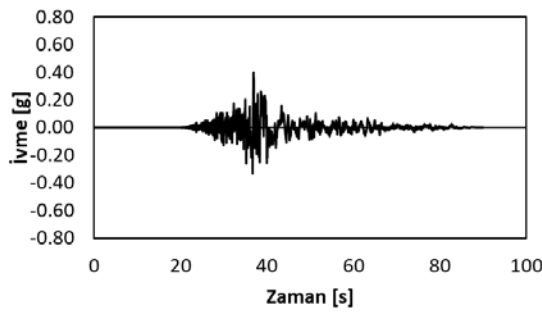
(m)



(n)



(p)



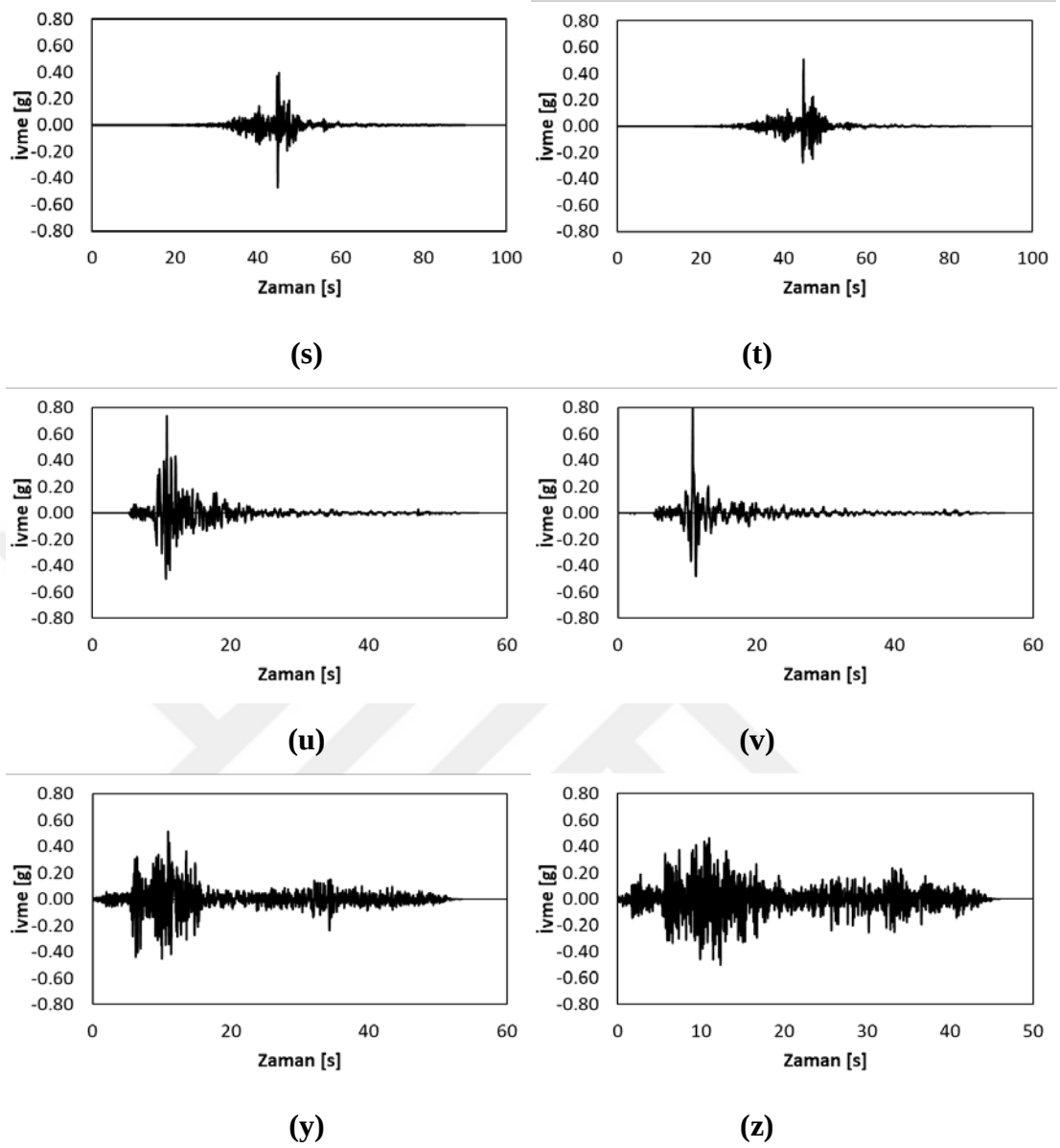
(r)

Şekil 6.7 (devamı) : Ölçeklenmemiş deprem yer hareketi ivme kayıtları

(a) 1-H1 (b) 1-H2 (c) 2-H1 (d) 2-H2 (e) 3-H1 (f) 3-H2 (g) 4-H1 (h) 4-H2

(i) 5-H1 (j) 5-H2 (k) 6-H1 (l) 6-H2 (m) 7-H1 (n) 7-H2 (p) 8-H1 (r) 8-H2

(s) 9-H1 (t) 9-H2 (u) 10-H1 (v) 10-H2 (y) 11-H1 (z) 11-H2.



Şekil 6.7 (devamı) : Ölçeklenmemiş deprem yer hareketi ivme kayıtları

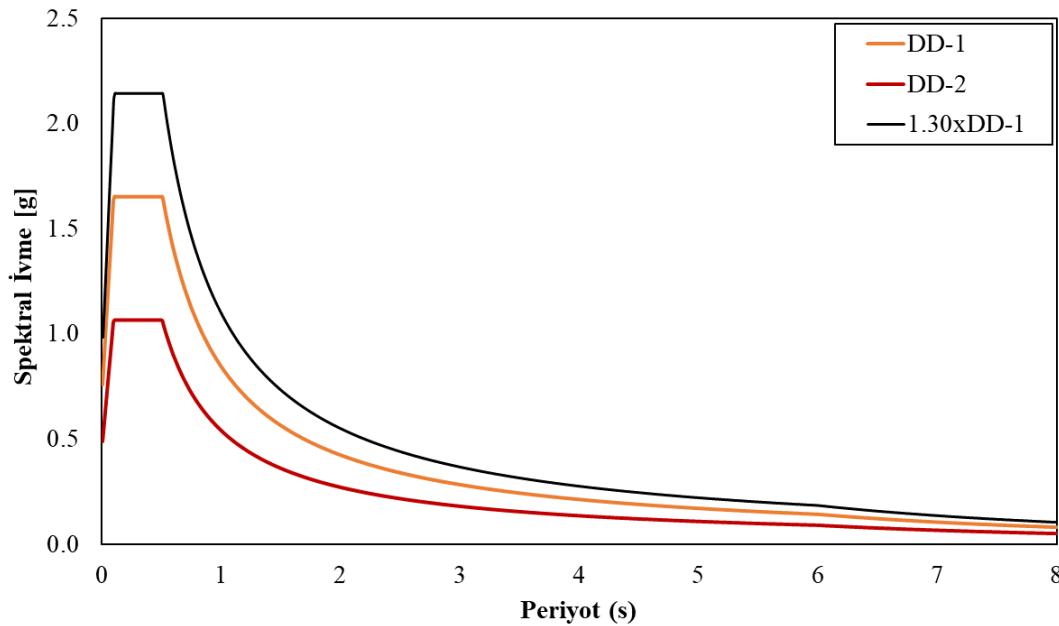
(a) 1-H1 (b) 1-H2 (c) 2-H1 (d) 2-H2 (e) 3-H1 (f) 3-H2 (g) 4-H1 (h) 4-H2
 (i) 5-H1 (j) 5-H2 (k) 6-H1 (l) 6-H2 (m) 7-H1 (n) 7-H2 (p) 8-H1 (r) 8-H2
 (s) 9-H1 (t) 9-H2 (u) 10-H1 (v) 10-H2 (y) 11-H1 (z) 11-H2.

Deprem yer hareketi ivme kayıtlarının ölçeklendirilmesi TBDY 2018 Bölüm 2.5.2’de [1] açıklanan basit ölçeklendirme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İlgili yöntem gereğince izlenen adımlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Yapının iki doğrultudaki doğal titreşim periyotlarından küçük olanı $T_{p,min}$, büyük olanı $T_{p,maks}$ olarak belirlenmektedir.

2. Ölçekleme aralığını belirlemek için $0.20T_{p,min}$ ve $1.50T_{p,maks}$ değerleri hesaplanmaktadır.
3. Üç boyutlu hesap gerçekleştirileceği için her bir deprem yer hareketi ivme kaydının X ve Y yatay bileşenlerine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilmektedir.
4. Değerlendirmeye esas deprem düzeyi için tasarım spektrumu oluşturulmaktadır.
5. Üç boyutlu analiz için seçilen deprem yer hareketi ivme kayıtlarının bileşke spektrumlarının ortalaması, $0.20T_{p,min}$ ile $1.50T_{p,maks}$ arasında değerlendirmeye esas deprem düzeyine ait spektrumun 1.30 katından küçük olmayacak şekilde ölçek faktörleri belirlenmektedir.

Tez çalışması kapsamında değerlendirmeye esas deprem yer hareketi düzeyi DD-1 olarak seçilmiştir. DD-1, DD-2 ve ölçeklemede kullanılacak $1.30 \times DD-1$ için elde edilen tasarım spektrumları Şekil 6.8’de gösterilmektedir.

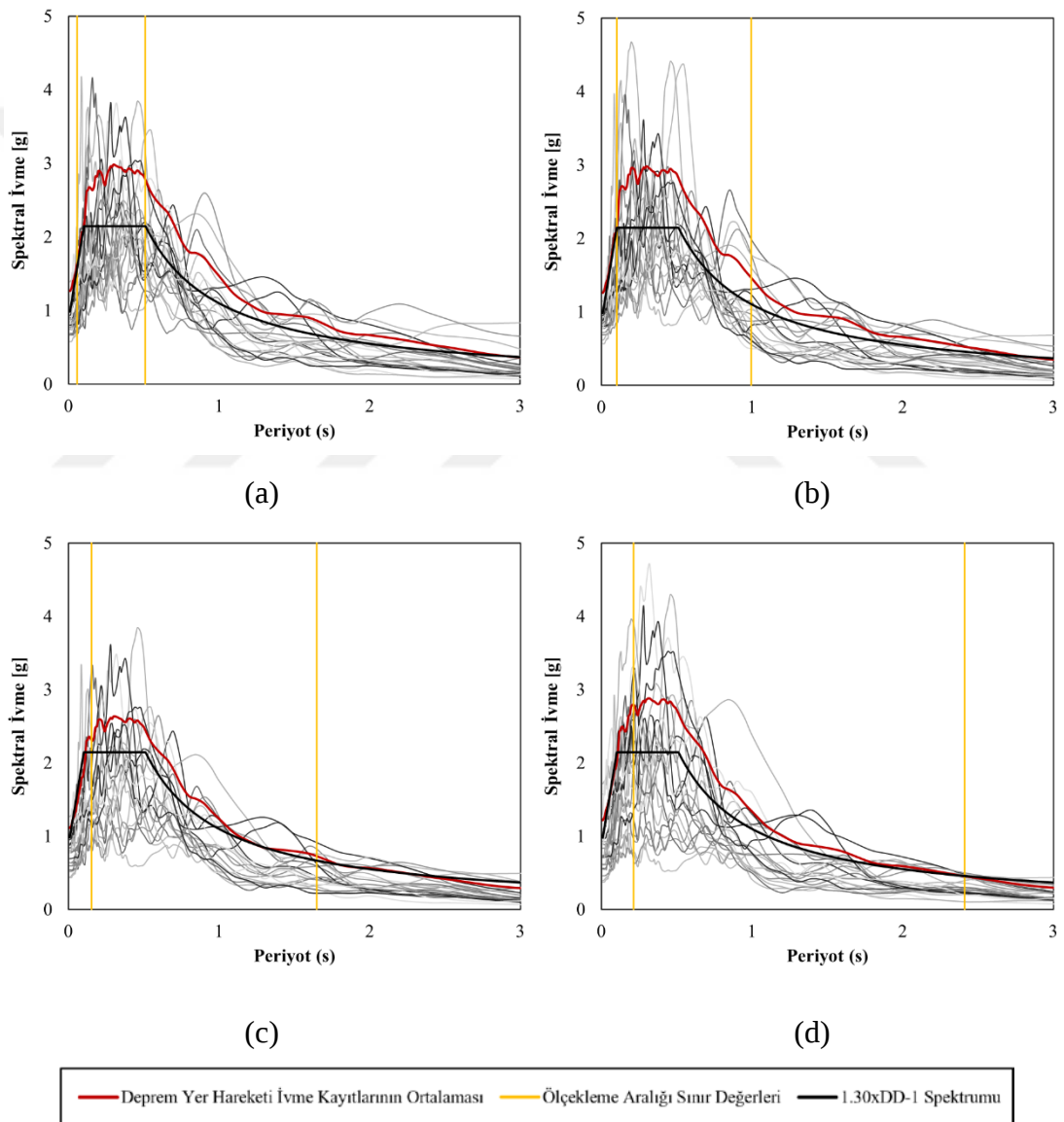


Şekil 6.8 : DD-1, DD-2 ve $1.30 \times DD-1$ için elde edilen tasarım spektrumları.

Açıklanan işlemler gerçekleştirilerek 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılar için deprem yer hareketi ivme kayıtlarına ait ölçek faktörleri belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 6.14’te yer almaktadır.

Çizelge 6.14 : Deprem yer hareketi ivme kayıtlarına ait ölçek faktörleri.

Bina Kat Sayısı	Deprem Yer Hareketi İvme Kayıtlarına Ait Ölçek Faktörleri										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	2.40	1.80	1.80	1.50	1.90	1.70	2.20	2.20	2.20	1.70	2.00
6	2.35	1.70	2.30	1.90	1.90	1.95	2.20	1.80	2.00	1.40	1.90
9	1.80	1.70	1.90	1.20	1.90	1.70	1.90	1.30	2.00	1.55	1.60
12	1.55	1.95	1.95	1.25	2.05	1.90	1.95	1.15	2.55	2.10	1.40

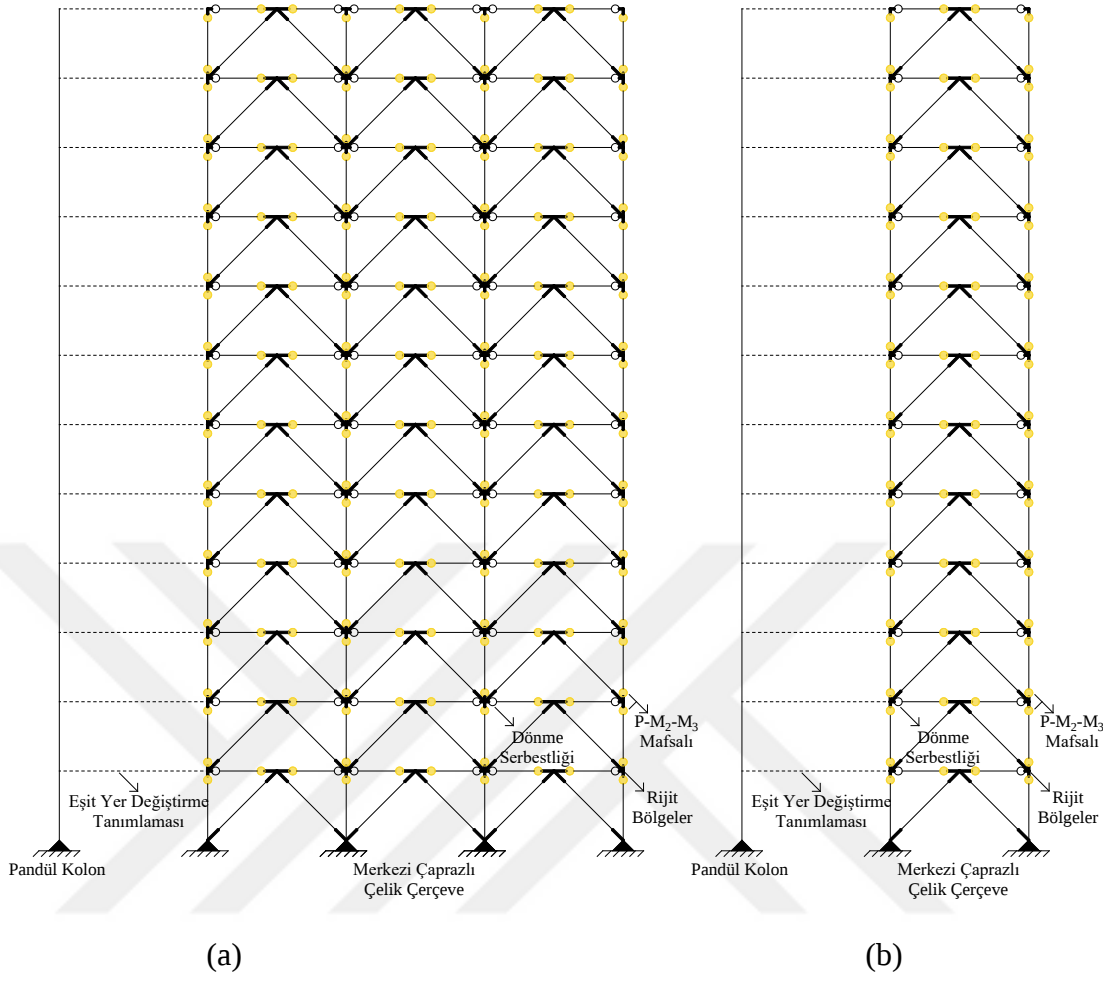


Şekil 6.9 : DD-1 tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilen deprem yer hareketi ivme kayıtlarının spektrum eğrileri ve ortalama spektrum
(a) 3 katlı yapı (b) 6 katlı yapı (c) 9 katlı yapı (d) 12 katlı yapı.

6.3 Yapıların Perform3D Analiz Programında Modellenmesi

Tez çalışması kapsamında yapıların deprem performansının değerlendirilmesi amacıyla Perform3D [15] analiz programında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Bölüm 2.2’de açıklandığı üzere merkezi çaprazlı çelik çerçeveler yapı çevresinde konumlandırılmıştır. Şekil 2.3’te görüldüğü üzere X doğrultusunda 1 ve 4 aksları üzerinde, C-F aksları arasında; Y doğrultusunda A ve H aksları üzerinde, 1-2 ve 3-4 aksları arasında merkezi çaprazlı çelik çerçeve yer almaktadır. X ve Y doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçeveler arasında bir etkileşim bulunmamaktadır. Bu nedenle yapının yapının X ve Y doğrultusu için ayrı model oluşturulmaktadır.

Analiz süresini kısaltmak ve sistemi sadeleştirmek adına X doğrultusu için ardışık üç açıkta konumlandırılmış merkezi çaprazlı çelik çerçeve; Y doğrultusu için bir açıklığa sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeve modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla oluşturulan modellerde X doğrultusu için yapının $\frac{1}{2}$ ’sinde, Y doğrultusu için ise $\frac{1}{4}$ ’ünde meydana gelecek etkiler göz önüne alınmaktadır. Merkezi çaprazlı çelik çerçevelere etkileyen düşey yükler modelde tanımlanmıştır. Sadece düşey etkileri taşıyan çerçeveleri temsil etmek amacıyla modellemeye pandül kolon kullanılmıştır. Tüm kat seviyelerinde pandül kolon ile merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları arasında eşit yer değiştirme sınırlaması uygulanmıştır. Her kat seviyesi için sadece düşey etkileri taşıyan çerçevelerde meydana gelen yükler, pandül kolon üzerine etkilmiştir. Perform3D [15] analiz programında depreme katılan kütle ayrıca tanımlanmaktadır. Bölüm 3.1.6.2’de açıklandığı üzere yapının depreme katılan kütlelerinin belirlenmesinde $G+0.3Q$ yük birleşimi ele alınmaktadır. Dolayısıyla $G+0.3Q$ yük birleşimi altında yapının göz önüne alınan bölümüne ait kat kütleleri, Perform3D [15] analiz programında depreme katılan kütle olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca modelde $P-\Delta$ etkileri hem pandül kolonda hem de merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında dikkate alınmaktadır. Çubuk eleman olarak oluşturulan modellerde elemanların yükseklikleri ve Bölüm 5.7’de tasarlanan birleşimler dolayısıyla oluşacak rijit bölgeler de tanımlanmaktadır. X ve Y doğrultusu için oluşturulan modellere ait temsili gösterim Şekil 6.10’da yer almaktadır.

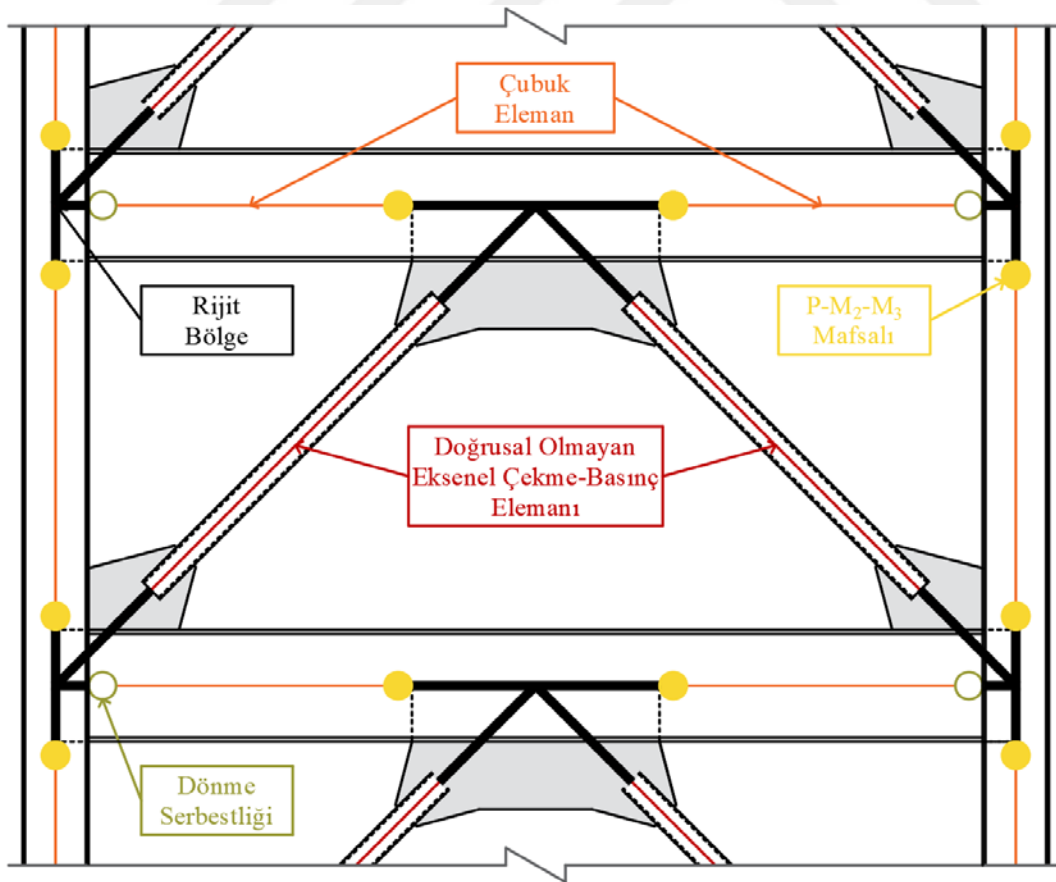


Şekil 6.10 : Perform3D analiz programında oluşturulan modeller

(a) X doğrultusu (b) Y doğrultusu.

Perform3D [15] analiz programında oluşturulan modellerde merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları, doğrusal olmayan aksenal çekme-basınç elemanı (inelastic bar) olarak tanımlanmaktadır. Çapraz elemanlar için Bölüm 6.1.1’de açıklanan işlemler gerçekleştirilerek elde edilen değerler, doğrusal olmayan aksenal çekme-basınç elemanının tanımında kullanılmaktadır. Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolon ve kirişlerinin tanımlamasında ise bileşik eleman (compound) tanımından yararlanılmaktadır. Bileşik eleman tanımı ile birden fazla eleman veya bileşenin birleştirilmesi mümkün olmaktadır. Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolon ve kirişlerinde doğrusal olmayan davranış, yığılı plastisite yaklaşımı ile ele alınmaktadır. Bu nedenle merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolon ve kirişleri için P-M₂-M₃ mafsalı tanımlaması gerçekleştirilmektedir. İlgili elemanlarda bileşik eleman tanımı kullanılarak, enkesiti tanımlanmış çubuk eleman ile P-M₂-M₃ mafsalı

birleştirilmektedir. P-M₂-M₃ mafsalı sadece plastikleşmenin beklendiği noktalarda tanımlanmaktadır. Dolayısıyla merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarının her iki ucunda da P-M₂-M₃ mafsalı tanımı gerçekleştirilmektedir. P-M₂-M₃ mafsalı tanımı gereği sadece plastik davranışı temsil etmektedir. Bu nedenle merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonları için Bölüm 6.1.2’de açıklanan işlemler sonucunda elde edilen dayanım değerleri ile birlikte plastik dönme değerleri P-M₂-M₃ mafsalı tanımında kullanılmaktadır. Tasarımda merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri ile kolon arasında moment aktarmayan birleşim teşkil edilmesi durumu ele alınmaktadır. Bu nedenle merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişleri için oluşturulan bileşik eleman tanımında, kirişin kolon ile birleşen uçlarında iki yönde dönme serbestliği tanımlanmaktadır. Kirişin, kiriş-çapraz birleşim bölgesi dolayısıyla rijit bölge olarak tanımlanan kiriş bölümüne birleşen ucunda ise P-M₂-M₃ tanımlaması gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla kirişler için Bölüm 6.1.3’te açıklanan işlemler sonucunda elde edilen dayanım değerleri ile birlikte plastik dönme değerleri, P-M₂-M₃ mafsalı tanımında kullanılmaktadır. Oluşturulan modelde gerçekleştirilen tanımlamalar Şekil 6.11’de gösterilmektedir.



Şekil 6.11 : Perform3D analiz programında gerçekleştirilen tanımlamalar.

Perform3D [15] analiz programında oluşturulan modellerin SAP2000 [11] yapısal analiz programında tasarlanan yapılar ile aynı davranışı sağladığını doğrulamak adına modal analiz sonuçları kullanılmaktadır. Bu kapsamda Perform3D [15] analiz programında elde edilen modal analiz sonuçları ile SAP2000 [11] yapısal analiz programında yapıların her iki doğrultusu için elde edilen modal analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapılar için gerçekleştirilen modal analiz sonucunda, moda bağlı olarak elde edilen periyot değerleri sırasıyla Çizelge 6.15, Çizelge 6.16, Çizelge 6.17 ve Çizelge 6.18’de yer almaktadır.

Çizelge 6.15 : SAP2000 ve Perform3D programlarında 3 katlı yapı için gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Mod	T _{SAP2000} (s)		T _{Perform3D} (s)	
	X	Y	X	Y
1	0.29	0.34	0.28	0.32
2	0.12	0.13	0.11	0.13
3	0.07	0.08	0.07	0.08

Çizelge 6.16 : SAP2000 ve Perform3D programlarında 6 katlı yapı için gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Mod	T _{SAP2000} (s)		T _{Perform3D} (s)	
	X	Y	X	Y
1	0.52	0.70	0.49	0.63
2	0.19	0.26	0.18	0.22
3	0.12	0.15	0.11	0.13
4	0.09	0.11	0.08	0.10
5	0.07	0.08	0.07	0.08
6	0.06	0.07	0.05	0.06

Çizelge 6.17 : SAP2000 ve Perform3D programlarında 9 katlı yapı için gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Mod	T _{SAP2000} (s)		T _{Perform3D} (s)	
	X	Y	X	Y
1	0.77	1.10	0.73	1.03
2	0.28	0.38	0.27	0.35

Çizelge 6.17 (devam) : SAP2000 ve Perform3D programlarında 9 katlı yapı için gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Mod	T _{SAP2000} (s)		T _{Perform3D} (s)	
	X	Y	X	Y
3	0.16	0.21	0.15	0.20
4	0.12	0.15	0.11	0.14
5	0.09	0.12	0.09	0.11
6	0.08	0.10	0.08	0.09
7	0.07	0.08	0.07	0.08
8	0.06	0.07	0.06	0.07
9	0.05	0.06	0.05	0.06

Çizelge 6.18 : SAP2000 ve Perform3D programlarında 12 katlı yapı için gerçekleştirilen modal analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Mod	T _{SAP2000} (s)		T _{Perform3D} (s)	
	X	Y	X	Y
1	1.07	1.61	1.00	1.50
2	0.38	0.53	0.36	0.49
3	0.21	0.28	0.20	0.26
4	0.15	0.19	0.15	0.18
5	0.12	0.15	0.11	0.14
6	0.10	0.12	0.10	0.12
7	0.09	0.10	0.08	0.10
8	0.08	0.08	0.07	0.09
9	0.07	0.09	0.07	0.08
10	0.06	0.07	0.06	0.07
11	0.06	0.07	0.05	0.06
12	0.05	0.06	0.05	0.05

Çizelgelerde verilen değerlerin yakınsaklığı dolayısıyla Perform3D [15] analiz programında oluşturulan modelin SAP2000 [11] yapısal analiz programında oluşturulan yapı davranışını temsil ettiği söylenebilmektedir.

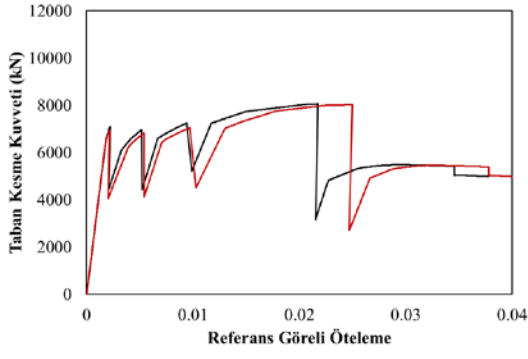
6.4 Doğrusal Olmayan İtme Analizi

Doğrusal olmayan tek modlu itme yöntemlerine yönelik açıklama TBDY 2018 Bölüm 5.6.2’de [1] yer almaktadır. İlgili bölüm gereğince tek modlu itme yöntemlerinin uygulanabilmesi için iki gerek koşul bulunmaktadır. İlk koşul Bölüm 3.1.4’te açıklanan burulma düzensizliği katsayısı ile ilgilidir. Yapının tüm katları için ek dışmerkezlilik uygulanmadan etkililen deprem etkileri altında elde edilen burulma düzensizliği katsayısının 1.40 değerinden küçük olması gerekmektedir. Bölüm 3.1.4’de gerçekleştirilen işlemlerde TBDY 2018 Tablo 3.6 [1] gereğince ek dışmerkezlilik etkisi dikkate alınmaktadır. Fakat belirtilen şekilde elde edilen değerler ile Çizelge 3.6, Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.9’da verilen değerler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Dolayısıyla 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların tüm katları için elde edilen burulma düzensizliği katsayısı gerekli koşulu sağlamaktadır. TBDY 2018 Bölüm 5.6.2’de [1] belirtilen ikinci koşul ise yapının hakim doğal titreşim moduna ait kütle katılım oranının en az 0.70 olma zorunluluğudur. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların X ve Y doğrultuları için elde edilen hakim doğal titreşim moduna ait kütle katılım oranları Çizelge 6.19’da yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapıların gerekli koşulu sağladığı görülmektedir.

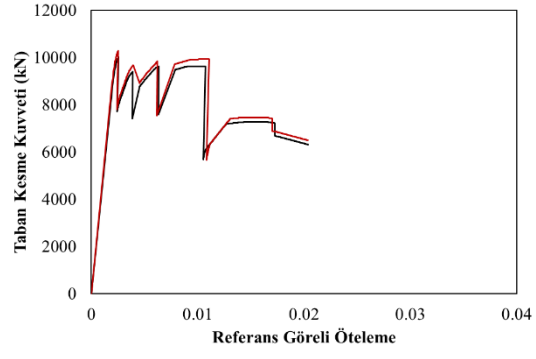
Çizelge 6.19 : Yapıların hakim doğal titreşim moduna ait kütle katılım oranları.

Bina Kat Sayısı	3		6		9		12	
Doğrultu	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Kütle Katılım Oranı	0.88	0.85	0.82	0.77	0.80	0.73	0.77	0.70

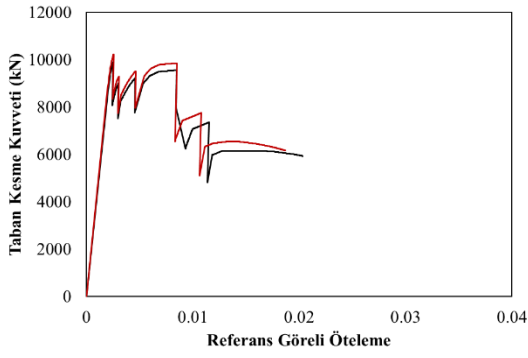
Dolayısıyla doğrusal olmayan tek modlu itme yöntemlerinin uygulanabilmesi için gerekli koşullar sağlanmaktadır. Perform3D [15] yapısal analiz programında oluşturulan modellerde uygulanan itme analizi sonuçları X ve Y doğrultusu için sırasıyla Şekil 6.12 ve Şekil 6.13’te gösterilmektedir. Analizlerde referans görelî öteleme değeri olarak yapıların tepe deplasmanı değeri ele alınmaktadır.



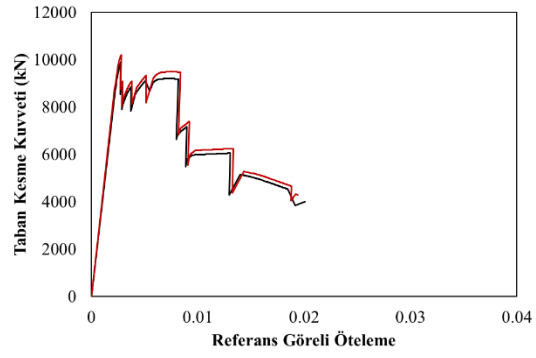
(a)



(b)



(c)

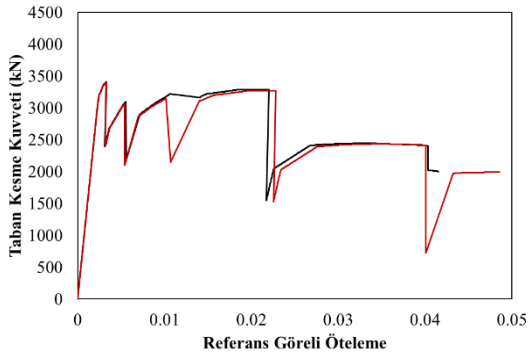


(d)

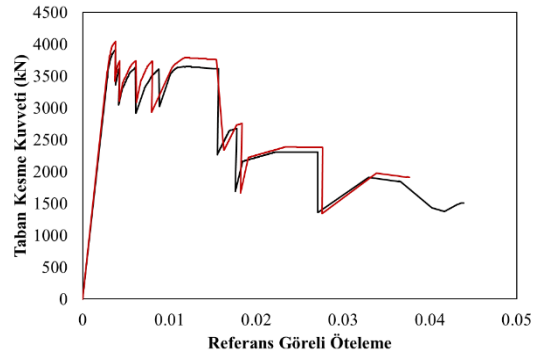


Şekil 6.12 : 12 katlı yapıların X doğrultusu için itme analizi sonuçları

(a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.



(a)

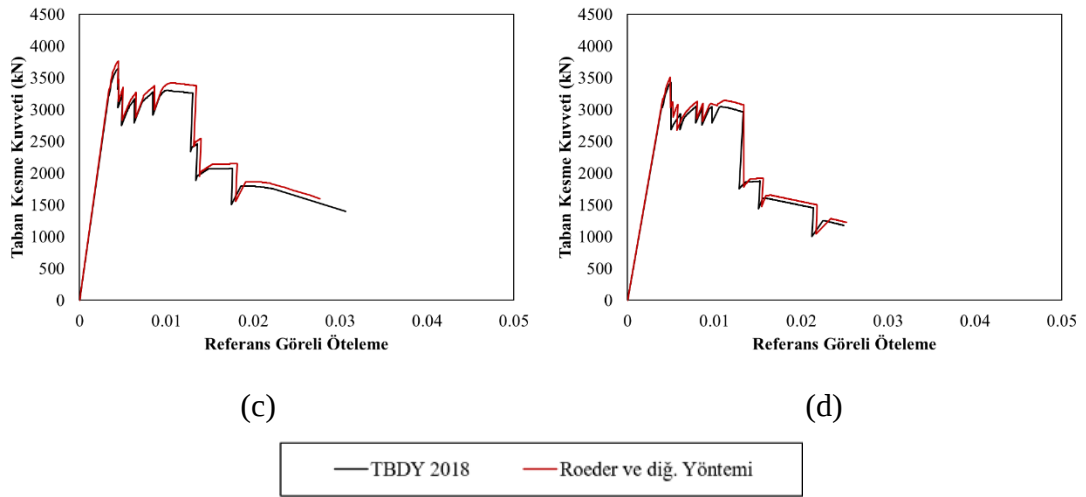


(b)



Şekil 6.13 : 12 katlı yapıların Y doğrultusu için itme analizi sonuçları

(a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.



Şekil 6.13 (devam) : 12 katlı yapıların Y doğrultusu için itme analizi sonuçları
(a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.

Elde edilen sonuçlara doğrultusunda TBDY 2018'e [1] göre tasarlanan yapı ile Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapıların itme analizi sonuçlarının benzer veya neredeyse aynı olduğu görülmektedir.

Bölüm 6.3'te belirtildiği üzere Perform3D [15] analiz programında X doğrultusunda yapının $\frac{1}{2}$ 'sindeki, Y doğrultusunda ise $\frac{1}{4}$ 'ündeki etkiler göz önüne alınmaktadır. Dolayısıyla elde edilen taban kesme kuvveti değerleri X ve Y doğrultuları için yapıya etkiyecek taban kesme kuvveti değerlerinin sırasıyla $\frac{1}{2}$ 'si ve $\frac{1}{4}$ 'ü olmaktadır. Bölüm 3.1.6.3'te açıklandığı üzere TBDY 2018 [1] gereğince tasarlanan yapıların dayanım fazlalığı katsayısı 2 olmaktadır. İtme analizi sonucunda elde edilen değerler kullanılarak, yapıların dayanım fazlalığı katsayısı belirlenmektedir. Dayanım fazlalığı katsayısı, itme analizi sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerinin (V_t^{maks}), yapıların tasarımında ele alınan toplam yatay eşdeğer deprem yükü değerine (V_{tE}) oranını ifade etmektedir. 3, 6, 9 ve 12 katlı yapıların tasarımında ele alınan toplam yatay eşdeğer deprem yükü değerleri sırasıyla Çizelge 3.19, Çizelge 3.20, Çizelge 3.21 ve Çizelge 3.22'de yer almaktadır. Oranlanacak değerlerin uyumlu olması amacıyla itme analizi sonucunda X doğrultusu için elde edilen taban kesme kuvveti değeri 2, Y doğrultusu için elde edilen değer ise 4 ile çarpılmaktadır. Bu değerler Çizelge 6.20'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.20 : İtme analizi sonuçlarına göre yapıların dayanım fazlalığı katsayıları.

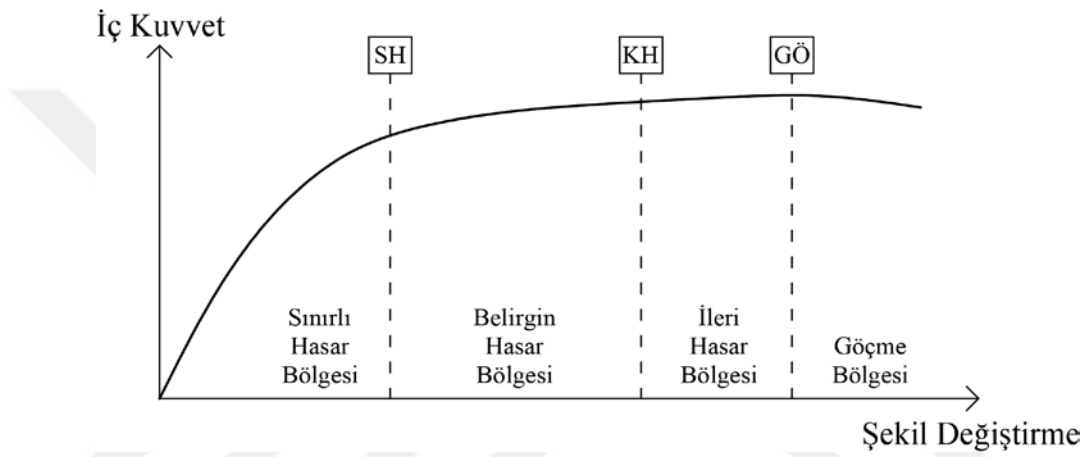
Bina Kat Sayısı	Doğrultu	V_{tE} (kN)	TBDY 2018		Roeder ve diğ.	
			V_t^{maks} (kN)	D	V_t^{maks} (kN)	D
3	X	5687.87	16122.64	2.83	16046.30	2.82
	Y	5269.22	13644.81	2.59	13599.65	2.58
6	X	8643.19	20023.32	2.32	20588.06	2.38
	Y	6726.83	15664.90	2.33	16165.30	2.40
9	X	8769.94	19803.71	2.26	20455.46	2.33
	Y	6176.46	14584.23	2.36	15051.50	2.44
12	X	8559.26	19810.38	2.31	20411.98	2.38
	Y	5695.53	13717.13	2.41	14025.83	2.46

TBDY 2018'e [1] göre tasarlanan yapılar için elde edilen dayanım fazlalığı katsayısının, TBDY 2018'de [1] belirtilen 2 değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan 3 katlı yapı için elde edilen sonuçlar, TBDY 2018'e göre tasarlanan yapının sonuçlarına oldukça yakın iken 6, 9 ve 12 katlı yapılar için üzerinde olmaktadır.

6.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Tasarlanan yapıların deprem yer hareketi düzeyi DD-1 olan deprem etkisi altında yapısal performansları, TBDY 2018 Bölüm 5.7'de [1] açıklanan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak değerlendirilmektedir. İlgili bölüm gereğince analiz için en az 11 deprem yer hareketi ivme kaydının seçilmesi ve ölçeklenmesi gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında 11 deprem yer hareketi ivme kaydı seçilmiş ve DD-1 deprem düzeyine ait tasarım spektrumuna göre ölçeklenmesi gerçekleştirilmiştir. Belirtilen işleme ait detaylar Bölüm 6.2'de ele alınmaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde seçilen deprem yer hareketinin iki doğrultudaki ivme kayıtları, yapının X ve Y doğrultularına aynı anda etkitilmektedir. Sonrasında ise deprem yer hareketi ivme kayıtlarının etkitildiği yapı doğrultuları kendi aralarında değiştirilmektedir. Diğer bir ifadeyle deprem yer hareketi ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek yapıya tekrar etkitilmektedir. Sonuç olarak 11 deprem yer hareketi ivme kaydı kullanılarak yapının her iki doğrultusu için 22 analiz gerçekleştirilmektedir. Bu analizler sonucunda her bir elemanda, tüm analizler için

ayrı ayrı olmak üzere meydana gelen en büyük iç kuvvet talebi ve şekil değiştirmeler belirlenmektedir. Elde edilen iç kuvvet talebi ve şekil değiştirme değerlerinin ortalaması alınmaktadır. Bu değerler deprem yer hareketi ivme kayıtlarının ölçeklenmesinde ele alınan DD-1 deprem düzeyinin meydana gelmesi durumunda yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet taleplerini ve meydana gelecek şekil değiştirmeleri göstermektedir. Ortalama iç kuvvet talebine bağlı olarak Bölüm 6.1’de açıklanan şekil değiştirme sınırları hesaplanmaktadır. Şekil değiştirme sınırlarına bağlı olarak TBDY 2018 Bölüm 15.3’te [1] açıklanan kesit hasar bölgeleri belirlenmektedir. İlgili bölüm gereğince kesit hasar bölgeleri Şekil 6.14’teki gibi olmaktadır.

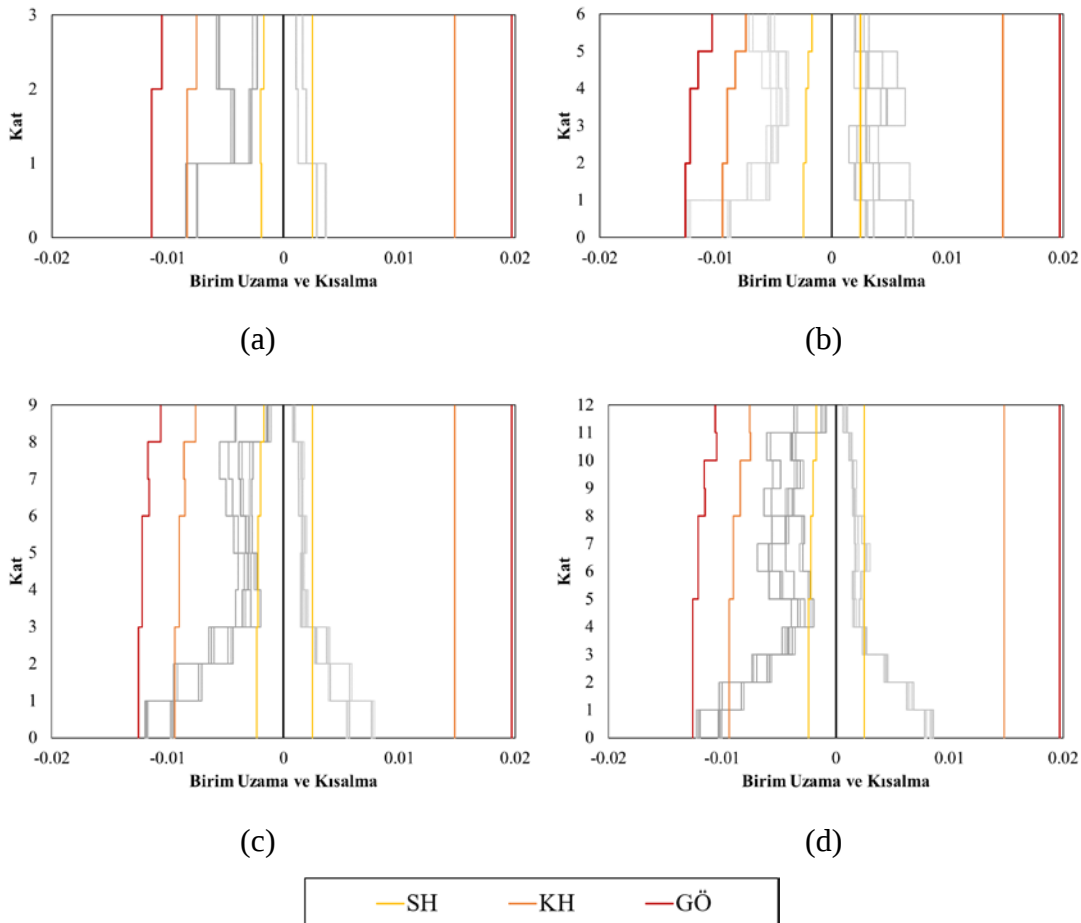


Şekil 6.14 : Kesit hasar bölgeleri.

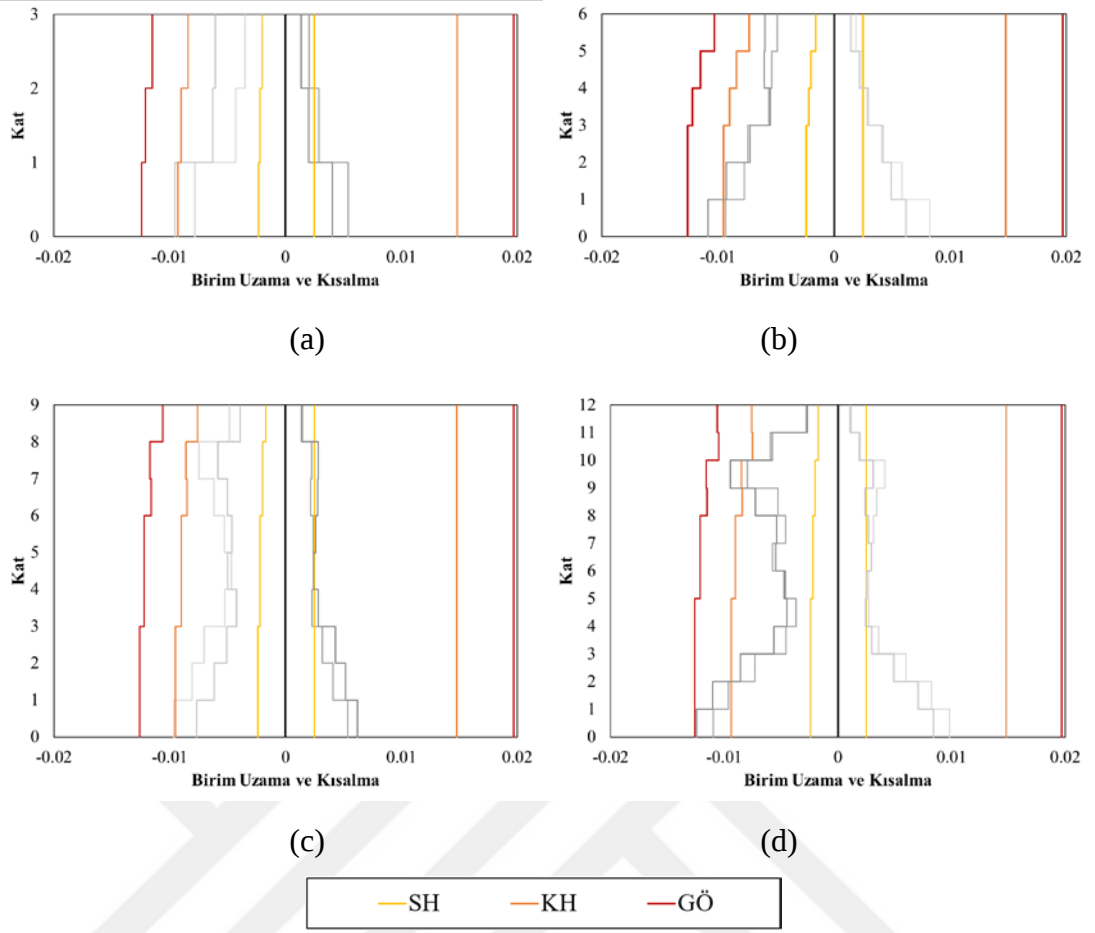
Oluşturulan modellerde kullanılan tanımlar gereğince tez çalışması kapsamında çapraz elemanlarda ortalama toplam şekil değiştirme; kolon ve kirişlerde ise plastik şekil değiştirme değerleri ele alınarak davranış modelleri oluşturulmuştur. Bu nedenle çapraz elemanların hasar bölgeleri belirlenirken ortalama toplam şekil değiştirme değerleri ile toplam şekil değiştirme sınırları; kolon ve kirişler için ise ortalama plastik şekil değiştirme değerleri ile plastik şekil değiştirme sınırları ele alınmaktadır. Değerlendirmenin yapılabilmesi için öncelikle elemanlara ait şekil değiştirme sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bölüm 6.1.1’de görüldüğü üzere çapraz elemanların şekil değiştirme sınırları, elemanda oluşan iç kuvvet talebinden bağımsızdır. Çapraz elemanlar için şekil değiştirme sınırları Bölüm 6.1.1 gereğince elde edilmektedir. Kolon ve kirişler için ise Bölüm 6.1.2’de görüldüğü üzere şekil değiştirme sınırlarının belirlenmesi için elemanda oluşacak eksenel basınç kuvveti değeri gerekmektedir. İlgili elemanlar için plastik şekil değiştirme sınırları, 22 analiz

sonucunda elde edilen ortalama aksenal basınç kuvveti değerleri kullanılarak detayları Bölüm 6.1.2’de açıklandığı şekilde belirlenmektedir.

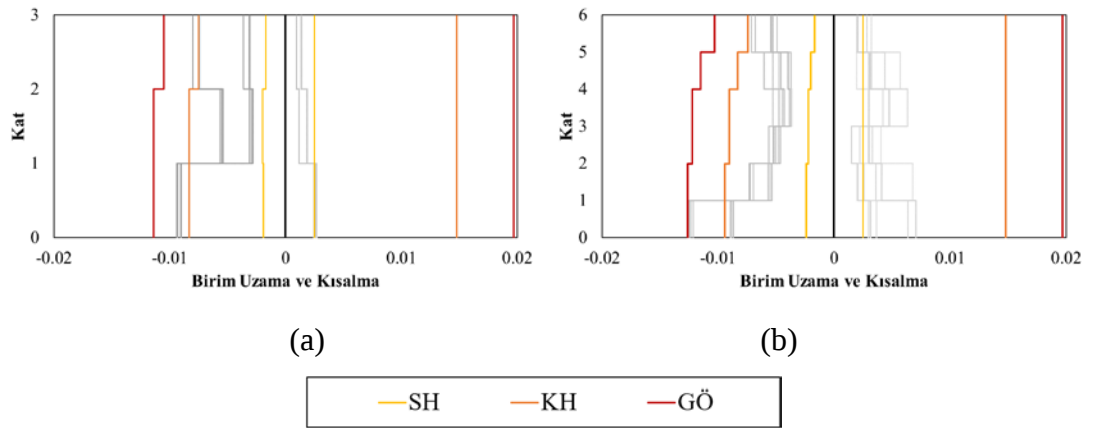
Çapraz elemanlar için ortalama toplam şekil değiştirme ve toplam şekil değiştirme sınırları; kolon ve kirişler için ise ortalama plastik şekil değiştirme ve plastik şekil değiştirme sınırları ele alınarak elemanların hasar bölgesi belirlenmektedir. TBDY 2018’e [1] göre tasarlanan yapıların X ve Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları için elde edilen sonuçlar görsel olarak sırasıyla Şekil 6.15 ve Şekil 6.16’da gösterilmektedir. Şekillerde yer alan gri çizgiler çapraz elemanların ortalama uzama ve kısalma değerlerini göstermektedir. Düşeyde aynı hizada bulunan çapraz elemanlara ait değerler birbirine bağlanmıştır. Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapıların X ve Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazları için elde edilen sonuçlar ise sırasıyla Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’de yer almaktadır.



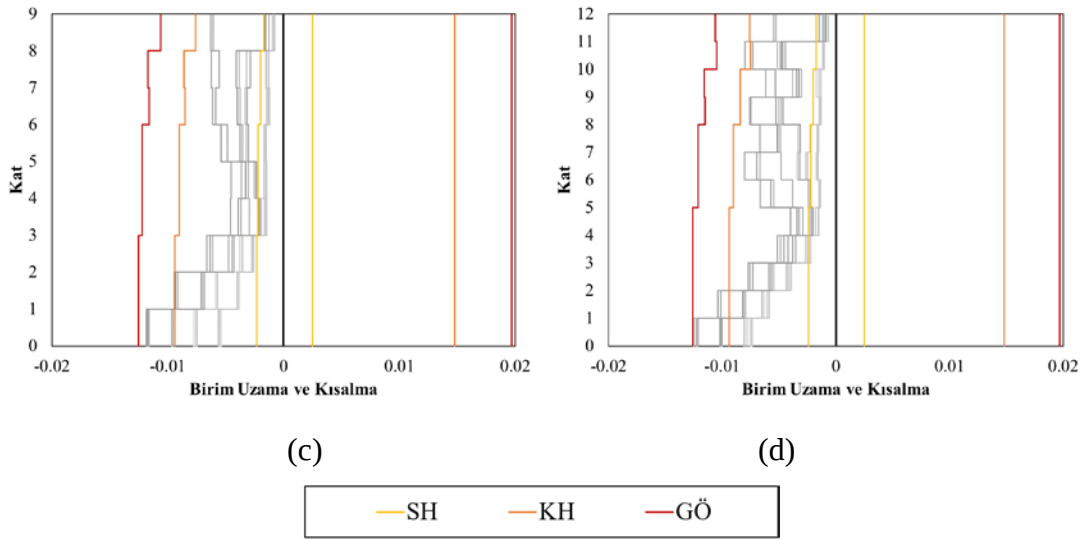
Şekil 6.15 : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda TBDY 2018’e göre tasarlanan yapıların X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar düzeyi (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.



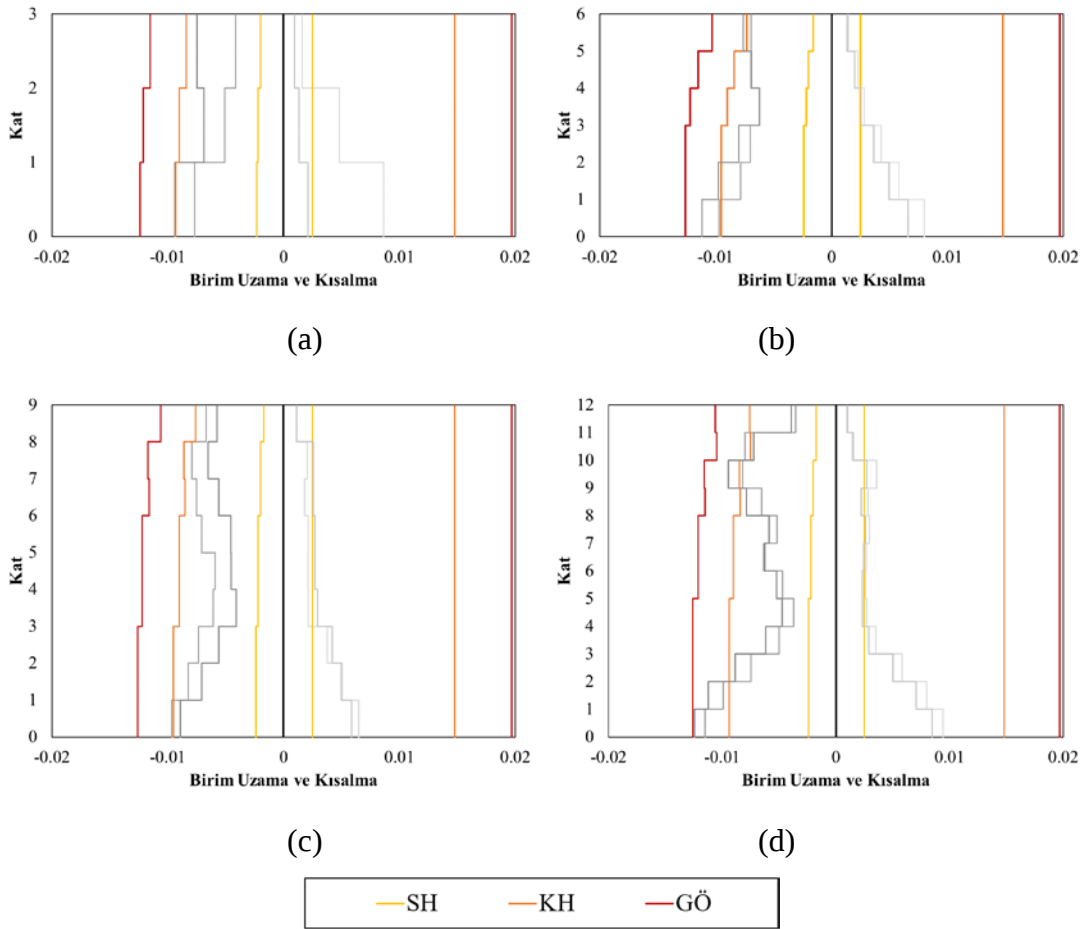
Şekil 6.16 : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda TBDY 2018'e göre tasarlanan yapıların Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar düzeyi (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.



Şekil 6.17 : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda Roeder ve diğ. yöntemine göre tasarlanan yapıların X doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar düzeyi (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.



Şekil 6.17 (devam) : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda Roeder ve diğ. yöntemine göre tasarlanan yapıların Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar düzeyi (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.



Şekil 6.18 : Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda Roeder ve diğ. yöntemine göre tasarlanan yapıların Y doğrultusu merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarının hasar düzeyi (a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.

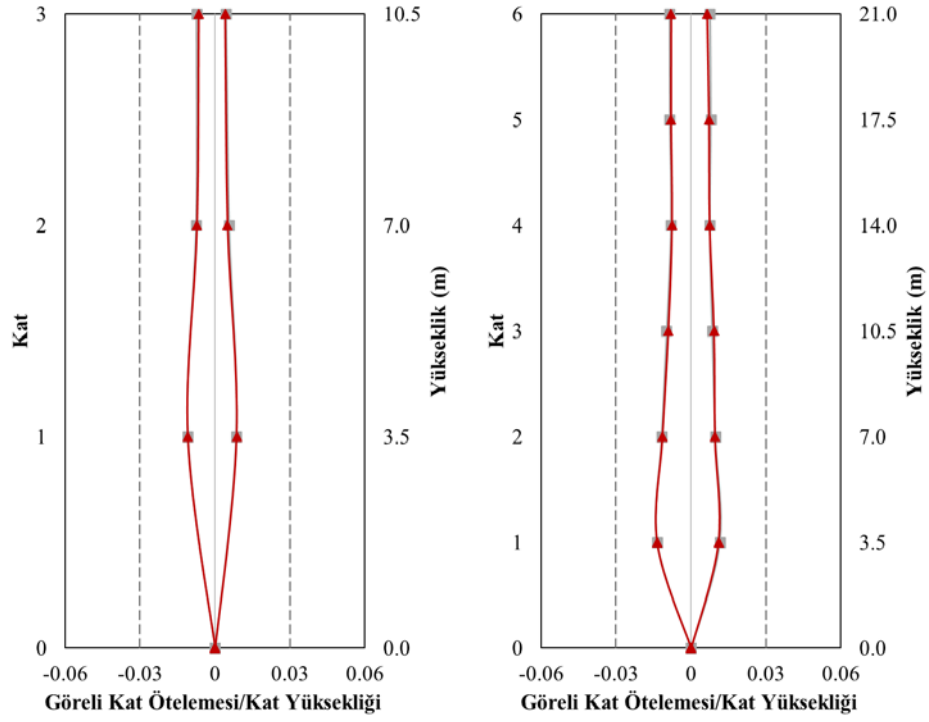
Şekil 6.15 ve Şekil 6.16’da görüldüğü üzere, TBDY 2018’e [1] göre tasarlanan yapıların deprem yer hareketi düzeyi DD-1 etkisi altında, merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarında meydana gelen ortalama birim uzama ve kısalma değerlerinden hiçbirisi göçme öncesi sınırını geçmemektedir. Dolayısıyla belirtilen elemanlarda meydana gelen ortalama şekil değiştirmelerden hiçbirisi göçme bölgesinde bulunmamaktadır. Analizler sonucunda merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolon ve kirişleri için elde edilen ortalama plastik dönme değerleri yaklaşık sıfır mertebesinde olmaktadır. Diğer bir ifadeyle TBDY 2018’e [1] göre tasarlanan yapıların deprem yer hareketi düzeyi DD-1 etkisi altında, merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolon ve kirişlerinde eğilme etkisinde akma meydana gelmemektedir. Sonuç olarak TBDY 2018’e [1] göre deprem yer hareketi düzeyi DD-2’ye göre tasarlanan merkezi çaprazlı çelik çerçeveli yapıların tamamı, deprem yer hareketi düzeyi DD-1 etkisi altında TBDY 2018 Bölüm 15.8.5’te [1] açıklanan göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlamaktadır.

Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’de görüldüğü üzere, Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapıların merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarında meydana gelen ortalama birim uzama ve kısalma değerleri de göçme öncesi sınırını geçmemektedir. Belirtilen değerler bazı elemanlar için TBDY 2018’e [1] göre tasarlanan yapılar için elde edilen sonuçlardan büyük olurken, bazılarında da daha küçük olmaktadır. Merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolonlarında meydana gelen durum da TBDY 2018’e [1] göre tasarlanan yapılar için elde edilen sonuçlara benzerdir. Hiçbir kolonda ortalama eğilme momenti talebi, elemanın beklenen (olası) eğilme dayanımına ulaşmamaktadır. Dolayısıyla ilgili elemanlarda ortalama plastik dönme değerleri sıfır mertebesinde olmaktadır. Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarımda merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinin akması amacıyla tasarım gerçekleştirilmekteydi. Analiz sonuçlarında ilgili elemanlarda meydana gelen eğilme momenti talebinin, elemanın beklenen (olası) eğilme dayanımına yaklaştığı fakat aşmadığı görülmektedir. Dolayısıyla Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde de ortalama plastik dönme değerleri sıfır mertebesinde olmaktadır. Tüm elemanlar açısından değerlendirme gerçekleştirildiğinde, Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapıların da TBDY 2018 Bölüm 15.8.5’te [1] açıklanan göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağladığı görülmektedir. Sonuç olarak Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapılardan beklendiği üzere merkezi

çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde akma gözlemlenmemesine rağmen yapılar, TBDY 2018'e [1] göre tasarlanan yapılar ile aynı performans düzeyini sağlamaktadır.

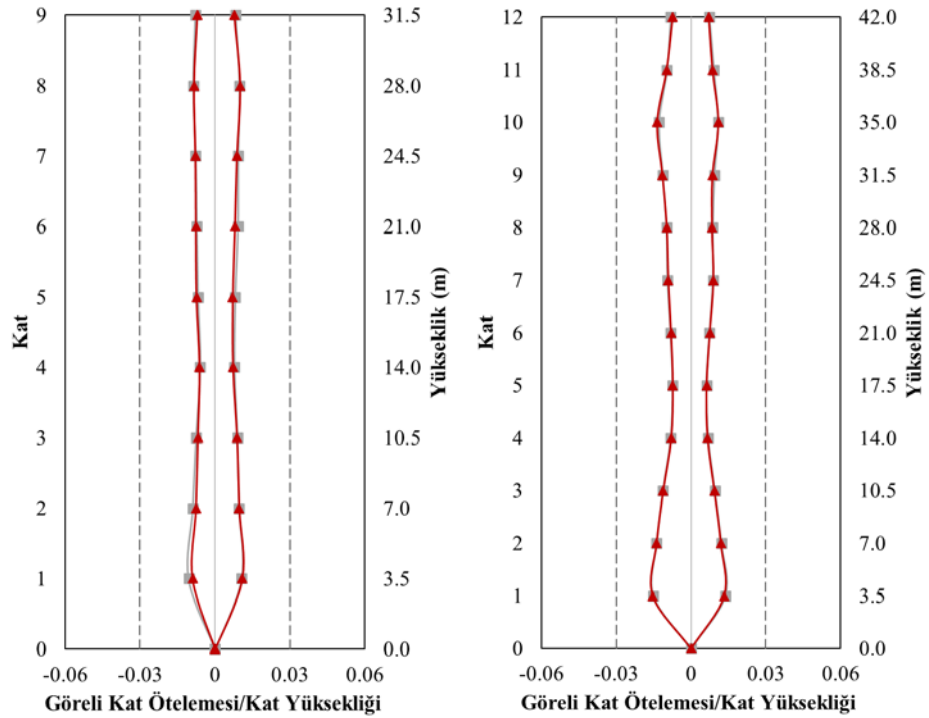
TBDY 2018 Bölüm 13.6.5 [1] gereğince bina yükseklik sınıfı 1 olan ve yüksek bina olarak adlandırılan yapıların tasarımında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda yapının görelî kat ötelemesi oranı üzerinden performans değerlendirmesi gerçekleştirilmektedir. İlgili değerlendirme gereğince zaman tanım alanında analiz sonucunda yapının tüm katlarında uygulanan deprem yer ivme hareketi kayıtları için elde edilen görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine oranı kullanılmaktadır. Yapının bütün katları için ayrı ayrı olmak üzere, uygulanan deprem yer hareketi ivme kayıtları sonucunda katta meydana gelen görelî kat ötelemesi oranlarının ortalaması alınmaktadır. Her kat için elde edilen ortalama görelî kat ötelemesi oranının 0.03 değerini aşmaması gerekmektedir.

Tez çalışması kapsamında 11 deprem kaydı kullanıldığı için gerçekleştirilen 22 analiz sonucunda yapıların katlarında meydana gelen görelî kat ötelemesi oranları belirlenmiş ve ortalaması alınmıştır. TBDY 2018'e [1] ve Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapıların X ve Y doğrultusu için elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'da yer almaktadır. Şekillerde sadece 22 analiz sonucunda elde edilen ortalama görelî kat ötelemesi oranları gösterilmektedir. Şekillerde yer alan kırmızı çizgi ve üçgen sembolü TBDY 2018'e [1] göre; gri çizgi ve kare sembolü ise Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapılar için elde edilen sonuçları belirtmektedir. TBDY 2018 Bölüm 13.6.5'te [1] ortalama görelî kat ötelemesi değeri için belirtilen 0.03 sınırı ise kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Bütün yapılarda ortalama görelî kat ötelemesi oranı 0.03 değerinin oldukça altında kalmaktadır. Dolayısıyla gerek TBDY 2018'e [1] göre gerekse de Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapılar, TBDY 2018 Bölüm 13.6.5'te [1] belirtilen koşulu sağlamaktadır. Ayrıca Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapılar için elde edilen sonuçların, TBDY 2018'e [1] göre tasarlanan yapılar için elde edilen sonuçlara oldukça benzer olduğu görülmektedir.



(a)

(b)

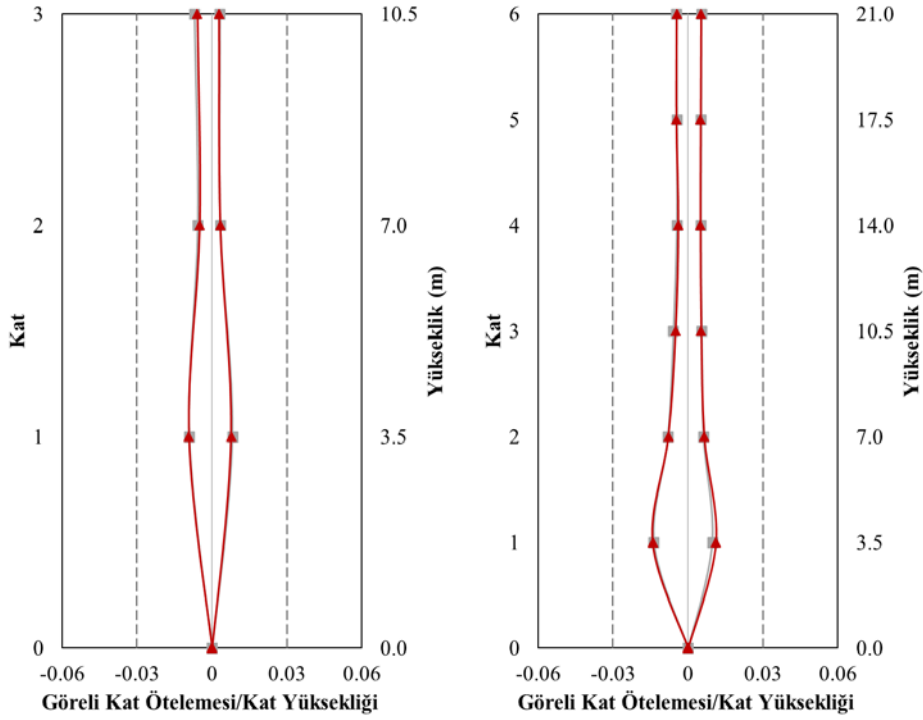


(c)

(d)

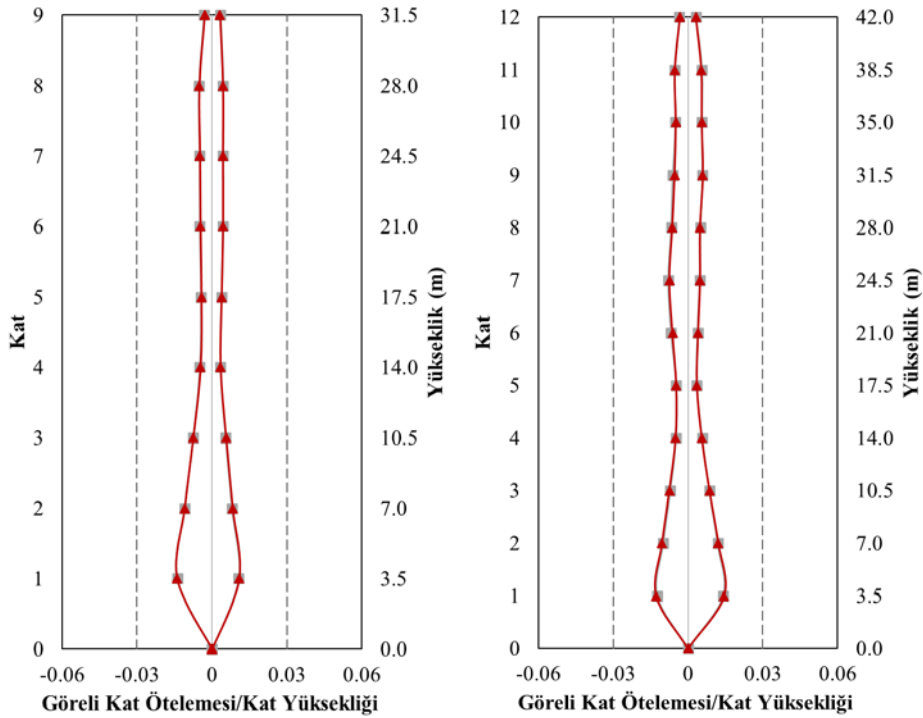
—■— Roeder ve diğ. Yöntemi —▲— TBDY 2018

Şekil 6.19 : Yapıların X doğrultusu için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen ortalama görel kat ötelemesi oranları
(a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.



(a)

(b)



(c)

(d)

—■— Roeder ve diğ. Yöntemi —▲— TBDY 2018

Şekil 6.20 : Yapıların Y doğrultusu için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen ortalama görel kat ötelemesi oranları

(a) 3 katlı (b) 6 katlı (c) 9 katlı (d) 12 katlı.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında 3, 6, 9 ve 12 katlı olmak üzere dört farklı yapı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılar iki doğrultuda da yatay deprem etkilerini süneklik düzeyi yüksek ters V düzenine sahip merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistem ile karşılamaktadır. TBDY 2018 [1] gereğince belirtilen sistemler en fazla 42m yükseklikteki binalarda kullanılabilmektedir. Çalışmada belirtilen çerçeve sistem kirişleri TBDY 2018'e [1] ve kirişte akmanın izin verilmesi durumunun ele alındığı Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında TBDY 2018'e [1] ve Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapıların deprem performansı değerlendirilmiş, birbiriyle kıyaslanmıştır. Değerlendirme amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve gelecek çalışmalar için öneriler bu bölümde yer almaktadır.

7.1 Sonuçlar

TBDY 2018 [1] çerçevesinde deprem yer hareketi düzeyi DD-2'ye göre tasarlanan yapıların, deprem yer hareketi düzeyi DD-1 etkisi altında performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Yapıların merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistem çaprazlarında meydana gelen ortalama plastik şekil değiştirme değerleri, sınırlı hasar veya kontrollü hasar bölgesinde kalmaktadır. Hiçbir çapraz elemandaki hasar düzeyi, göçme bölgesine geçmemektedir. Bununla birlikte merkezi çaprazlı çelik çerçeve kolon ve kirişlerinde meydana gelen ortalama plastik şekil değiştirme değerleri sıfır mertebesinde olmakta; ilgili elemanlar elastik bölgede kalmaktadır. Çalışma kapsamında TBDY 2018 [1] gereğince maksimum 42m yüksekliğe sahip binalarda kullanılması izin verilen sistem kullanılarak tasarlanan 10.5, 21, 31.4 ve 42m yüksekliğe sahip yapıların performans değerlendirilmesi gerçekleştirilerek, TBDY 2018 [1] çerçevesinde tasarlanabilecek yapıların göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağladığı belirlenmektedir. Bununla birlikte TBDY 2018 [1] gereğince yüksek binaların tasarımı için belirtilen, zaman tanım alanında analiz sonucunda elde

edilen ortalama görelî kat ötelemelerinin 0.03 değeriinden küçük olması koşulu da sağlanmaktadır.

TBDY 2018'e [1] göre tasarım ile Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarımda elde edilen gerekli kiriş enkesitleri, mekanizma durumları gereğince çaprazların KL/i oranıyla bağlantılı olmaktadır. Çaprazların sistem uzunluğunun 0.70'i alınarak elde edilen KL/i oranları, Bölüm 5.3.1.1 ve 5.3.2.1'de verilmektedir. İlgili bölümlerde görüldüğü üzere çapraz elemanların KL/i oranı 50 ile 80 arasında değişmektedir. Bu değerin 40 olması durumunda çaprazın beklenen (olası) eksenel çekme dayanımı ile beklenen (olası) eksenel basınç dayanımı eşit olmaktadır. KL/i oranının 40-50 aralığında olması durumunda TBDY 2018'e [1] ve Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre elde edilen gerekli kiriş enkesiti aynı olmaktadır. Bu nedenle KL/i değeriinin 40-60 aralığında olması durumunda Roeder ve diğ. [3] yönteminin etkili bir şekilde kullanılamamaktadır. Gerçekleştirilen tasarımlarda Roeder ve diğ. [3] yöntemikullanılarak TBDY 2018'e [1] göre tasarım sonucunda gereken kiriş enkesitinden en az 1, en fazla 3 alt enkesit kullanılması mümkün olmaktadır.

Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarımda merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde akmaya izin verilmesi durumu amaçlandığı için TBDY 2018'e [1] göre gerekli kiriş enkesitinden daha küçük enkesit kullanılmaktadır. Dolayısıyla kiriş rijitliği azalmakta ve çaprazların birleştiği düğüm noktasında meydana gelen yatay deformasyonlar artmaktadır. Bu durum eksenel basınç etkisi altındaki çapraz elemanların daha erken beklenen (olası) dayanımına ulaşmasına ve elemanlardaki plastik şekil değiştirmelerin artmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde oluşması beklenen akma durumu gözlemlenmemiştir. Bu durum çapraz elemanların KL/i oranları dolayısıyla meydana gelmektedir. Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapılarda merkezi çaprazlı çelik çerçeve kirişlerinde meydana gelen eğilme momenti talebi, kirişin beklenen (olası) eğilme momenti dayanımına yaklaşmakta fakat geçmemektedir. Dolayısıyla ilgili elemanlarda plastik dönme meydana gelmemektedir. Fakat belirtilen tüm durumlar yapıların performansında gözle görülür bir değişikliğe neden olmamaktadır. Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapılarda da TBDY 2018'e [1] göre tasarlanan yapılarda olduğu gibi zaman tanım alanında analiz sonucunda merkezi çaprazlı çelik çerçeve çaprazlarında meydana gelen ortalama plastik şekil değiştirme değeriileri göçme bölgesine geçmemekte; kolon ve kirişlerde ortalama plastik şekil

değiştirme değerleri ise sıfır mertebesinde olmaktadır. Dolayısıyla göçmenin önlenmesi performans düzeyi sağlanmaktadır. Bununla birlikte yüksek binalar için belirtilen, zaman tanım alanında analiz sonucunda elde edilen ortalama görelî kat ötelemesi oranlarının 0.03 değerinden küçük olması koşulu da sağlanmaktadır.

Tasarlanan yapılarda doğrusal olmayan itme analizi uygulanmış ve yapılar için dayanım fazlalığı katsayıları belirlenmiştir. TBDY 2018’de [1] süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerin dayanım fazlalığı katsayısı 2 olarak verilmektedir. TBDY 2018’e [1] ve Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapılar için elde edilen doğrusal olmayan itme analizi sonuçları yaklaşık olarak aynı olmaktadır. TBDY 2018’e göre tasarlanan yapılar için elde edilen dayanım fazlalığı katsayısı 2.31 ile 2.83 arasında; Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapılar için 2.33 ile 2.82 arasında yapıların dayanım fazlalığı katsayısı 2.31 ile 2.83 arasında değişmektedir. Sonuçlar karşılıklı olarak kıyaslandığında, Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapılar için elde edilen dayanım fazlalığı katsayılarının, TBDY 2018’e [1] göre tasarlanan yapılar için elde edilen değerlere yaklaşık olarak eşit veya daha büyük olduğu görülmektedir. Sonuç olarak tüm yapılar için elde edilen değerler, TBDY 2018’de [1] belirtilen değer üzerinde olmaktadır.

Roeder ve diğ. [3] yöntemi kullanılarak kiriş enkesitinin düşürülmesi dolayısıyla yapının her iki doğrultusundaki merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin toplam ağırlığı açısından %2 ile %3 aralığında bir düşüş meydana gelmektedir. Bu durum yapıya etkiyecek yatay etkileri önemsenmeyecek mertebede değiştirse de daha ekonomik bir tasarım gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

7.2 Öneriler

Çalışma sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda gelecek çalışmalarda incelenebilecek konular aşağıda belirtilmektedir:

- TBDY 2018 [1] çerçevesinde gerçekleştirilen farklı merkezi çaprazlı çelik çerçeve düzenlerine sahip yapıların deprem etkisi altında performanslarının belirlenmesi ve kıyaslanması,
- TBDY 2018 [1] çerçevesinde tasarlanan merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin birbirinden bağımsız ve ardışık açıklıklarda yerleştirilmesi durumunda,

elemanlarda meydana gelen etkilerin ve çerçevelerin deprem etkisi altındaki performanslarının incelenmesi,

- TBDY 2018'e [1] ve Roeder ve diğ. [3] yöntemine göre tasarlanan yapıların, gerçekte meydana gelen ve deprem yer hareketi düzeyi DD-1 seviyesinde olan bir deprem etkisinde performansının değerlendirilmesi,
- Roeder ve diğ. [3] yönteminin kullanılması sonucunda merkezi çaprazlı çelik çerçeve birleşimlerinde meydana gelecek etkilerin incelenmesi.



KAYNAKLAR

- [1] **TBDY** (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [2] **C.W. Roeder, A.D. Sen, D. Terpstra, S.M. Ibarra, R. Liu, D.E. Lehman & J.W. Berman** (2019). Effect of beam yielding on chevron braced frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 159, 428-441. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.04.044>.
- [3] **C.W. Roeder, A.D. Sen, H. Asada, S.M. Ibarra, D.E. Lehman, J.W. Berman, K.-C. Tsai, C. Y. Tsai, A.-C. Wu, K.-J. Wang & R. Liu** (2019). Inelastic behavior and seismic design of multi-story chevron-braced frames with yielding beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 105817. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.105817>.
- [4] **H. Asada, A.D. Sen, T. Li, J.W. Berman, D.E. Lehman & C.W. Roeder** (2020). Seismic performance of chevron-configured special concentrically braced frames with yielding beams. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 49 (15),1619-1639. Doi: <https://doi.org/10.1002/eqe.3320>.
- [5] **Q. Tan, D.E. Lehman, C.W. Roeder, J.W. Berman, A.D. Sen & B. Wu** (2021). Design-parameter study on seismic performance of chevron-configured SCBFs with yielding beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 179, 106561. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106561>.
- [6] **ÇYTHYE** (2018). Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [7] **Almetsan**. Aldeck 50/980. https://www.almetsan.com/en/tr/urunler/aldeck/50.980_tablo.pdf [erişim tarihi 20 Eylül 2023].
- [8] **TS500** (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Türkiye.
- [9] **TS498** (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Türkiye.
- [10] **TS EN 1991-1-3** (2007). Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-3: Genel Etkiler-Kar Yükleri (Eurocode 1). Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Türkiye.
- [11] **SAP2000** (2009). Version 21.1.0. Integrated software for structural analysis and design. Berkeley, CA: Computer and Structures Inc.
- [12] **AFAD** (2022). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. <https://tdth.afad.gov.tr> [erişim tarihi 24 Ekim 2023].

- [13] **TS EN 1991-1-4** (2007). Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-4: Genel Etkiler-Rüzgar Yükleri (Eurocode 1). Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, Türkiye.
- [14] **ASCE/SEI 41-17** (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. *American Society of Civil Engineers*, Reston, VA.
- [15] **Perform3D** (2006). Version 8.1.0. Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures. Berkeley, CA: Computer and Structures Inc.
- [16] **FEMA P-2006** (2018). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [17] **Steel Design Guide 29** (2014). Vertical Bracing Connections—Analysis and Design. *American Institute of Steel Construction*, Chicago, IL.
- [19] **PEER NGA Database** (2013). The PEER ground-motion selection web application. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, USA. <http://ngawest2.berkeley.edu/>.
- [18] **B. Dowswell** (2006). Effective length factors for gusset plate buckling. *Engineering Journal*, 43 (2), 91-102. Doi: <https://doi.org/10.62913/engj.v43i2.877>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ahmet Alperen ÖRGEV

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2022-2024 Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi
- 2024-(Devam Ediyor) İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Uluslararası Bildiriler

- **Örgev, A. A.**, Selamet, S., & Vatansever, C. (2023). Seismic Performance of Multistory Chevron-braced Steel Structures with Yielding Beams. *ce/papers*, 6(3-4), 2238-2243. Doi: <https://doi.org/10.1002/cepa.2395>
- **Örgev, A. A.** & Vatansever, C. (2024). Seismic Performance Assessment of Multi-story Chevron Steel Braced Frames by Allowing Beams to Yield. *International Graduate Research Symposium*, Türkiye: Istanbul Technical University, September 8-10.