

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DÜZENLİ BETONARME ÇERÇEVELERLE TEŞKİL EDİLEN YAPILARDA
DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİNİN HESAPLARA DAHİL EDİLMESİ
YÖNTEMİNİN YAPISAL TASARIMA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut ARKUN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DÜZENLİ BETONARME ÇERÇEVELERLE TEŞKİL EDİLEN YAPILARDA
DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİNİN HESAPLARA DAHİL EDİLMESİ
YÖNTEMİNİN YAPISAL TASARIMA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Aykut ARKUN
(501191075)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Medine İSPİR ARSLAN

AĞUSTOS 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**EFFECT OF INCLUSION OF VERTICAL EARTHQUAKE COMPONENT
IN THE STRUCTURAL DESIGN OF REGULAR REINFORCED
CONCRETE FRAME BUILDINGS**



M.Sc. THESIS

**Aykut ARKUN
(501191075)**

Department of Civil Engineering

Structure Engineering Programme

Thesis Advisor: Doç. Dr. Medine İSPİR ARSLAN

AUGUST 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501191075 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Aykut ARKUN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DÜZENLİ BETONARME ÇERÇEVELERLE TEŞKİL EDİLEN YAPILARDA DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİNİN HESAPLARA DAHİL EDİLMESİ YÖNTEMİNİN YAPISAL TASARIMA ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Medine İSPİR ARSLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alper İLKİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Onur GEDİK
Okan Üniversitesi

Teslim Tarihi : 18 Mayıs 2024
Savunma Tarihi : 23 Ağustos 2024





Aileme,



ÖNSÖZ

Tezin her aşamasında desteğini esirgemeyen ve vaktini ayıran sayın danışman hocam Doç. Dr. Medine İSPİR ARSLAN'a teşekkür ederim. Bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren sayın Prof. Dr. Alper İLKİ'ye teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca SAP 2000 programı kullanımı konusunda verdikleri destek ve yardımlar için İnş.Yük. Müh. Sait ARAZ'a teşekkür ederim. Her zaman beni destekleyen ve bu süreçte de hep yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2024

Aykut Arkun
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxii
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 TBDY 2018’de Sunulan Düşey Deprem Etkisi $E_d^{(Z)}$ Yaklaşımları.....	4
2. BİNALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİ VE DEPREM TASARIM VERİLERİ.....	7
2.1 Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlandırılan Binanın Yapısal Özellikleri.....	7
2.1.1 Ön boyutlandırma.....	8
2.1.2 Bina toplam kütlesi ve kat kütlelerinin belirlenmesi.....	11
2.2 Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlandırılan Binanın Yapısal Özellikleri.....	11
2.2.1 Ön boyutlandırma.....	12
2.2.2 Bina toplam kütlesi ve kat kütlelerinin belirlenmesi.....	14
2.3 İncelenen Binaların Deprem Tasarım Verileri	15
3. SONLU ELEMAN MODELİ VE MODAL ANALİZ	21
3.1 Her İki Binaya Ait Modelleme Esasları.....	21
3.2 Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın Modal Analizi	24
3.3 Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binanın Modal Analizi	26
4. DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNALARIN DAYANIMA GÖRE HESABI	29
4.1 Hesap Yönteminin Belirlenmesi	29
4.2 Doğrusal Deprem Hesabı	29
4.3 Binalardaki Düzensizliklerin Hesaplanması	32
4.3.1 A1 burulma düzensizliği	32
4.3.2 A2 döşeme süreksizlikleri	32
4.3.3 A3 planda çıkıntılar bulunması	35
4.3.4 B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği.....	35
4.3.5 B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği	35
4.3.6 B3 taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği	35
5. ANALİZ SONUÇLARI	39
5.1 Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binada Analiz Sonuçları.....	39
5.1.1 Taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirmeler	39

5.1.2 İç kuvvet bileşenleri ve donatı alanı.....	42
5.2 Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binada Analiz Sonuçları	54
5.2.1 Taban kesme kuvveti ve yerdeğıştirmeler	54
5.2.2 İç kuvvet bileşenleri ve donatı alanı.....	56
6. SONUÇLAR	69
6.1 Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binada Varılan Sonuçlar.....	70
6.2 Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binada Varılan Sonuçlar.....	70
6.3 Genel Sonuçlar	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77



KISALTMALAR

A	: Açıklık
A-A	: Açıklık-Alt
A-Ü	: Açıklık-Üst
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DD	: Düşey Deprem
DD (S)	: Düşey Elastik Tasarım Spektrumu ile Düşey Deprem Hesabı
DD (2/3)	: TBDY 2018 4.10 ile Düşey Deprem Hesabı
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DS	: Deprem Seviyesi
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
DY	: Düşey Yükler
M	: Mesnet
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
SaM	: Sağ Mesnet
SaM-Ü	: Sağ Mesnet Üst
SaM-A	: Sağ Mesnet Alt
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
SoM	: Sol Mesnet
SoM-A	: Sol Mesnet Alt
SoM-Ü	: Sol Mesnet Üst
ŞGDT	: Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDTH	: Türkiye Deprem Tehlike Haritaları
YD	: Yatay Deprem



SEMBOLLER

A_c	: Enkesit Alanı
A_s	: Donatı alanı
A1	: Burulma düzensizliği
A2	: Döşeme süreksizlikleri düzensizlik durumu
A3	: Planda çıkıntılar bulunması düzensizlik durumu
b	: Kolon veya kiriş kesit genişliği
B1	: Komşu katlar arası dayanım düzensizliği
B2	: Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat)
B3	: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği düzensizliği
C_h	: İkinci mertebe hesabında kullanılan ampirik katsayı
cm	: Santimetre
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
d	: Kolon veya kiriş kesit yüksekliği
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DS-1	: 1. Deprem seviyesi
DS-2	: 2. Deprem seviyesi
DS-3	: 3. Deprem seviyesi
E_d^(Z)	: (Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F₁	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
G	: Sabit yük etkisi
g	: Yerçekimi ivmesi
H_N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümün toplam yüksekliği
h_i	: i'inci katın yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı

kN	: Kilonewton
K	: İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
m	: Metre
m	: Kütle
m_x	: X deprem doğrultusunda harekete katılan modal etkin kütle toplamı
m_y	: Y deprem doğrultusunda harekete katılan modal etkin kütle toplamı
m_z	: Z deprem doğrultusunda harekete katılan modal etkin kütle toplamı
M_{dx}	: X eksenî etrafında hesap momenti
M_{dy}	: Y eksenî etrafında hesap momenti
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm'deki toplam kat sayısı
N_d	: Hesap normal kuvveti
Q	: Hareketli yük etkisi
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a (T)	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağılı deprem yükü azaltma katsayısı
s	: Saniye
S	: Kar yükü etkisi
S_{ae} (T)	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
S_{aeD} (T)	: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi
S_{aR} (T)	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S₁	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu

T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{LD}	: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{pA}	: Amprik olarak hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu
$T_p^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu
$T_p^{(Y)}$	: (Y) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu
V_X	: X deprem doğrultusunda taban kesme kuvveti
V_Y	: Y deprem doğrultusunda taban kesme kuvveti
$V_i^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvveti
W_k	: k'inci kata etkiyen toplam ağırlık
$(\Delta_i^{(X)})$	: (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$	: (X) deprem doğrultusunda ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
$\delta_{i,max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri
$\theta_{II,i}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
$\theta_{II,max}^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda tanımlanan maksimum ikinci mertebe gösterge değeri
λ	: Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
η_{bi}	: i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın Kolon Ebatları.....	9
Çizelge 2.2 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlandırılan Binanın Kolonlarının " $N_d \leq 0,9f_{cd}A_c$ " Kontrolü.....	10
Çizelge 2.3 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlandırılan Binanın Kütle ve Ağırlık Değerleri.....	11
Çizelge 2.4 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binanın kolon ebatları.....	12
Çizelge 2.5 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlandırılan Binanın Kolonlarının " $N_d \leq 0,9f_{cd}A_c$ " Kontrolü.....	14
Çizelge 2.6 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlandırılan Binanın Kütle ve Ağırlık Değerleri.....	14
Çizelge 2.7 : Elastik tasarım spektrum katsayıları	16
Çizelge 2.8 : Bina Kullanım Amacı, TBDY 2018.....	17
Çizelge 2.9 : Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi, TBDY 2018.....	17
Çizelge 2.10 : Bina Yükseklik Sınıfının Belirlenmesi, TBDY 2018.....	18
Çizelge 2.11 : Bina Performans Hedefinin Belirlenmesi.....	18
Çizelge 2.12 : Binaların Taşıyıcı Sisteminin Seçilmesi.....	20
Çizelge 3.1 : Etkin Kesit Rijitlikleri, TBDY 2018	21
Çizelge 3.2 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın Periyod Değerleri ve Modal Etkin Kütle Toplamı	25
Çizelge 3.3 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binanın Periyod Değerleri ve Modal Etkin Kütle Toplamı	26
Çizelge 4.1 : Yük Durumları	30
Çizelge 4.2 : DY-YD Analiz Durumunda Sünek Davranışa Karşı Gelen Yük Kombinasyonları.....	31
Çizelge 4.3 : DY-YD-DD (2/3) Analiz Durumunda Sünek Davranışa Karşı Gelen Yük Kombinasyonları.....	31
Çizelge 4.4 : DY-YD-DD(S) Analiz Durumunda Sünek Davranışa Karşı Gelen Yük Kombinasyonları.....	32
Çizelge 4.5 : A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	34
Çizelge 4.6 : B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği hesabı	36
Çizelge 4.7 : Her İki Binaya Ait Düzensizlik Durumlarının Özeti.....	37
Çizelge 5.1 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binada Taban Kesme Kuvvetleri	39
Çizelge 5.2 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binada Etkin Görelî Kat Ötelemeleri.....	41
Çizelge 5.3 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binaya Ait 2.Mertebe Gösterge Değerleri.....	42

Çizelge 5.4 : Göreli Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın DY–YD Etkisi Altında Kolon İçin Tasarıma Esas İç Kuvvet Bileşenleri	43
Çizelge 5.5 : Göreli Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın DY–YD–DD (2/3) Etkisi Altında Kolon İçin Tasarıma Esas İç Kuvvet Bileşenleri	43
Çizelge 5.6 : Göreli Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın DY–YD–DD(S) Etkisi Altında Kolon İçin Tasarıma Esas İç Kuvvet Bileşenleri.....	44
Çizelge 5.7 : Zemin Kat Kolonlarının Normalize Edilmiş İç Kuvvet Bileşen Değerleri	45
Çizelge 5.8 : Zemin Kat Kolonlarının Normalize Edilmiş İç Kuvvet Bileşen Değerlerinin Aralıkları	46
Çizelge 5.9 : Kolon Boyuna Donatı Alanları (cm ²).....	47
Çizelge 5.10 : Kolon Boyuna Donatı Oranları	47
Çizelge 5.11 : Kirişler İçin Tasarıma Esas Eğilme Momenti Değerleri (kNm)	48
Çizelge 5.12 : Zemin Kat Kirişlerinin Normalize Edilmiş Eğilme Momenti Değerleri	49
Çizelge 5.13 : Zemin Kat Kirişlerinin Boyuna Donatı Oranları.....	50
Çizelge 5.14 : Zemin Kat Kirişlerinin Tasarım Eğilme Momentleri ve Donatı Alanları	51
Çizelge 5.15 : Göreli kat ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binada Taban Kesme Kuvvetleri	54
Çizelge 5.16 : Göreli Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binada Etkin Göreli Kat Ötelemeleri.....	55
Çizelge 5.17 : Göreli Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binaya Ait 2.Mertebe Gösterge Değerleri	55
Çizelge 5.18 : Göreli Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binanın DY–YD Etkisi Altında Kolon İçin Tasarıma Esas İç Kuvvet Bileşenleri	56
Çizelge 5.19 : Göreli Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binanın DY–YD–DD(2/3) Etkisi Altında Kolon İçin Tasarıma Esas iç Kuvvet Bileşenleri	57
Çizelge 5.20 : Göreli Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binanın DY–YD–DD(S) Etkisi Altında İç Kuvvet Bileşenleri	57
Çizelge 5.21 : Zemin Kat Kolonlarının Normalize Edilmiş İç Kuvvet Bileşen Değerleri	58
Çizelge 5.22 : Zemin Kat Kolonlarının Normalize Edilmiş İç Kuvvet Bileşen Değerlerinin Aralıkları	59
Çizelge 5.23 : Kolon Boyuna Donatı Alanları (cm ²).....	60
Çizelge 5.24 : Kirişler İçin Tasarıma Esas Eğilme Momenti Değerleri (kNm)	62
Çizelge 5.25 : Zemin Kat Kirişlerinin Normalize Edilmiş Eğilme Momenti Değerleri	63
Çizelge 5.26 : Zemin Kat Kirişlerinin Boyuna Donatı Oranları.....	63
Çizelge 5.27 : Zemin Kat Kirişlerinin Tasarım Eğilme Momentleri ve Donatı Alanları	64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın Tipik Kat Planı.....	8
Şekil 2.2 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binanın Tipik Kat Planı.....	12
Şekil 2.3 : Yatay Elastik Tasarım Spektrumları.	15
Şekil 2.4 : Düşey Elastik Tasarım Spektrumları.....	15
Şekil 2.5 : Her Deprem Doğrultusu İçin Azaltılmış Yatay Elastik Tasarım Spektrumları.....	19
Şekil 2.6 : Her Deprem Doğrultusu İçin Azaltılmış Düşey Elastik Tasarım Spektrumları.....	19
Şekil 3.1 : Ek Dış Merkezlik Etkileri.	22
Şekil 3.2 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın Sonlu Eleman Modeli.....	23
Şekil 3.3 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binanın Sonlu Eleman Modeli.	24
Şekil 3.4 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın Mod şekilleri: (a) birinci mod-X, (b) ikinci mod-Y, (c) üçüncü mod burulma ve (d) dokuzuncu mod-Z.	25
Şekil 3.5 : Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binanın Mod şekilleri: (a) birinci mod-X, (b) ikinci mod-Y, (c) üçüncü mod burulma ve (d) dokuzuncu mod-Z.	27
Şekil 4.1 : Binalardaki Burulma Düzensizliğinin Hesaplanması.	33
Şekil 4.2 : A1 düzensizliğinin kontrol edildiği düğüm noktaları.....	33



DÜZENLİ BETONARME ÇERÇEVELERLE TEŞKİL EDİLEN YAPILARDA DÜŞEY DEPREM BİLEŞENİNİN HESAPLARA DAHİL EDİLMESİ YÖNTEMİNİN YAPISAL TASARIMA ETKİSİ

ÖZET

Son yıllarda yapılan akademik çalışmalar ve deprem sonrası gözlemler, depremin düşey bileşen etkisinin tasarımda dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Literatürde özellikle depremselliği yüksek bölgeler olarak adlandırılan faya yakın bölgelerde inşa edilmiş, planda ve düşeyde belli düzensizlikleri bulunduran yapılarda depremin düşey bileşeninin etkileri artmaktadır. Ülkemizde, depremin düşey bileşen etkisinin tasarım aşamasında kapsamlı olarak ilk defa Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018)'de dikkate alındığı görülmektedir.

Düşey bileşen etkisini yapısal analiz hesaplarına dahil etmek için TBDY-2018'de üç ayrı yaklaşım sunulmaktadır. Birincisi uygun deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve bu kayıtların düşey elastik tasarım spektrumuna göre spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülerek zaman tanım alanında hesap yöntemi ile yapısal analizlerin gerçekleştirilmesidir. İkinci yaklaşım, düşey elastik tasarım ivme spektrumuna göre mod birleştirme yöntemi ile düşey titreşim modlarının dikkate alınarak yapısal analizlerin yapılmasıdır. Üçüncü yaklaşım ise TBDY-2018, Madde 4.4.3.2'de $E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G$ bağıntısı ile tanımlanan düşey deprem etkisinin dikkate alınmasını öngörmektedir.

Tez çalışmasında TBDY-2018'in önerdiği ikinci ve üçüncü yaklaşımın yapı tasarımına etkisini anlamak üzere iki yapının ön boyutlandırılması yapılmış ve sonlu eleman programı SAP2000 kullanılarak farklı deprem seviyeleri için analizleri gerçekleştirilmiştir. Birinci yapının taşıyıcı elemanları, standart tasarım deprem yer hareketi altında etkin görel kat öteleme oranı için 0.008 sınırını gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. İkinci yapının taşıyıcı eleman tasarımı için 0.016 sınırı esas alınmıştır. Dolayısıyla birinci yapı "*gevrek malzemeden yapılmış boşluklu (veya boşluksuz) dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması durumunu (TBDY-2018)*" temsil etmek üzere tasarlanmıştır. İkinci yapı ise "*gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunu (TBDY-2018)*" temsil etmektedir. İncelenen iki binanın kat sayıları, döşeme kalınlıkları ve giriş boyutları aynı olup kolon boyutları farklı seçilmiştir.

Bu çalışmada, deprem seviyesi ve düşey deprem bileşenin dikkate alınması ve ele alınış yaklaşımının, zemin kat taşıyıcı eleman tasarımına esas iç kuvvetler ve donatı alanları üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek üzere düzenli betonarme çerçevelerden oluşan iki yapı ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayıları (S_{DS}) 0.75 değerinden büyük olan üç farklı yüksek depremsellik düzeyi kullanılmıştır (DS-1, DS-2, DS-3). Literatürde son yıllarda yapılan çalışmalar,

faya yakın olan bölgelerde daha yüksek yer ivmesi değerleri oluştuğunu ve düşey ivmenin yatay ivmenin 2/3 katından daha fazla olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada üç farklı yüksek depremsellik düzeyi değişken olarak seçilmiştir. Yapısal analizlerden elde edilen tasarıma esas iç kuvvetleri karşılamak üzere konstrüktif kurallar dikkate alınarak betonarme kesit tasarımı yapılmıştır.

TS 500-2000 ve TBDY-2018 deprem yönetmeliklerine uygun olarak süneklik düzeyi yüksek çerçeve taşıyıcı elemanlardan teşkil edilen yapılar, uzun doğrultuda (X) ve kısa doğrultuda (Y) üçer açıklık içermektedir. Karşılaştırmaların yapılabilmesi için yükler ve düşey deprem etkisinin ele alınış yöntemi açısından farklılık gösteren üç yapısal yükleme durumu dikkate alınmıştır. Birinci yükleme durumu düşey yükler ve yatay deprem bileşenlerini (DY-YD) içermektedir.

İkinci yükleme durumu, birinci durumdaki dış yüklere ilave olarak düşey deprem etkilerini yönetmeliğe uygun, yaklaşık $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ olarak ele almaktadır, DY-YD-DD(2/3). Üçüncü yükleme durumu ise birinci durumdaki dış yüklere ilave olarak düşey elastik tasarım spektrumu kullanılarak elde edilmiş düşey deprem etkilerini içermektedir, DY-YD-DD(S). Farklı yükleme durumları ve deprem seviyeleri altında toplam 9 yapısal analiz mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır.

Yanal ötelenme rijitliği görece olarak büyük olan birinci yapıda düşey deprem etkisinin hesaba dahil edilmesinin düşey kolonların tasarıma esas eksenel kuvvetlerinde önemli oranda azalmaya neden olduğu tespit edilmiş olup bununla birlikte $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ bağıntısının kullanıldığı yaklaşımda ise kolonlardaki normal kuvvet azalımı daha fazla gerçekleşmiştir. Normal kuvvetteki bu azalışın bina kısa kenar aksı üzerinde yer alan kolonlarda (köşe kolonlar hariç) gerekli boyuna donatı oranının artmasına neden olduğu, ayrıca $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ yaklaşımının kullanılması durumunda kolon boyuna donatı oranlarında daha fazla artış tespit edilmiştir. Diğer kolonlarda ise minimum boyuna donatı oranı yeterli olmuştur.

Kısa kenar aksı üzerinde yer alan (köşeler hariç) kolonlarda her iki yaklaşımın kullanılması durumunda da benzer olarak %50 ye varan tasarım eğilme momenti artışları tespit edilmiştir. Diğer kolonların tasarım eğilme momenti değerlerini her iki yöntemde de ihmal edilebilir benzer düzeyde artırdığı tespit edilmiştir.

3 metre kısa açıklıklı kiriş elemanların hem mesnet hem de açıklık tasarım eğilme momentlerinde belirgin bir artış gözlemlenmemiş olup her iki yöntemde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. 8 metre uzun açıklıklı kiriş elemanların mesnet kesitlerinde ise eğilme momenti bakımından %15'e varan artışlar oluşturduğu tespit edilmiştir. Açıklık kesitlerinde ise belirgin bir fark oluşmamıştır. Her iki yöntem de kirişlerin tasarım eğilme momenti değerleri bakımından son derece yakın değerler vermiştir.

Yanal ötelenme rijitliği az olan görelî kat ötelemeleri standart tasarım depremi etkisi altında TBDY 2018 Madde 4.9.1.3 (b)'ye uygun olacak şekilde 0,016 değerinden fazla olmayan yapının analiz ve tasarım sonuçlarının karşılaştırılmasına göre düşey deprem etkisinin hesaba dahil edilmesinin kolonların tasarıma esas eksenel kuvvetlerinde lokasyona bağlı olarak önemli derecede artış ve azalışlara neden olduğu, ayrıca $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ yönteminin lokasyona bağlı azalış ve artışlarda daha etkili olduğu tespit edilmiştir. $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ yaklaşımında kolon boyuna donatı oranları düşey spektrum yaklaşımından elde edilenlerden daha fazladır.

Depremselliğin artışına bağlı olarak tasarım eğilme momentlerinde lokasyona göre yüzde %55'e varan azalışlar ve de %330'a varan artışlar tespit edilmiştir. En düşük

depremsellik durumunda lokasyona bağlı eğilme momentindeki azalış-artış farkı ihmal edilebilecek düzeye inmektedir. Düşey ivme kabülü için kullanılan yöntemler arasında zemin kat kolonlarının tasarım eğilme momenti değerlerinde oluşan azalış ve artışlar bakımından belirgin bir fark ortaya çıkmamıştır.

Düşey deprem etkisini ele almak için kullanılan iki yaklaşım zemin kat kirişleri için benzer sonuçlar vermiştir. Düşey deprem etkisinin yapısal hesaplara dahil edilmesi, 3 metre ačíklık kısa kirişlerde hem mesnette hem de ačíklıkta dikkate değer bir tasarım eğilme momenti farkı oluşturmamıştır ve 8 metre ačíklık uzun kirişlerde mesnetlerde ise %10'a varan tasarım eğilme momenti artışı kaydedilmiştir. Ačíklık tasarım eğilme momentlerinde ise bir değişiklik olmamıştır.





EFFECT OF INCLUSION OF VERTICAL EARTHQUAKE COMPONENT IN THE STRUCTURAL DESIGN OF REGULAR REINFORCED CONCRETE FRAME BUILDINGS

SUMMARY

Academic studies and post-earthquake observations in recent years show that the vertical component effect of the earthquake should be taken into account in structural design. Literature shows that the effects of the vertical component of the earthquake increase in structures that are built in areas close to faults, especially in areas called regions with high seismic activity, and that have certain irregularities in plan and vertical. In our country, the vertical component effect of the earthquake has been taken into consideration comprehensively for the first time in the design phase in the Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018).

Three different approaches are presented in TBDY-2018 to consider the vertical component effect of the earthquake in structural analysis calculations. The first approach is to take into consideration the seismic effects in the time domain.

The second approach is to perform structural analyses by considering vertical vibration modes with the mode superposition method according to the vertical elastic design acceleration spectrum. The third approach envisages considering the vertical earthquake effect defined by the relation $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ in 4.4.3.2 of TBDY-2018.

In the thesis study, in order to understand the effect of the second and third approaches proposed by TBDY-2018 on the structural design, the preliminary design of two structures was performed and their analyses were performed for different earthquake levels using the finite element program SAP2000. The load-bearing elements of the first structure were designed to realize the 0.008 limit for the effective relative story drift ratio under the standard design earthquake ground motion. The 0.016 limit was taken as the basis for the load-bearing element design of the second structure. Therefore, the first structure was designed to represent “*the situation where the void (or void-free) infill walls made of brittle material and the facade elements are completely adjacent to the frame elements without any flexible joints or connections between them (TBDY-2018)*”. The second structure represents “*the situation where the infill walls made of brittle material and the frame elements have flexible joints between them, the facade elements are connected to the external frames with flexible connections or the infill wall element is independent of the frame (TBDY-2018)*”. The number of floors, floor plans, slab thicknesses and beam sizes of the two buildings examined were the same, but the column dimensions were chosen differently.

In this study, it is aimed to investigate the effect of the vertical earthquake component and of the approach adopted for the vertical component on the internal forces and longitudinal reinforcement ratios of the ground floor load-bearing elements. In order to achieve this purpose, two structures consisting of regular reinforced concrete frames and three different high seismicity levels with short-period design spectral acceleration

coefficients (S_{DS}) greater than 0.75 were used (DS-1, DS-2, DS-3). Recent studies in the literature show that higher ground acceleration values occur in areas close to the fault and that vertical acceleration can be more than 2/3 times the horizontal acceleration. Therefore, three different high seismicity levels were among the variables of this study. Reinforced concrete section design was made in accordance with the TS 500-2000 and TBDY-2018.

The structures, which are composed of high ductility frame load-bearing elements in accordance with TBDY-2018 earthquake code, contain three spans in the long direction (X) and in the short direction (Y). In order to make comparisons, three structural loading cases that differ in terms of the loads and the method of handling the vertical earthquake effect were taken into account. The first loading case includes vertical loads and horizontal earthquake components (DY-YD).

The second loading case, in addition to the external loads in the first case, considers the vertical earthquake effects in accordance with TBDY-2018, approximately $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$, DY-YD-DD(2/3). The third loading case includes the vertical earthquake effects obtained using the vertical elastic design spectrum in addition to the external loads in the first case, DY-YD-DD(S). As a result, a total of 9 structural analysis were carried out using the mode superposition method under different loading situations and earthquake levels.

It was determined that the inclusion of the vertical earthquake effect in the first structure, which has a relatively large lateral rigidity, caused a significant decrease in the axial forces of the vertical columns, and in the approach where the $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ relation was used, the normal force decrease in the columns was greater. It was determined that this decrease in the design normal force caused an increase in the required longitudinal reinforcement ratio of the columns located on the short direction of the building (except for the corner columns), and in the case where the $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ approach was used, a greater increase in the column longitudinal reinforcement ratios was detected. In the other columns, the minimum longitudinal reinforcement ratio was sufficient.

In columns located on the short direction (except columns in the corners), similar design bending moment increases of up to 50% were found for both vertical component approaches. It was determined that the design bending moment values of other columns increased at a similar level, which can be neglected in both methods.

No significant increase was observed in both the support and span design bending moments of the 3-meter short-span beam elements, and similar results were obtained in both methods. It was determined that the 8-meter long-span beam elements created increases of up to 15% in terms of bending moment in the support sections. There was no significant difference in the span sections. Both methods gave extremely close values in terms of the design bending moment values of the beams.

According to the comparison of the analysis and design results of the structure with low lateral drift stiffness and story-drift ratios not exceeding 0.016 under the effect of standard design earthquake in accordance with TBDY-2018, 4.9.1.3 (b), it has been determined that the inclusion of the vertical earthquake effect in the calculation causes significant increases and decreases in the design-based axial forces of the columns depending on the location, and also that the $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ method is more effective in decreases and increases depending on the location. In the $E_d^{(Z)} =$

$(2/3)S_{DS}G$ approach, the column longitudinal reinforcement ratios were higher than those obtained from the vertical spectrum approach.

Depending on the increase in seismicity level, decreases of up to 55% and increases of up to 330% were detected in design bending moments depending on the location. In the lowest seismicity case, the decrease-increase difference in bending moments depending on the location is reduced to a negligible level. Among the methods used for vertical acceleration acceptance, no significant difference was found in terms of decreases and increases in the design bending moment values of ground floor columns.

The two approaches used to address the vertical earthquake effect yielded similar results for the ground floor beams. Including the vertical earthquake effect in the structural calculations did not create a significant difference in the design bending moment at both the support and the span for the 3-meter span short beams, and an increase of up to 10% in the design bending moment at the supports for the 8-meter span long beams was recorded. There was no change in the span design bending moments.





1. GİRİŞ

Türkiye coğrafyasında aletsel dönem olarak adlandırılan yakın geçmiş incelendiğinde büyük deprem kategorisinde değerlendirilebilecek deprem sayısının fazlalığı dikkat çekicidir. Ülkemizde gerçekleşmiş belli başlı büyük depremler arasında 1912 Mürefte (7.3 Ms), 1939 Erzincan 7,9 (Ms), 1972 Kütahya (7,2 Mw), 1976 Van (7.5 Mw), 1999 Kocaeli (7,9 Mw), 1999 Düzce (7,5 Mw), 2023 Pazarcık (7,8 Mw), 2023 Elbistan (7,5 Mw) depremleri yer almaktadır. Bu depremler sonrası yapılan saha çalışmaları ve gözlemler depremlerin yapı üzerindeki yıkıcı etkisini göstermektedir [1-3].

Yapıların deprem etkileri altındaki davranışını inceleyen ve araştıran birçok çalışma literatürde bulunmaktadı [4-6]. Depremin düşey bileşeninin karakteristikleri ve yapı davranışı üzerindeki etkisi, araştırma konularından biri olarak güncelliğini korumaktadır [7-20]. Yakın geçmişte yapılan çalışmalar, düşey ivmenin yatay ivmenin yaklaşık 2/3'ü olduğu çıkarımında bulunmuşlardır [21, 22]. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ise özellikle yakın fay etkisinin görüldüğü bölgelerde bu oranının 2/3'den daha büyük ve daha uzak bölgelerde ise 2/3'ten küçük olabileceği sonucuna varılmıştır [21-24]. Bu durumda, bölgenin depremsellik karakteristiğine bağlı olarak depremin düşey bileşeninin yapı üzerindeki etkisinin önem kazanacağı durumlar ortaya çıkabilir. Ülkemizde yakın fay etkilerine bağlı hesap kriterleri, deprem yönetmeliğinde yer almamaktadır. Ancak, depremin düşey bileşen etkisine kapsamlı olarak ilk defa TBDY-2018'de yer verilmiştir.

Gerçekleşen depremler, depremin düşey bileşeninin etkisinin dikkate alınmadan yapılan tasarımlarda sadece sabit ve hareketli düşey yükler için güvenliğin sağlanmasının yapıda depremin düşey bileşeninin etkisine karşı da bir güvenlik sağlamış olacağı yaklaşımının gerçekçi olmadığını ve depremin düşey bileşeninin hasar üzerindeki etkisini göstermektedir. [6,8].

1.1 Tezin Amacı

Düşey depremin etkileri literatürde farklı noktalardan ele alınmış olup bunların başlıcaları olarak yer hareketi kayıt özelliklerinin belirlenmesi, farklı doğrultudaki deprem bileşenlerinin hız ve ivme açısından irdelenip birbiriyle karşılaştırılması, bu bileşenlerin bina hasar durumlarına etkisini anlamaya yönelik sonlu eleman analizleri sayılabilir. Bu çalışmalar, depremin düşey bileşeninin etkisinin önemli olduğu ve yapısal tasarımda dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır, [6-13,15,18,19]. TBDY-2018 [25] düşey deprem etkisinin yapısal tasarımda deprem hesabına katılabilmesi için 3 farklı yaklaşım önermektedir. Literatürde, planda ve düşeyde düzenli veya düzensiz binalarda bu yaklaşımları konu alan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır [14,16,17,20].

Bu tez çalışmasının amacı depremin düşey bileşen etkisi $E_d^{(Z)}$ 'nin yapısal hesaplarda ele alınış yöntemlerinin zemin kat kolon ve kiriş taşıyıcı elemanlarda oluşturabileceği hesap iç kuvvet ve donatı miktarları bakımından farklılıkları tespit etmektir. Bu amacı gerçekleştirmek için 10 katlı iki binanın yapısal analizleri, S_{DS} değeri 0.75 değerinden büyük üç farklı deprem seviyesi için SAP2000 sonlu eleman programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Bu alt başlık altında, düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ 'nin literatürde hangi açılardan ele alındığına ve ulaşılan sonuçlara değinilmiştir.

Iyengar ve Shinozuka [7], düşey yer ivmesinin düşey konsollar üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Farklı doğal frekanslara sahip üç adet yapı için taban momenti ve kesme kuvveti sayısal olarak elde edilmiştir. Depremin düşey ivmesinin taban momenti ve kesme kuvvetini önemli ölçüde değiştirebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Papazoglou ve Elnashai [8], güçlü dikey yer hareketinin yapılar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Basınç veya doğrudan çekme gerilmesi nedeniyle hasar olasılığına dikkat çekip, düşey hareketin yapının göçme mekanizmasını değiştirebileceği çıkarımında bulunmuşlardır. Depremin düşey bileşeninin tasarım sürecine dahil edilmesi için basit yöntemlerin geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Gürel ve Kısa [10], deprem hareketinin düşey bileşeninin çeşitli yapı elemanları üzerindeki etkilerini ve hasar potansiyelini incelemişlerdir. Açıklık büyük olan kirişlerin ve öngerilmeli kirişlerde düşey deprem etkilerinin önemli düzeyde hasara neden olabileceğini ve bunu önlemek amacıyla düşey deprem etkilerinin tasarımda mutlaka göz önüne alınması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Doğan ve Elmas [11], tarafından yapılan çalışmada düşey deprem ivmesinin yatay ivmenin %33-%50'si mertebesinde olabileceğine dikkat çekerek bu nedenle yüksek yapıların tasarımında düşey deprem etkilerinin hesaplanmasının gerekli olduğunu belirtmişler ve binalarda düşey deprem etkisinin zaman tanım alanında hesap yöntemi ile incelenmesi konusunu ele almışlardır. Binalara yalnız yatay deprem durumunun etkiltilmesi ile yatay + düşey deprem durumunun etkiltilmesi durumu arasındaki farkları incelemişlerdir. Düşey deprem etkisinin büyük açıklığa sahip konsollu yapılarda, konsolların kolonlara bağlandıkları kesitlerde, iç kuvvet artışları görüldüğünü tespit etmişlerdir.

Farsangi ve Tasnimi [18], çalışmasında aktif faylara yakın bölgelerde inşa edilen betonarme binaların düşey deprem etkisinden nasıl etkilendiklerini araştırmışlardır. Orta ve yüksek katlı binaların önemli risk altında olduğunu vurgulamışlardır. Yapı sismik kaynağa 25 km'den daha yakın bir bölgede inşa edilecek ise düşey yer hareketinin mutlaka analize dahil edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. V depremin düşey ivme bileşeni ve H depremin yatay ivme bileşeni olmak üzere V/H oranının artışına bağlı olarak kolon eksenel kuvvetlerinde daha büyük dalgalanmaların oluşabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Bu durumun kolon kesme kapasitelerinde %15-%30 oranında bir azalmaya neden olacağını belirtmişlerdir. Düşey elemanların kesme kapasitesindeki bu azalmanın, kesme kırılması potansiyelini artıracığını belirtmişlerdir.

Jakayev ve Aydemir [13], düzenli bir betonarme binada düşey deprem bileşeninin yapısal davranışa etkisi konu edinmişlerdir. 5 katlı bir binanın analizlerini gerçekleştirdikten sonra yapısal elemanların donatı alanlarını hesaplamışlardır. Hazırladıkları modele 7 farklı deprem kaydını sadece yatay ve yatay+düşey olarak uygulamışlardır. Analizler sonucu elde ettikleri iç kuvvetleri karşılaştırmaları sonucu depremin düşey bileşeninin hesaplara dahil edilmesinin kolonların normal kuvvet

değerini artırdığını, kesme kuvveti ve kat ötelemeleri değerlerinde önemli düzeyde değişikliğe neden olmadığını tespit etmişlerdir.

Yavaş ve diğ. [17] yaptıkları çalışmada TBDY-2018’de düşey deprem hesabı için tanımlanan yaklaşık hesabın $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ kullanılabilmesi için yapıların düşeyde düzenli olmaları ve depremselliğin düşük olması ($S_{DS} < 0,50$) gerektiğini belirtmişlerdir. “Düşeyde olmayan kolon” düzensizliğine sahip perde bulunmayan, 8 katlı 5 farklı yapı modeli, yönetmelikte belirtilen üç uygulama yöntemini (zati yüke benzetilen düşey deprem etkisi, düşey elastik tasarım spektrumu kullanılarak düşey deprem etkisi, deprem ivme kaydı kullanımı ile çözüm) kullanarak incelemişlerdir. Çalışmanın değişkenleri düşey kolon eğimi ve giriş açıklığı seçilmiştir. Kolonun düşeyden sapmasının sonuçlara olan etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar (a) düşey depremin kolon normal kuvvetlerinde artışa neden olduğu, (b) düşey spektrum ile yapılan çözümlerin, sabit yüke benzetilen düşey deprem etkisi ile yapılan çözümlere yakın sonuç vermediği ve (c) düşey depremin kolonlarda oluşturduğu momentin düşük seviyede kaldığı gözlenmiştir şeklinde özetlenebilir.

Wang ve diğ. [19], çalışmalarında planda 35 m × 60 m, yüksekliği 19,5 m olan, planda düzensizlikleri bulunan, 4 katlı büyük bir yapıyı perform 3D programı ile modelleyip, üç farklı deprem kaydı için yapının dinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Analizleri yalnızca yatay depremi ayrı, yatay + düşey depremi ayrı inceleyerek gerçekleştirip sonuçları karşılaştırmışlardır. Depremlerin düşey bileşenlerinin yapının ötelemeleri ve ivmesi üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Ancak kolonların normal kuvvetleri üzerinde değişikliğe neden olduğunu (normal kuvvet artışı) tespit etmişlerdir.

1.3 TBDY 2018’ de Sunulan Düşey Deprem Etkisi Yaklaşımları

TBDY-2018 [2]’de düşey deprem etkisinin yapısal analiz hesaplarına dahil edilmesi yani bir dış etki olarak ele alınması için üç farklı yaklaşım sunulmaktadır. Bu yaklaşımların hangi şartlar altında kullanılabileceği, TBDY-2018 [25]’de tarif edilmektedir.

Birinci yaklaşım, uygun deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve bu kayıtların düşey elastik tasarım spektrumuna göre spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülerek zaman tanım alanında hesap yöntemi ile yapısal analizlerin yapılmasıdır.

İkinci yaklaşım düşey elastik tasarım ivme spektrumuna göre Mod Birleştirme Yöntemi ile yerel düşey titreşim modlarının dikkate alınarak yapısal analizlerin gerçekleştirilmesidir. TBDY-2018 Madde 4.4.3.1'e göre, deprem tasarım sınıfları (DTS); DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olarak sınıflandırılan ve aşağıda verilen özelliklere sahip elemanları içeren binalarda düşey deprem hesabı, bu elemanların yerel düşey titreşim modları esas alınarak sadece bu elemanlar için yapılacaktır. Ayrıca düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ 'nin bu şekilde hesabında tüm taşıyıcı sistemler için $R/I=1$ ve $D=1$ alınması gerektiği koşulu getirilmiştir, TBDY-2018.

- (a) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar,
- (b) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar,
- (c) Kirişlere oturan kolonları içeren binalar,
- (d) Kolonları düşeye göre eğimli olan binalar.

Üçüncü yaklaşım: TBDY-2018'e göre yukarıda maddeler halinde verilen özellikleri içeren elemanlara sahip binada bulunan diğer taşıyıcı elemanların ve Madde 4.4.3.1'deki tanımın dışında kalan binaların düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ 'nin hesabı, denklem (1.1) ile yaklaşık olarak yapılacaktır. Denklem (1.1)'de G sabit yük etkisini ve S_{DS} kısa periyot tasarım ivme katsayısını göstermektedir.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G \quad (1.1)$$



2. BİNALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİ VE DEPREM TASARIM VERİLERİ

Depremiñ düşey bileşeninin düzenli betonarme çerçeve sistemlerle oluşturulan binaların zemin kat kolon/kiriş elemanlarının tasarımı esas iç kuvvetlerine ve boyuna eğilme donatılarına etkisini incelemek üzere 10 katlı, deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı iki bina TBDY-2018 [25] ve TS500 (2000) [26] kriterlerine göre tasarlanmıştır. Binaların kullanım fonksiyonu konut olacak şekilde tasarlanacak ve dolayısıyla bina kullanım sınıfı, TBDY-2018'e göre BKS=3'dür. Beton sınıfı C35 ve donatı sınıfı B420C olarak seçilmiştir. Binalar planda simetrik olacak şekilde tasarlanmış olup uzun (X) ve kısa (Y) doğrultularında 3'er açıklığa sahiptir, Şekil 2.1 ve Şekil 2.2. X deprem doğrultusundaki açıklıkların uzunlukları 8'er metre, Y deprem doğrultusundaki açıklıkların uzunlukları sırasıyla 8, 3 ve 8 metredir. Binalarda planda ve yatayda herhangi bir düzensizlik bulunmamaktadır. Depremiñ düşey bileşeni TBDY-2018'de verilen yaklaşımlara göre, yaklaşımlar arasındaki farkı anlamak için, binaların yapısal analizlerinde dış etki olarak dikkate alınmıştır. Yapısal analizler, doğrusal hesap yöntemi arasında yeralan mod birleştirme yöntemi ile SAP 2000 v21 [27] sonlu eleman programı kullanılarak $DTS=1$ ($S_{Ds} \geq 0.75$) olan depremin 3 farklı seviyesinde gerçekleştirilmiştir.

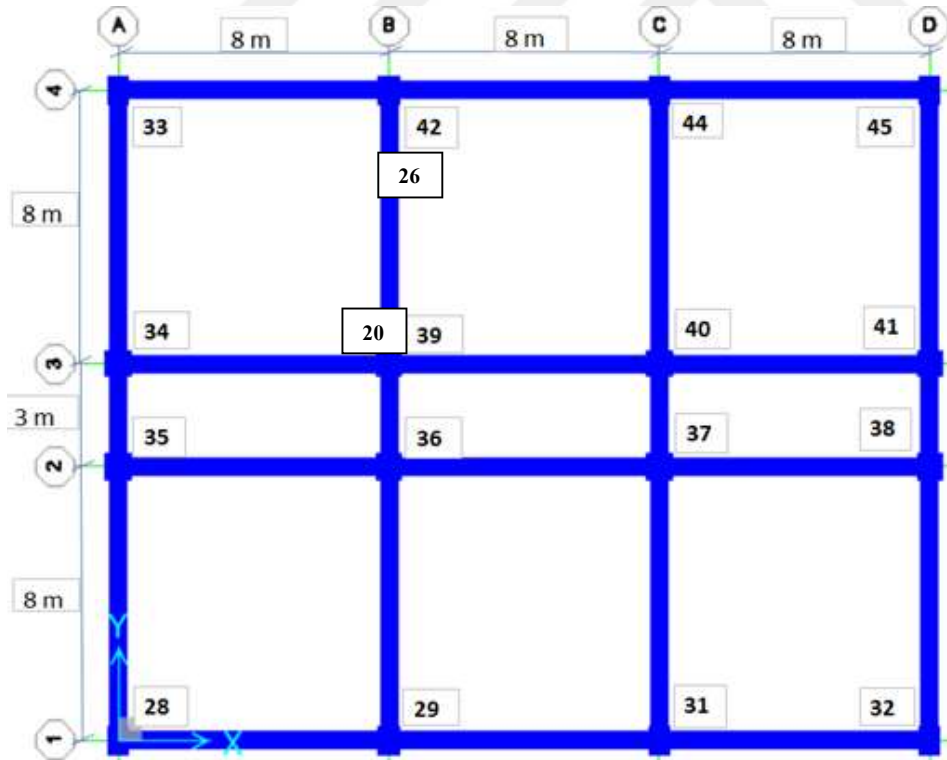
2.1 Göreli Kat Ötelemeleri 0,008 κ İle Sınırlandırılan Binanın Yapısal Özellikleri

Bina planda simetrik olup tipik kat planı Şekil 2.1'de verilmektedir. Binanın plandaki boyutları X doğrultusunda akstan aksa 24 m ve Y doğrultusunda 19 m olup kat yüksekliği 3 m'dir. Binanın kolon enkesit boyutları, Çizelge 2.1'de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere kolon enkesit boyutları, ilk 5 kattan sonra 10 cm kadar

azaltılmıştır. Kısa (3 metre açıklığa sahip) ve uzun (8 metre açıklığa sahip) açıklıklı kirişlerin enkesit boyutları, sırasıyla, 50 cm (genişlik) x 55 cm (yükseklik) ve 50 cm (genişlik) x 60 cm (yükseklik)'dir. Binanın döşemeleri plak döşeme olarak tasarlanıp, döşeme kalınlığı 20 cm' olarak seçilmiştir. İlk 9 kat döşemeleri için sabit ve hareketli yük, sırasıyla, 2.5 ve 2.0 kN/m² ve 10. Kat döşemesi için sabit yük ve kar yükü 2.5 ve 0.75 kN/m² olarak alınmıştır, [28]. Normal katlarda dış cephe ve iç bölme duvarlar için duvar yükü, sırasıyla, 2.0 ve 1.05 kN/m²; çatı katı için dış cephe duvar yükü 2 kN/m² olarak hesaplara dahil edilmiştir, [28].

2.1.1 Ön boyutlandırma

Döşemelerde ön boyutlandırma TS 500-2000'e göre yapılmıştır. 8 m × 8 m boyutlu döşemelerin uzun kenarının kısa kenarına oranı 1.0 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu oran 2'den küçük olduğu için döşemeler her iki doğrultuda da yük taşıyarak mesnetli bulundukları kirişlere yükü aktarırlar. Bu çalışmada, iki doğrultuda çalışan döşemelerin kalınlığı, denklem (2.1)'i sağlayacak şekilde seçilmiştir.



Şekil 2.1 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın tipik kat planı.

Çizelge 2.1 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın kolon ebatları.

Kolon no	1-5. kat	6-10. kat
	Boyut (cmxcm)	Boyut (cmxcm)
28	60x80	50x70
35	75x75	65x65
34	75x75	65x65
33	60x80	50x70
29	60x80	50x70
36	75x75	65x65
39	75x75	65x65
42	60x80	50x70
31	60x80	50x70
37	75x75	65x65
40	75x75	65x65
44	60x80	50x70
32	60x80	50x70
38	75x75	65x65
41	75x75	65x65
45	60x80	50x70

$$h_f \geq \frac{l_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{a_s}{4}\right) \quad (2.2)$$

Denklemde l_{sn} , döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığını; m , döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranını; a_s döşeme sürekli kenar uzunlukları toplamının kenar uzunlukları toplamına oranını göstermektedir. $l_{sn}= 7400$ mm, $m=1.0$ ve $a_s=0.5$ değerleri denklem (2.1)'de yerine yazılırsa döşeme kalınlığı h_f 'in 185 mm'den büyük eşit olması gerektiği görülmektedir.

8 m $\times$ 3 m boyutlu döşemenin uzun kenarının kısa kenarına oranı 2.67 olarak hesaplanmıştır. Bu oran 2'den büyük olduğu için bu döşeme tek doğrultuda çalışan döşeme olarak isimlendirilir ve TS 500-(2000)'e göre minimum döşeme kalınlığı 80 mm olmalıdır. Sonuç olarak TS 500-(2000) kriterlerini sağlayacak şekilde döşeme kalınlığı (h_f) 20 cm olarak seçilmiştir.

TS 500 (2000)'e göre kiriş yükseklikleri 300 mm'den ve döşeme kalınlığının üç katından (yani 60 cm) fazla olmalıdır. Yukarıda belirtildiği üzere uzun ve kısa açıklığa

sahip kirişlerin yükseklikleri, sırasıyla, 55 ve 60 cm olarak tasarlanmıştır. Kısa açıklığa sahip kirişin TS500 (2000) şartını sağlamadığı görülmekle beraber sınır değere (60 cm) çok yakın olduğu görülmektedir. TS 500 (2000)'e göre kiriş gövde genişliği 200 mm'den az, kiriş toplam yüksekliği ile kolon genişliği toplamından fazla olamaz. Bu çalışmada, betonarme çerçeveyi oluşturan kirişlerin gövde genişliğinin (50 cm), bu koşulları sağladığı görülmektedir.

TS 500 (2000)'e göre dikdörtgen kesitli kolonlarda kesit genişliği 250 mm'den az olamaz ve kolon enkesit boyutları Madde 7.4.1'e göre artırılmış düşey yükler altında maksimum normal kuvvet, " $N_d \leq 0,9f_{cd}A_c$ " koşulunu sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Burada N_d hesap eksenel kuvvet, f_{cd} beton hesap basınç dayanımını ve A_c kolon enkesit alanını göstermektedir. " $C1 = 1,4 G + 1,6 Q + 1,6 S$ " yük kombinasyonunun normal kuvvet bakımından en elverişsiz yükleme kombinasyonu olduğu görülmüş ve bu kombinasyona göre TS 500-(2000) Madde 7.4.1 kontrolü yapılarak sonuçları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. G kalıcı yük etkisini, Q hareketli yük etkisini ve S kar yükü etkisini göstermektedir. Görüldüğü üzere kolonların tamamı " $N_d \leq 0,9f_{cd}A_c$ " koşulunu sağlamaktadır.

Çizelge 2.2 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlandırılan binanın kolonlarının " $N_d \leq 0,9f_{cd}A_c$ " kontrolü.

Kolon No	Ebat (m)		$C_1=1,4G+1,6Q+1,6S$ (kN)	f_{cd} (kN/m ²)	A_c (m ²)	$N_d \leq 0,9 f_{cd} A_c$ (kN)
28	0,60	0,80	-3.940,80	23.300,00	0,48	10.065,60
35	0,75	0,75	-4.966,80	23.300,00	0,56	11.795,63
34	0,75	0,75	-4.966,80	23.300,00	0,56	11.795,63
33	0,60	0,80	-3.940,80	23.300,00	0,48	10.065,60
29	0,60	0,80	-6.634,30	23.300,00	0,48	10.065,60
36	0,75	0,75	-8.268,20	23.300,00	0,56	11.795,63
39	0,75	0,75	-8.268,20	23.300,00	0,56	11.795,63
42	0,60	0,80	-6.634,30	23.300,00	0,48	10.065,60
31	0,60	0,80	-6.634,30	23.300,00	0,48	10.065,60
37	0,75	0,75	-8.268,20	23.300,00	0,56	11.795,63
40	0,75	0,75	-8.268,20	23.300,00	0,56	11.795,63
44	0,60	0,80	-6.634,30	23.300,00	0,48	10.065,60
32	0,60	0,80	-3.940,80	23.300,00	0,48	10.065,60
38	0,75	0,75	-4.966,80	23.300,00	0,56	11.795,63
41	0,75	0,75	-4.966,80	23.300,00	0,56	11.795,63
45	0,60	0,80	-3.940,80	23.300,00	0,48	10.065,60

2.1.2 Bina toplam kütlesi ve kat kütlelerinin belirlenmesi

Görelî kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlandırılan binanın toplam kütle ve ağırlığı ile katlara dağılmış kütle ve ağırlıklar Çizelge 2.3 de gösterilmiştir. Ağırlık hesabı ($G + 0,3Q + 0,3S$) yük kombinasyonuna göre yapılmış olup, hareketli yük katılım katsayısı $n=0,3$ olarak ele alınıp hareketli yük Q için ve kar yükü S için çarpan olarak kullanılmıştır.

Çizelge 2.3 : Görelî kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlandırılan binanın kütle ve ağırlık değerleri.

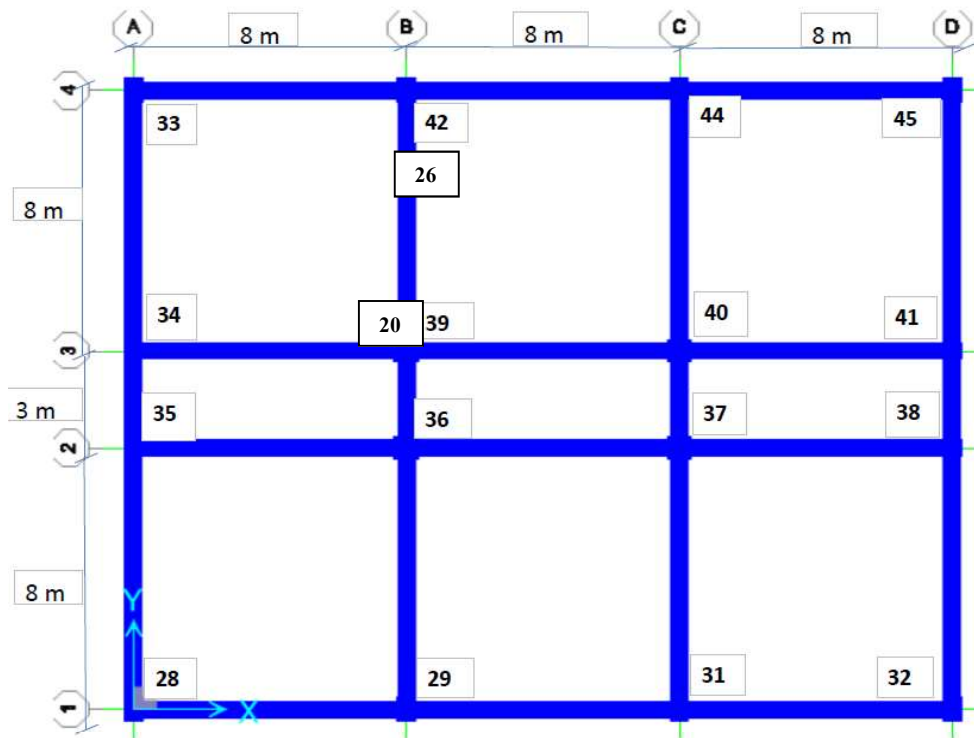
	Kütle (t)	Ağırlık (kN)
1.Kat	641,4	6.291,9
2.Kat	635,0	6.229,4
3.Kat	635,0	6.229,4
4.Kat	635,0	6.229,4
5.Kat	633,4	6.213,2
6.Kat	618,5	6.067,4
7.Kat	618,5	6.067,4
8.Kat	618,5	6.067,4
9.Kat	618,5	6.067,4
10.Kat	546,4	5.359,8
Toplam	6.200,1	60.822,6

2.2 Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlandırılan Binanın Yapısal Özellikleri

Bina planda simetrik olup kat planı Şekil 2.2 de verilmektedir. Binanın plandaki boyutları X doğrultusunda 24 m ve Y doğrultusunda 19 m olup kat yüksekliği 3 m'dir. Binanın kolon enkesit boyutları Çizelge 2.4'de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere kolon enkesit boyutları, ilk 5 kattan sonra 10 cm kadar azaltılmıştır. Kısa (3 metre açıklığa sahip) ve uzun (8 metre açıklığa sahip) açıklıklı kirişlerin enkesit boyutları, sırasıyla, 50 cm (genişlik) x 55 cm (yükseklik) ve 50 cm (genişlik) x 60 cm (yükseklik)'dir. Binanın döşemeleri plak döşeme olarak tasarlanıp, döşeme kalınlığı 20 cm' olarak seçilmiştir. İlk 9 kat döşemeleri için sabit ve hareketli yük, sırasıyla, 2.5 ve 2.0 kN/m² ve 10. Kat döşemesi için sabit yük ve kar yükü 2.5 ve 0.75 kN/m² olarak alınmıştır, [28]. Normal katlarda dış cephe ve iç bölme duvarlar için duvar yükü, sırasıyla, 2.0 ve 1.05 kN/m²; çatı katı için dış cephe duvar yükü 2 kN/m² olarak hesaplara dahil edilmiştir, [28].

2.2.1 Ön boyutlandırma

Döşemelerin ön boyutlandırması TS 500-2000'e göre yapılmıştır. $8\text{ m} \times 8\text{ m}$ boyutlu döşemelerin uzun kenarının kısa kenarına oranı 1,0 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu oran 2,0'dan küçük olduğu için döşemeler her iki doğrultuda da yük taşıyarak mesnetli bulundukları kirişlere yükü aktarırlar.



Şekil 2.2 : Göreli kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binanın tipik kat planı.

Çizelge 2.4 : Göreli kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binanın kolon ebatları.

Kolon no	1-5. kat	6-10. kat
	Boyut (cmxcm)	Boyut (cmxcm)
28	52X72	42X62
35	52X52	42X42
34	52X52	42X42
33	52X72	42X62
29	52X72	42X62
36	70X70	60X60
39	70X70	60X60
42	52X72	42X62
31	52X72	42X62
37	70X70	60X60
40	70X70	60X60
44	52X72	42X62
32	52X72	42X62
38	52X52	42X42
41	52X52	42X42
45	52X72	42X62

Bu çalışmada, iki doğrultuda çalışan döşemelerin kalınlığı, denklem (2.1)'i sağlayacak şekilde seçilmiştir.

$$h_f \geq \frac{l_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right) \quad (2.3)$$

Denklemde l_{sn} , döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığını; m , döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranını; α_s döşeme sürekli kenar uzunlukları toplamının kenar uzunlukları toplamına oranını göstermektedir. $l_{sn} = 7400$ mm, $m = 1.0$ ve $\alpha_s = 0.5$ değerleri denklem (2.1)'de yerine yazılırsa döşeme kalınlığı h_f 'in 185 mm'den büyük eşit olması gerektiği görülmektedir.

8 m $\times$ 3 m boyutlu döşemenin uzun kenarının kısa kenarına oranı 2.67 olarak hesaplanmıştır. Bu oran 2'den büyük olduğu için bu döşeme tek doğrultuda çalışan döşeme olarak isimlendirilir ve TS 500 (2000)'e göre minimum döşeme kalınlığı 80 mm olmalıdır. Sonuç olarak TS 500-2000 kriterlerini sağlayacak şekilde döşeme kalınlığı (h_f) 20 cm olarak seçilmiştir.

TS 500 (2000)'e göre kiriş yükseklikleri 300 mm'den ve döşeme kalınlığının üç katından (yani 60 cm) fazla olmalıdır. Yukarıda belirtildiği üzere uzun ve kısa açıklığa sahip kirişlerin yükseklikleri, sırasıyla, 55 ve 60 cm olarak tasarlanmıştır. Kısa açıklığa sahip kirişin TS500 (2000) şartını sağlamadığı görülmekle beraber sınır değere (60 cm) çok yakın olduğu görülmektedir. TS 500 (2000)'e göre kiriş gövde genişliği 200 mm'den az, kiriş toplam yüksekliği ile kolon genişliği toplamından fazla olamaz. Bu çalışmada, betonarme çerçeveyi oluşturan kirişlerin gövde genişliğinin (50 cm), bu koşulları sağladığı görülmektedir.

TS 500 (2000)'e göre dikdörtgen kesitli kolonlarda kesit genişliği 250 mm'den az olamaz ve kolon enkesit boyutları Madde 7.4.1'e göre artırılmış düşey yükler altında maksimum normal kuvvet, " $N_d \leq 0,9 f_{cd} A_c$ " koşulunu sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Burada N_d hesap eksenel kuvvet, f_{cd} beton hesap basınç dayanımını ve A_c kolon enkesit alanını göstermektedir. " $C1 = 1,4 G + 1,6 Q + 1,6 S$ " yük kombinasyonunun normal kuvvet bakımından en elverişsiz yükleme kombinasyonu olduğu görülmüş ve bu kombinasyona göre TS 500-(2000) Madde 7.4.1 kontrolü yapılarak sonuçları Çizelge 2.5'de gösterilmiştir. G kalıcı yük etkisini, Q hareketli yük

etkisini ve S kar yükü etkisini göstermektedir. Görüldüğü üzere kolonların tamamı $N_d \leq 0,9f_{cd}A_c$ koşulunu sağlamaktadır.

Çizelge 2.5 : Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlandırılan binanın kolonlarının $N_d \leq 0,9f_{cd}A_c$ kontrolü.

Kolon No	Ebat (m)		$C_1=1,4G+1,6Q+1,6S$ (kN)	f_{cd} (kN/m ²)	A_c (m ²)	$N_d \leq 0,9 f_{cd} A_c$ (kN)
28	0,52	0,72	-3.916,00	23.300,00	0,37	7.851,17
35	0,52	0,52	-4.412,00	23.300,00	0,27	5.670,29
34	0,52	0,52	-4.412,00	23.300,00	0,27	5.670,29
33	0,52	0,72	-3.916,00	23.300,00	0,37	7.851,17
29	0,52	0,72	-6.519,00	23.300,00	0,37	7.851,17
36	0,70	0,70	-8.403,00	23.300,00	0,49	10.275,30
39	0,70	0,70	-8.403,00	23.300,00	0,49	10.275,30
42	0,52	0,72	-6.519,00	23.300,00	0,37	7.851,17
31	0,52	0,72	-6.519,00	23.300,00	0,37	7.851,17
37	0,70	0,70	-8.403,00	23.300,00	0,49	10.275,30
40	0,70	0,70	-8.403,00	23.300,00	0,49	10.275,30
44	0,52	0,72	-6.519,00	23.300,00	0,37	7.851,17
32	0,52	0,72	-3.916,00	23.300,00	0,37	7.851,17
38	0,52	0,52	-4.412,00	23.300,00	0,27	5.670,29
41	0,52	0,52	-4.412,00	23.300,00	0,27	5.670,29
45	0,52	0,72	-3.916,00	23.300,00	0,37	7.851,17

2.2.2 Bina toplam kütlesi ve kat kütlelerinin belirlenmesi

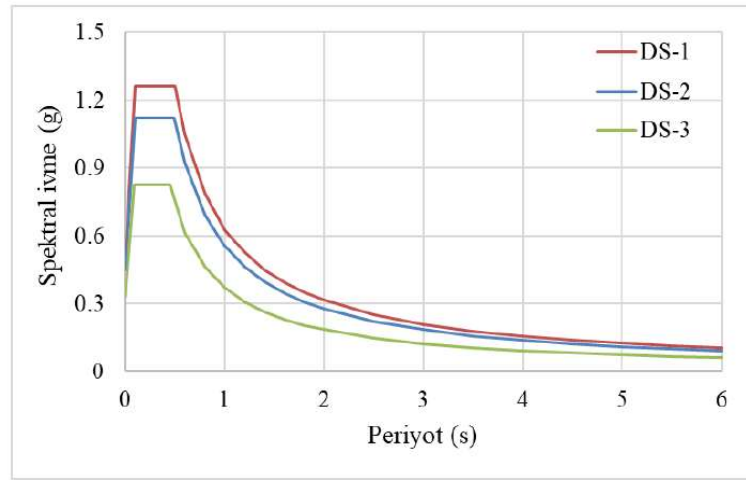
Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlandırılan binanın toplam kütle ve ağırlığı ile katlara dağılmış kütle ve ağırlıklar Çizelge 2.6 de gösterilmiştir. Ağırlık hesabı $(G+0,3Q+0,3S)$ yük kombinasyonuna göre yapılmış olup, hareketli yük katılım katsayısı $n=0,3$ olarak ele alınıp hareketli yük Q için ve kar yükü S için çarpan olarak kullanılmıştır.

Çizelge 2.6 : Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlandırılan binanın kütle ve ağırlık değerleri.

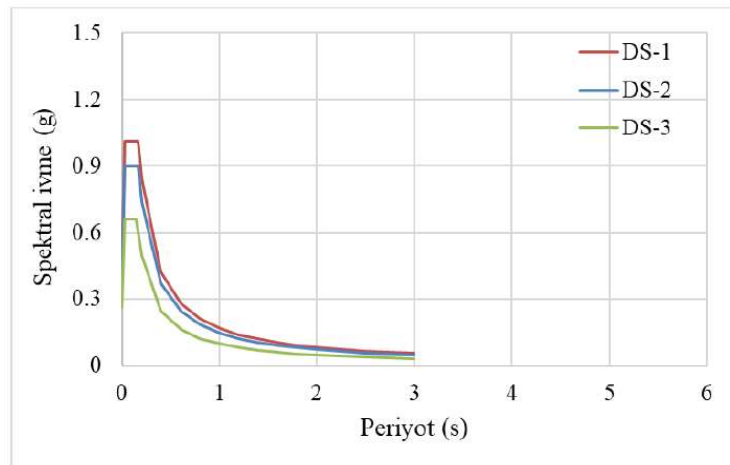
	Kütle (t)	Ağırlık (kN)
1.Kat	622,0	6.101,9
2.Kat	617,4	6.056,7
3.Kat	617,4	6.056,7
4.Kat	617,4	6.056,7
5.Kat	616,0	6.043,1
6.Kat	603,6	5.921,1
7.Kat	603,6	5.921,1
8.Kat	603,6	5.921,1
9.Kat	603,6	5.921,1
10.Kat	532,9	5.228,1
Toplam	6.037,5	59.227,4

2.3 İncelenen Binaların Deprem Tasarım Verileri

Her iki binanın deprem analizleri zeminin elverişsiz etkisini dikkate almak için yerel zemin sınıfı ZD kabul edilerek 3 farklı yüksek deprem düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Deprem seviyeleri en yüksekten en düşüğe olacak şekilde sırasıyla DS-1, DS-2, DS-3 olarak adlandırılmıştır. DS-2 TBDY 2018'e göre standart tasarım yer hareketi olarak belirlenmiştir. DS-1 = DD1, DS-2 = DD2 ve DS-3 = DD3 olacak şekilde eşleştirme yapılmıştır. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları interaktif web uygulaması [29] kullanılarak her bir seviye için yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları elde edilmiştir, yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 2.3 : Yatay elastik tasarım spektrumları.



Şekil 2.4 : Düşey elastik tasarım spektrumları.

Her bir deprem seviyesi için gerekli olan deprem tasarım verileri aşağıda Çizelge 2.7 de listelenmiştir. S_s kısa periyot harita spektral ivme katsayısını, S_1 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısını, F_s kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısını, F_1 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısını, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını ve S_{D1} 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. Ayrıca her üç deprem seviyesinde T_A (Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu), T_B (Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu), T_{AD} (Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu) ve T_{BD} (Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu) değerleri TBDY-2018’de verilen ilgili bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. DS-1 için 0,100 s (T_A); 0,499 s (T_B); 0,033 s (T_{AD}) ve 0,166 s (T_{BD}) değerlerini almıştır. DS-2 için 0,099 s (T_A); 0,495 s (T_B); 0,033 s (T_{AD}) ve 0,165 s (T_{BD}) olarak hesaplanmıştır. DS-3 için 0,090 s (T_A); 0,448 s (T_B); 0,030 s (T_{AD}) ve 0,149 s (T_{BD}) değerleri bulunmuştur. İncelenen binanın bina kullanım sınıfı (BKS), deprem tasarım sınıfı (DTS) ve bina yükseklik sınıfı (BYS), TBDY-2018’de verilen tanımlara göre isimlendirilmiştir: Binaların her ikisinin de kullanım amacı konut olduğu için BKS=3 bina önem katsayısı (I) 1’dir, Çizelge 2.8. S_{DS} değerleri 0.75 değerinden büyük olduğundan ve de BKS değerine bağlı olarak incelenen binalar için DTS=1’dir, Çizelge 2.9. Binaların toplam yükseklikleri (H_N) 30 m (Bodrum kat olmadığından temel üst kotundan itibaren olan yükseklik) ve DTS=1 dikkate alınarak bina yükseklik sınıfları BYS=4 olarak belirlenmiştir, Çizelge 2.10.

Çizelge 2.7 : Elastik tasarım spektrum katsayıları.

Deprem Seviyesi	S_s	S_1	F_s	F_1	S_{DS}	S_{D1}
DS-1	1,263	0,318	1,000	1,982	1,263	0,630
DS-2	1,029	0,269	1,088	2,062	1,120	0,555
DS-3	0,644	0,163	1,285	2,274	0,827	0,371

Çizelge 2.8 : Bina kullanım amacı, (TBDY 2018’den alınmıştır.)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (<i>I</i>)
BKS=1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1,2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1,0

Çizelge 2.9 : Deprem tasarım sınıfının belirlenmesi, (TBDY 2018’den alınmıştır.)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (SDS)	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

Tez çalışmasında inceleme konusu olan binaların, deprem yer hareketi düzeyi DD-2 (Standart Tasarım Deprem Yer Hareketi) altında Kontrollü Hasar Performans Hedefini sağlaması ve tasarım yaklaşımının DGT (Dayanıma göre tasarım) olması gerekmektedir, Çizelge 2.11. Binaların taşıyıcı sistemi deprem etkilerinin tamamının

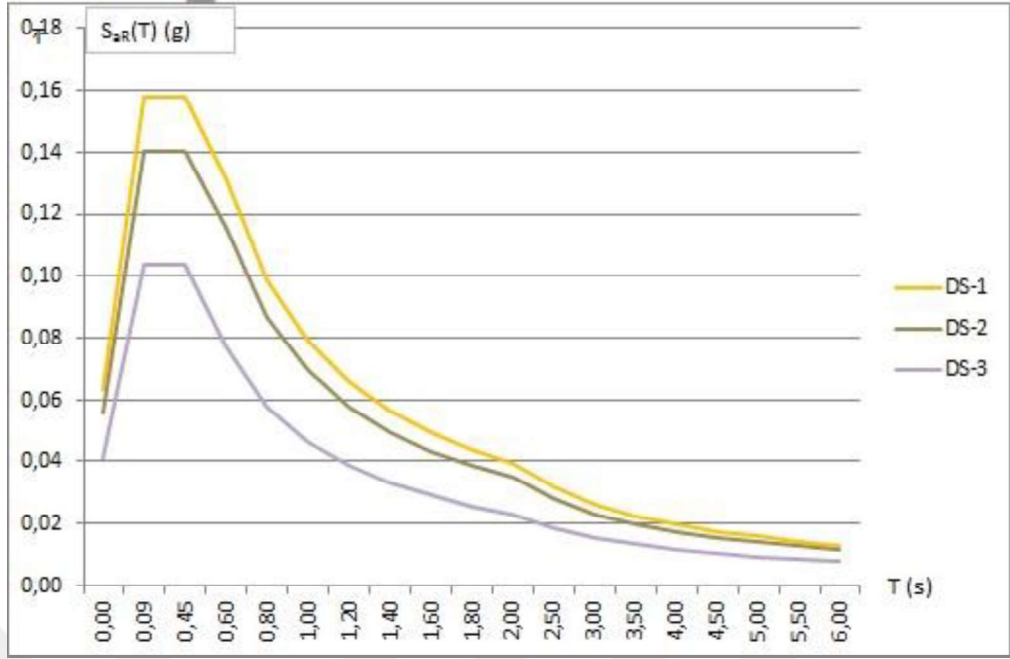
moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılanacak şekilde seçilmiştir. Binaların süneklik düzeyinin yüksek olması planlandığı için TBDY-2018’ de taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D), sırasıyla, 8 ve 3 olarak belirlenmiştir, Çizelge 2.12. Her iki bina için deprem yükü azaltma katsayıları $R_a(T)$ yatay deprem için $T > T_B$ olduğundan denklem (2.2) kullanılarak 8 olarak belirlenmiştir. Düşey deprem için de $T > T_{BD}$ olduğundan denklem (2.2) kullanılarak $R_a(T)$, 8 olarak belirlenmiştir. Her iki deprem doğrultusu için azaltılmış yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 da yer almaktadır.

Çizelge 2.10 : Bina yükseklik sınıfının belirlenmesi, (TBDY 2018’den alınmıştır.).

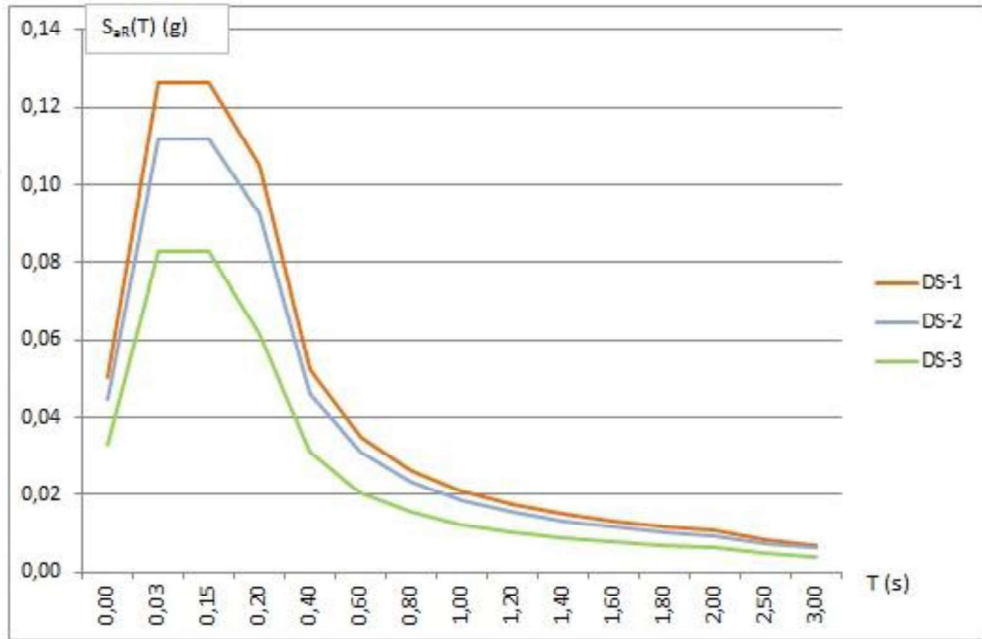
Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$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

Çizelge 2.11 : Bina performans hedefinin belirlenmesi. (TBDY-2018’den alınmıştır.).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1,1a, 2, 2a, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a , 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	-	-	KH	ŞGDT



Şekil 2.5 : Her deprem doğrultusu için azaltılmış yatay elastik tasarım spektrumları.



Şekil 2.6 : Her deprem doğrultusu için azaltılmış düşey elastik tasarım spektrumları.

$$R_a(T) = R/I \quad (2.2)$$

Çizelge 2.12 : Binaların taşıyıcı sisteminin seçilmesi. (TBDY-2018'den alınmıştır).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
<i>A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ</i>			
<i>A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler</i>			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
A12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2,5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2,5	$BYS \geq 2$
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2,5	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2,5	$BYS \geq 2$
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-

3. SONLU ELEMAN MODELİ VE MODAL ANALİZ

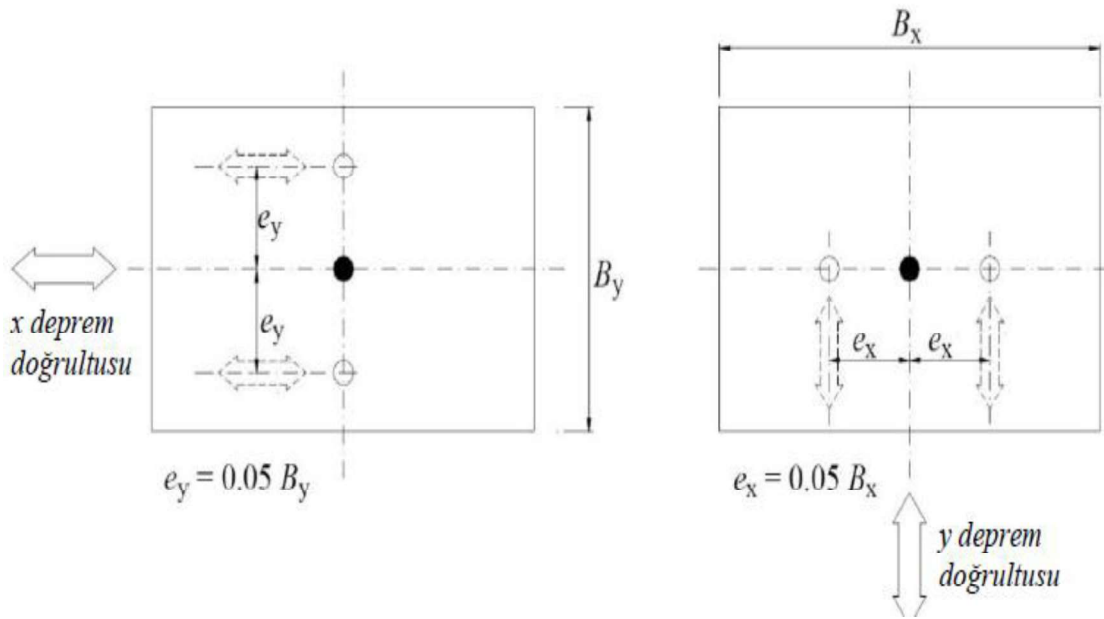
3.1 Her İki Binaya Ait Modelleme Esasları

İncelemeye konu olan binaların üç boyutlu sonlu eleman modelleri, SAP2000 v21 [27] sonlu eleman programı kullanılarak oluşturulmuştur. Modellemeler TBDY-2018 [25] Madde 4.5 “Doğrusal Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesine İlişkin Kurallar” kısmına uygun olarak yapılmıştır. Taşıyıcı sistem 3 boyutlu olarak oluşturulmuş ve deprem etkilerini belirlemek için iki yatay ve bir düşey olmak üzere toplam üç deprem bileşeni etkisi altında yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Kolon ve kirişler çubuk sonlu elemanlar olarak modellenmiştir. Kolon ve kiriş birleşim noktalarında 6 serbestlik derecesinin tümü göz önüne alınmış ve döşemeler rijit diyafram olarak modellenmiştir. Analizlerde sönüm oranı %5 olarak alınmış ve etkin kesit rijitliği çarpanları, kolon elemanlar için 0.70 ve kiriş elemanlar için 0.35 olarak dikkate alınmıştır, Çizelge 3.1.

Çizelge 3.1 : Etkin kesit rijitlikleri, (TBDY-2018’den alınmıştır.)

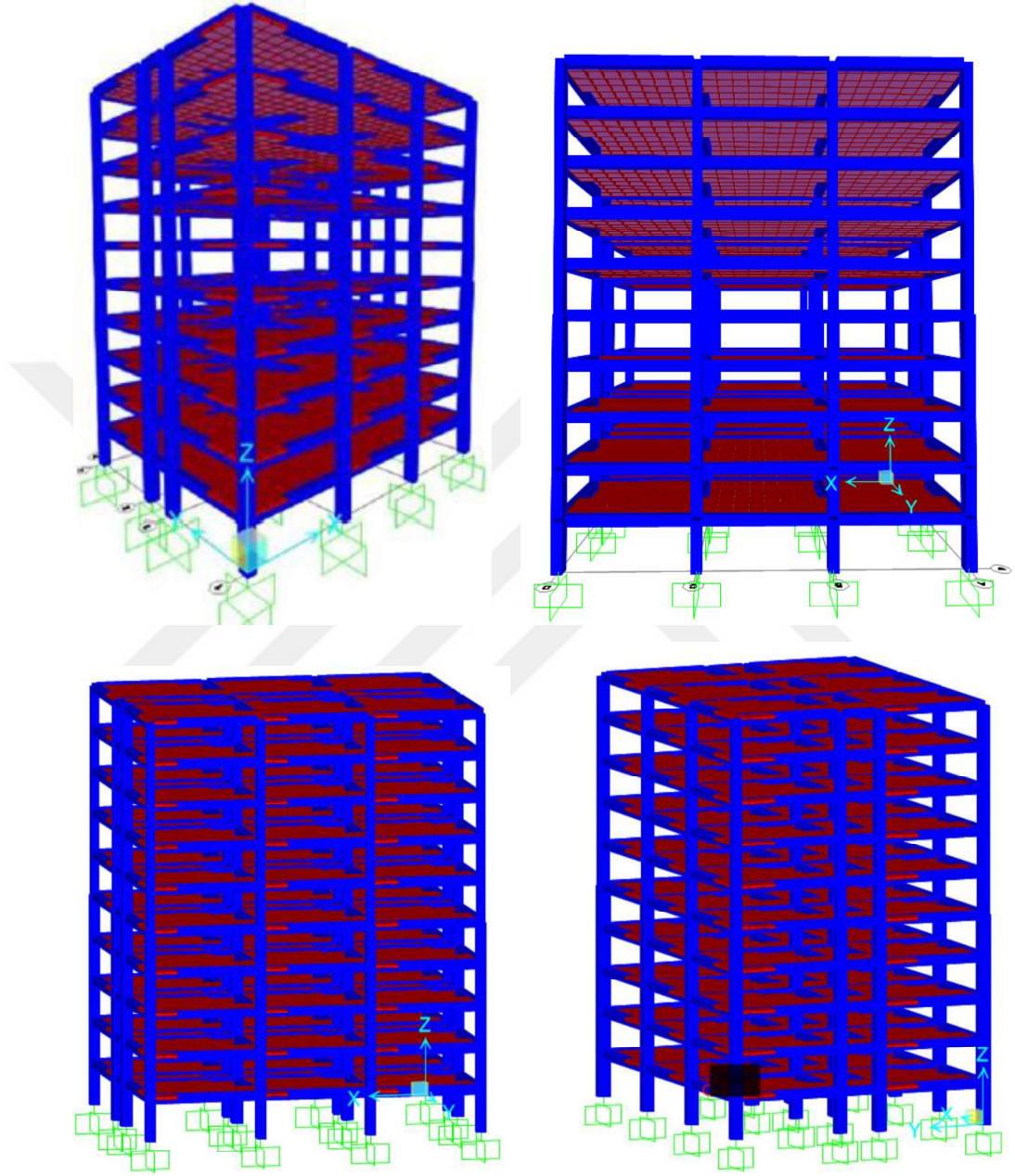
Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0,50	0,50
Bodrum perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0,25	1,00
Bodrum perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0,15	1,00
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Perde (eşdeğer çubuk)	0,50	0,50

Teze konu olan binalar (a) A2 ve A3 türü düzensizlikler içermemektedir, (b) planda düzenlidir ve (c) döşeme kalınlığı konusunda ilgili yönetmelik koşullarını yerine getirmektedir. Bu nedenle binaların kat döşemelerinde düzlem içi şekildeğişikliklerin meydana gelmeyeceği beklenmektedir. Bunlar dikkate alınarak döşemeler, kabuk eleman olarak kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak modellenmiştir. İki yatay öteleme ve düşey eksen etrafında dönme olmak üzere kat döşemelerinin serbestlik derecesi üç olarak tanımlanmıştır. Konutlar için $n=0,3$ olan hareketli yük kütle katılım katsayısı dikkate alındı. $\pm\%5$ ek dış merkezlik etkileri modellemeye yansıtılmıştır, Şekil 3.1.

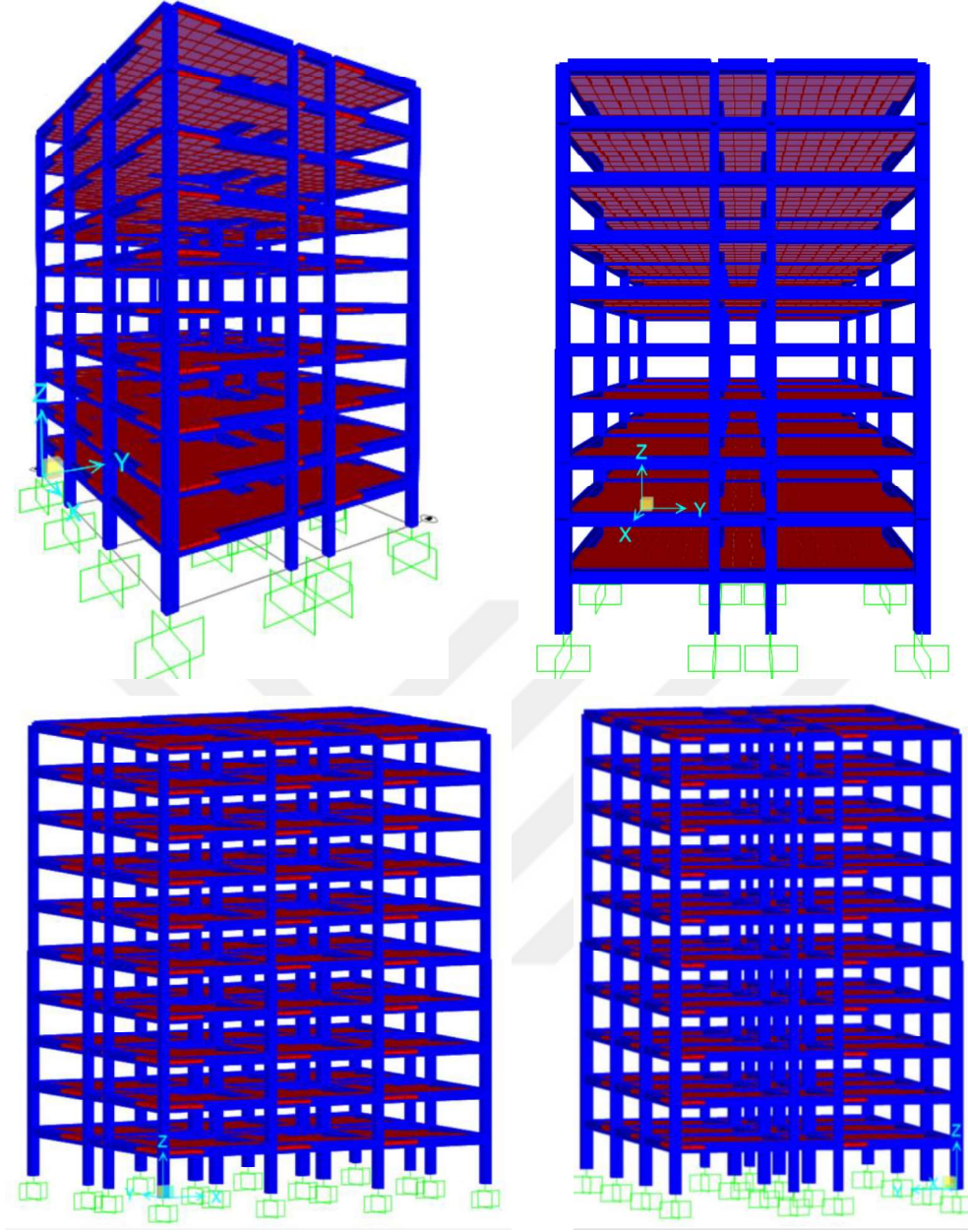


Şekil 3.1 : Ek dış merkezlik etkileri, (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007’den alınmıştır.).

Zemin kat kolonlarının alt uç mesnet şartları ankastre olarak tanımlanmıştır. Yapıların temelleri inceleme konusu olmayıp, yeterince güvenli ve rijit kabul edilerek yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Binaların sonlu eleman model görüntüleri, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 ’de verilmektedir.



Şekil 3.2 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın sonlu eleman modeli.



Şekil 3.3 : Göreli kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binanın sonlu eleman modeli.

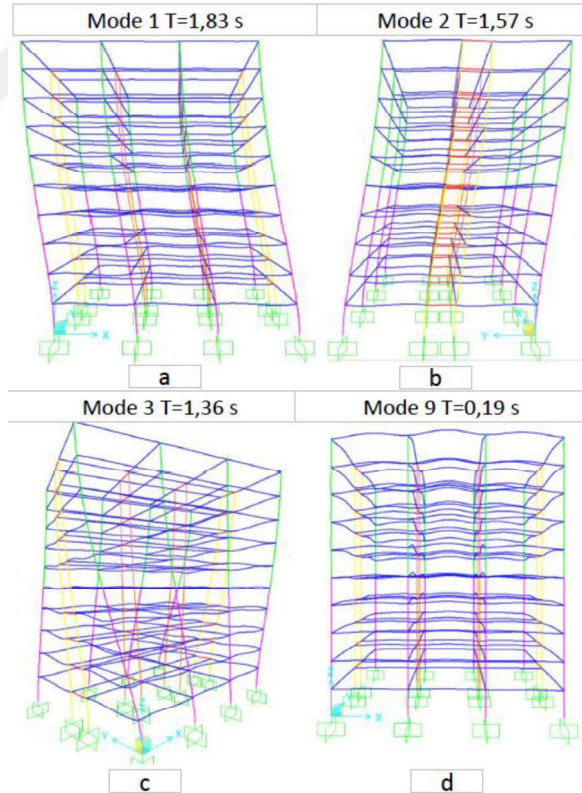
3.2 Göreli Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binanın Modal Analizi

Görelî Kat Ötelemeleri standart tasarım depremi etkileri altında 0,008 κ ile sınırlandırılan binanın binanın mod şekillerini, modal titreşim periyot değerlerini ve etkin kütle katılım oranlarını elde etmek için Ritz metodu kullanılarak modal analiz yapılmıştır. Binanın ilk 10, 16 ve 30. Moduna karşı gelen periyot değerleri ve toplam etkin kütle katılım oranları Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın periyot değerleri ve modal etkin kütle toplamı.

Mod	Periyot (s)	Modal etkin kütle toplamı (%)		
		X	Y	Z
1	1,83	77,71	0,00	0,00
2	1,57	77,71	76,91	0,00
3	1,36	77,71	76,91	0,00
4	0,58	88,13	76,91	0,00
5	0,50	88,13	88,36	0,00
6	0,32	92,54	88,36	0,00
7	0,27	92,54	92,72	0,00
8	0,20	94,99	92,72	0,00
9	0,19	94,99	92,72	52,37
10	0,19	94,99	92,77	52,37
16	0,17	95,00	95,17	63,48
30	0,03	99,98	99,98	98,67

Modal analiz ile binanın X ve Y doğrultularındaki hakim doğal titreşim periyotları ($T_p^{(X)}$ ve $T_p^{(Y)}$), sırasıyla, 1.83 s ve 1.57 s olarak belirlenmiştir. Bina modal analiz sonuçlarından elde edilen eğilme (mod 1 ve mod 2), burulma (mod 3) ve düşey (mod 9) titreşim mod şekilleri, sırasıyla, Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın mod şekilleri: (a) birinci mod-X, (b) ikinci mod-Y, (c) üçüncü mod burulma ve (d) dokuzuncu mod-Z.

Bina, etkin olarak ilk iki modda eğilme ve dokuzuncu modda düşey doğrultuda titreşim hareketi yapmaktadır. Binanın TBDY-2018’de verilen bağıntıya göre ampirik olarak X ve Y doğrultuları için saptanan hakim periyot değeri (T_{pA}) 1,282 s olarak hesaplanmıştır. TBDY-2018 gereği, binanın X doğrultusunda modal analiz ile saptanan hakim doğal titreşim periyodu (1.830 s), ampirik değerin (1,282 s) 1.4 katından (1.795 s) daha büyük olduğu için bu doğrultudaki deprem hesabında 1.795 s periyot değeri dikkate alınmıştır. Y doğrultusunda ise hakim doğal titreşim periyodu (1.57 s) ampirik değerin 1.4 katından küçük olduğu için Y doğrultusundaki deprem hesabı 1,570 s periyot değerine göre yapılmıştır. Binanın X ve Y doğrultuları için %95 etkin kütle oranına, onaltıncı modda eriştiği görülmektedir, Çizelge 3.2.

3.3 Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binanın Modal Analizi

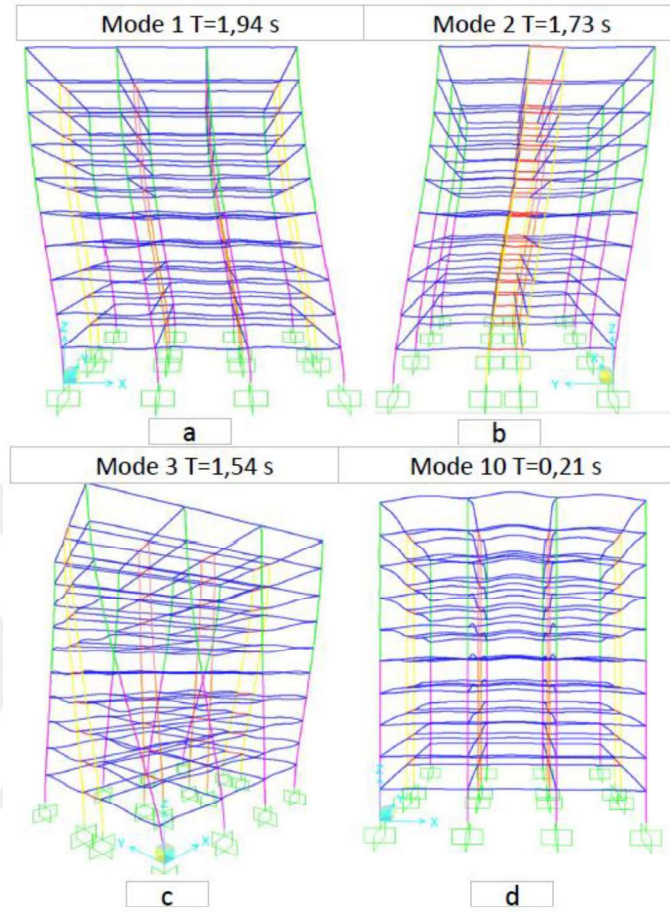
Görelî Kat Ötelemeleri standart tasarım depremi etkileri altında 0,016 κ ile sınırlandırılan binanın mod şekillerini, modal titreşim periyot değerlerini ve etkin kütle katılım oranlarını elde etmek için Ritz metodu kullanılarak modal analiz yapılmıştır. Binanın ilk 10, 16 ve 30. Moduna karşı gelen periyot değerleri ve toplam etkin kütle katılım oranları Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3.3 : Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binanın periyot değerleri ve modal etkin kütle toplamı

Mod	Periyot (s)	Modal etkin kütle toplamı (%)		
		X	Y	Z
1	1,94	78,71	0,00	0,00
2	1,73	78,71	77,50	0,00
3	1,54	78,71	77,50	0,00
4	0,64	89,20	77,50	0,00
5	0,57	89,20	89,06	0,00
6	0,36	93,17	89,06	0,00
7	0,31	93,17	93,10	0,00
8	0,24	95,46	93,10	0,00
9	0,21	95,46	95,36	0,00
10	0,21	95,46	95,36	57,49
16	0,17	96,90	95,45	69,65
30	0,03	99,98	99,98	98,87

Modal analiz ile binanın X ve Y doğrultularındaki hakim doğal titreşim periyotları ($T_p^{(X)}$ ve $T_p^{(Y)}$), sırasıyla, 1.94 s ve 1.73 s olarak belirlenmiştir. Binanın modal analiz

sonuçlarından elde edilen eğilme (mod 1 ve mod 2), burulma (mod 3) ve düşey (mod 10) titreşim mod şekilleri Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın mod şekilleri: (a) birinci mod-X, (b) ikinci mod-Y, (c) üçüncü mod burulma ve (d) dokuzuncu mod-Z.

Bina etkin olarak ilk iki modda eğilme, üçüncü modda burulma ve 10. modda düşey doğrultuda titreşim hareketi yapmaktadır. Binanın TBDY-2018 de verilen bağıntıya göre ampirik olarak X ve Y doğrultuları için saptanan hakim periyot değeri (T_{pA}) 1,282 s olarak hesaplanmıştır. TBDY-2018 gereği binanın X doğrultusunda modal analiz ile saptanan hakim doğal titreşim periyodu 1,94 s, ampirik değerin (1,282 s) 1,4 katından (1,795 s) daha büyük olduğu için bu doğrultudaki deprem hesabında 1,795 s periyot değeri dikkate alınmıştır. Y doğrultusunda ise hakim doğal titreşim periyodu 1,73 s, ampirik değerin (1,282 s) 1,4 katından (1,795 s) daha küçük olduğu için Y doğrultusundaki deprem hesabı 1,73 s değerine göre yapılmıştır. Binanın X ve Y

doğrultuları için %95 etkin kütle katılım oranına sırasıyla 8. ve 9. modlarda ulaştığı görülmektedir, Çizelge 3.3.

Birinci binanın kolon elemanlarının rijitliği, ikinci binanın kolon elemanlarının rijitliğinden daha büyük olduğu için birinci binanın hakim periyodu ikinci binanın periyodundan daha küçük olarak elde edilmiştir. Her iki binanın ilk üç modu aynı karakteristiği göstermektedir. Her iki binanın ilk beş moduna karşı gelen modal kütle oranlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir, Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2.



4. DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNALARIN DAYANIMA GÖRE HESABI

4.1 Hesap Yönteminin Belirlenmesi

Tez çalışmasında, dayanıma göre tasarım yaklaşımı benimsenerek yapısal analizler için mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, malzeme davranışını doğrusal ve etkileri de dinamik olarak dikkate almaktadır. Bilindiği üzere, Mod Birleştirme yöntemi ile hesap yapılmak istenen bir deprem doğrultusunda, ilgili deprem tasarım spektrumundan yararlanılarak göz önüne alınan her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin (iç kuvvetler, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi oranı vb.) en büyük değerleri hesaplanmaktadır. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan en büyük modal davranış büyüklükleri eşzamanlı olmadıkları için istatistiksel olarak birleştirilerek davranış büyüklüklerinin en büyük değerleri yaklaşık elde edilir, TBDY-2018.

4.2 Doğrusal Deprem Hesabı

TBDY-2018, Mod Birleştirme Yöntemi için birbirine dik her iki deprem doğrultusunda da modal etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütesine oranının en az %95 olmasını sağlayacak kadar mod sayısının hesaba katılması gerektiğini belirtmektedir. Modal etkin kütle oranının %3'den büyük bütün modların hesaba dahil edilmesi gerektiği de belirtilmektedir. Her iki doğrultu için hesaplanan yeterli titreşim modu sayısının en büyüğünün üç boyutlu hesapta dikkate alınması gerektiğine de işaret edilmektedir, [25]. Ancak TBDY-2018 tüm binanın düşey deprem etkileri altında analiz edilmesi durumu için dikkate alınması gereken yeterli titreşim modu sayısını tanımlamamaktadır. Bu çalışmada, TBDY-2018'e göre yatay doğrultular için benimsenen yeterli titreşim modu sayısı kriteri, düşey doğrultu için de benimsenmiştir.

Her bir deprem seviyesi (DS-1, DS-2 ve DS-3) için üç yapısal analiz yapılmıştır. Zemin kat kolon ve kiriş elemanları için tasarıma karşı gelen iç kuvvetleri ve boyuna donatı oranlarını hesaplamak amaçlanmıştır. Analizler, dikkate alınan dış etkiler ve

düşey deprem etkisinin ele alınış şekli bakımından farklı yüklemeler altında yapılmıştır. Birinci yüklemde, düşey yükler (DY) ve yatay deprem (YD) etkileri dikkate alınmaktadır. İkinci yüklemde, birinci yüklemdeki etkilere ek olarak düşey deprem etkisi ($E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$) yaklaşımı ile, üçüncü yüklemde ise birinci yüklemdeki yüklere ek olarak düşey deprem etkileri, düşey spektrum yaklaşımına göre deprem hesabına dahil edilmiştir. Sunulan çalışmada bu yüklemeler, sırasıyla dikkate alınan etkilerin ilk harfleri ile DY–YD, DY–YD–DD(2/3) ve DY–YD–DD(S) olarak gösterilmektedir. Depremin 3 farklı seviyesinde (DS-1, DS-2 ve DS-3), üçer yüklem için olmak üzere toplam 9 yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Yük kombinasyonları TS500 (2000) ve TBDY-2018'in ilgili maddelerine göre belirlenmiştir. Yük kombinasyonlarında kullanılan yük durumları, Çizelge 4.1'de listelenmiştir. EHX yük kombinasyonu Ex Spek, Ex + %5 Spek, Ex - %5 Spek yük durumlarının zarfı, EHY yük kombinasyonu ise Ey Spek, Ey + %5 Spek, Ey - %5 Spek yük durumlarının zarfıdır. Yatay deprem etkilerinde doğrultu birleştirmesi uygulanmıştır.

Çizelge 4.1 : Yük durumları.

G	Sabit Yük
Q	Hareketli Yük
S	Kar Yüğü
Ex Spek	X Yönü Deprem Yüğü
Ex + %5 Spek	X Yönü Deprem Yüğü +%5 Dış Merkezlik İle
Ex - %5 Spek	X Yönü Deprem Yüğü -%5 Dış Merkezlik İle
Ey Spek	Y Yönü Deprem Yüğü
Ey + %5 Spek	Y Yönü Deprem Yüğü +%5 Dış Merkezlik İle
Ey - %5 Spek	Y Yönü Deprem Yüğü -%5 Dış Merkezlik İle
DS	Düşey Deprem Yüğü Düşey Spektrum İle
DS-23G	Düşey Deprem Yüğü (2/3) S_{DS} G Formülü İle

DY-YD analiz durumunda sünek davranışa ait toplam 17 adet yük kombinasyonu tanımlanmıştır. Her bir yük kombinasyonunun adı ve açılımları aşağıda Çizelge 4.2 de gösterilmiştir. DY-YD-DD(2/3) analiz durumunda sünek davranışa ait toplam 17 adet yük kombinasyonu tanımlanmıştır. Her bir yük kombinasyonunun adı ve açılımları aşağıda Çizelge 4.3 de gösterilmiştir. DY-YD-DD(S) analiz durumunda sünek davranışa ait toplam 17 adet yük kombinasyonu tanımlanmıştır. Her bir yük kombinasyonunun adı ve açılımları aşağıda Çizelge 4.4 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : DY-YD Analiz durumunda sünek davranışa karşı gelen yük kombinasyonları.

Kombinasyon Adı	Kombinasyon Açılımı
C1	$1,4G + 1,6Q + 1,6S$
C2-1	$G+Q+0,2S+EHX+0,3EHY$
C2-2	$G+Q+0,2S-EHX+0,3EHY$
C2-3	$G+Q+0,2S+EHX-0,3EHY$
C2-4	$G+Q+0,2S-EHX-0,3EHY$
C3-1	$G+Q+0,2S+0,3EHX+EHY$
C3-2	$G+Q+0,2S+0,3EHX-EHY$
C3-3	$G+Q+0,2S-0,3EHX+EHY$
C3-4	$G+Q+0,2S-0,3EHX-EHY$
C4-1	$0,9G+EHX+0,3EHY$
C4-2	$0,9G+EHX-0,3EHY$
C4-3	$0,9G-EHX+0,3EHY$
C4-4	$0,9G-EHX-0,3EHY$
C5-1	$0,9G+0,3EHX+EHY$
C5-2	$0,9G+0,3EHX-EHY$
C5-3	$0,9G-0,3EHX+EHY$
C5-4	$0,9G-0,3EHX-EHY$

Çizelge 4.3 : DY-YD-DD(2/3) Analiz durumunda sünek davranışa karşı gelen yük kombinasyonları.

Kombinasyon Adı	Kombinasyon Açılımı
C1	$1,4G + 1,6Q + 1,6S$
C2-1	$G+Q+0,2S+EHX+0,3EHY+0,3(DS-23G)$
C2-2	$G+Q+0,2S-EHX+0,3EHY+0,3(DS-23G)$
C2-3	$G+Q+0,2S+EHX-0,3EHY+0,3(DS-23G)$
C2-4	$G+Q+0,2S-EHX-0,3EHY+0,3(DS-23G)$
C3-1	$G+Q+0,2S+0,3EHX+EHY+0,3(DS-23G)$
C3-2	$G+Q+0,2S+0,3EHX-EHY+0,3(DS-23G)$
C3-3	$G+Q+0,2S-0,3EHX+EHY+0,3(DS-23G)$
C3-4	$G+Q+0,2S-0,3EHX-EHY+0,3(DS-23G)$
C4-1	$0,9G+EHX+0,3EHY-0,3(DS-23G)$
C4-2	$0,9G+EHX-0,3EHY-0,3(DS-23G)$
C4-3	$0,9G-EHX+0,3EHY-0,3(DS-23G)$
C4-4	$0,9G-EHX-0,3EHY-0,3(DS-23G)$
C5-1	$0,9G+0,3EHX+EHY-0,3(DS-23G)$
C5-2	$0,9G+0,3EHX-EHY-0,3(DS-23G)$
C5-3	$0,9G-0,3EHX+EHY-0,3(DS-23G)$
C5-4	$0,9G-0,3EHX-EHY-0,3(DS-23G)$

Çizelge 4.4 : DY-YD-DD(S) Analiz durumunda sünek davranışa karşı gelen yük kombinasyonları.

Kombinasyon Adı	Kombinasyon Açılımı
C1	1,4G +1,6Q +1,6S
C2-1	G+Q+0,2S+EHX+0,3EHY+0,3DS
C2-2	G+Q+0,2S-EHX+0,3EHY+0,3DS
C2-3	G+Q+0,2S+EHX-0,3EHY+0,3DS
C2-4	G+Q+0,2S-EHX-0,3EHY+0,3DS
C3-1	G+Q+0,2S+0,3EHX+EHY+0,3DS
C3-2	G+Q+0,2S+0,3EHX-EHY+0,3DS
C3-3	G+Q+0,2S-0,3EHX+EHY+0,3DS
C3-4	G+Q+0,2S-0,3EHX-EHY+0,3DS
C4-1	0,9G+EHX+0,3EHY+0,3DS
C4-2	0,9G+EHX-0,3EHY+0,3DS
C4-3	0,9G-EHX+0,3EHY+0,3DS
C4-4	0,9G-EHX-0,3EHY+0,3DS
C5-1	0,9G+0,3EHX+EHY-0,3DS
C5-2	0,9G+0,3EHX-EHY-0,3DS
C5-3	0,9G-0,3EHX+EHY-0,3DS
C5-4	0,9G-0,3EHX-EHY-0,3DS

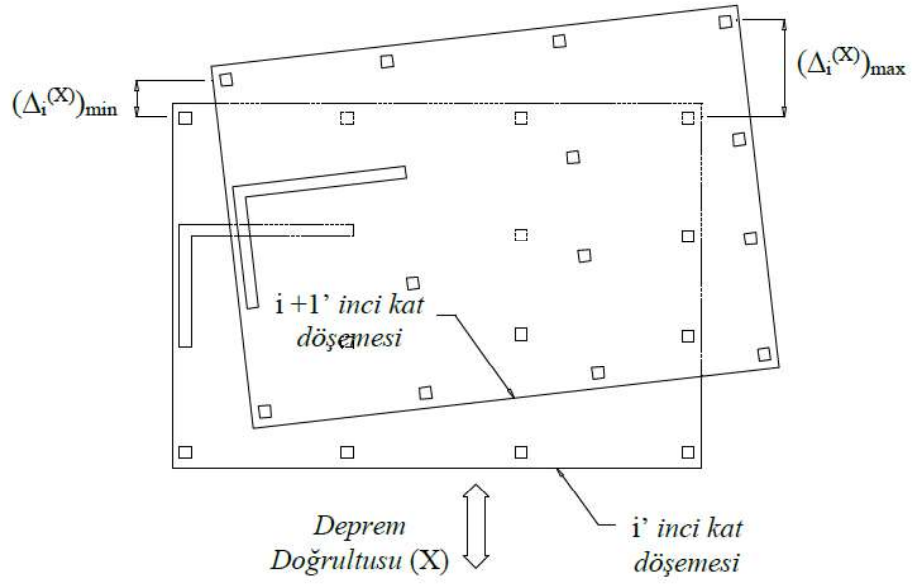
4.3 Binalardaki Düzensizliklerin Hesaplanması

4.3.1 A1 burulma düzensizliği

TBDY-2018 Madde 3.6.1’de burulma düzensizliğinin hesaplanması aşağıda Şekil 4.1’de gösterildiği şekilde tariflenmiştir. Tez kapsamındaki çalışmada, burulma düzensizliğinin kontrol edildiği düğüm noktaları, yeşil yuvarlak ile Şekil 4.2’de işaretlenmiştir. Her iki bina için yapılan analiz sonuçları kullanılarak burulma düzensizliği katsayısı hesaplanmış ve 1.2 sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. Dolayısıyla, her iki binada A1 burulma düzensizliği mevcut değildir. Örnek bir hesaplama Çizelge 4.5’de görel kat öteleme oranı 0,008 κ ile sınırlandırılmış binanın yüksek (DS-1) deprem etkisi altında DY-YD-DD(s) analiz durumu için gösterilmiştir.

4.3.2 A2 döşeme süreksizlikleri

Kat döşemelerinin düzlem içi rijitlik ve dayanımlarında ani azalmalar ve deprem yüklerinin aktarılmasına engel olacak süreksizlikler mevcut değildir. Dolayısıyla A2 döşeme süreksizliği her iki binada da bulunmamaktadır.



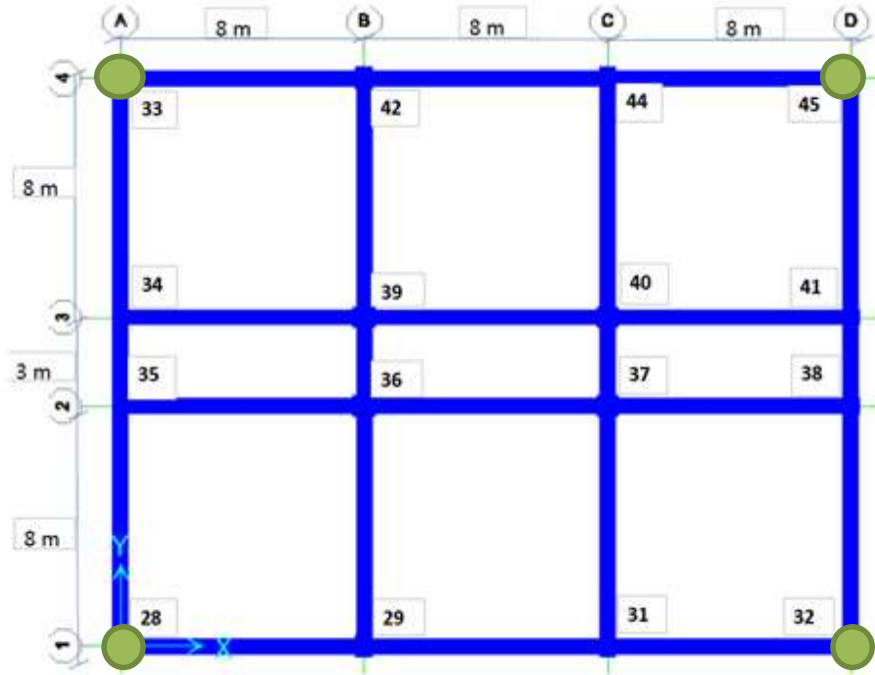
Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

$$(\Delta_i^{(X)})_{ort} = 1/2 [(\Delta_i^{(X)})_{max} + (\Delta_i^{(X)})_{min}]$$

$$\text{Burulma düzensizliği katsayısı: } \eta_{bi} = (\Delta_i^{(X)})_{max} / (\Delta_i^{(X)})_{ort}$$

$$\text{Burulma düzensizliği durumu: } \eta_{bi} > 1.2$$

Şekil 4.1 : Binalardaki burulma düzensizliğinin hesaplanması, (TBDY-2018'den alınmıştır).



Şekil 4.2 : A1 düzensizliğinin kontrol edildiği düğüm noktaları

Çizelge 4.5 : A1 Burulma Düzensizliği Kontrolü

	Kat No	$d_{i,min}$ (cm)	$d_{i,max}$ (cm)	$\Delta_{i,min}$	$\Delta_{i,max}$	$\Delta_{i,ort}$	η_{bi}		
EX Spek Yüklemesi	1	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	1,00	<	1,20
	2	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	<	1,20
	3	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	1,00	<	1,20
	4	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	1,00	<	1,20
	5	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	1,00	<	1,20
	6	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	1,00	<	1,20
	7	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	1,00	<	1,20
	8	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	1,00	<	1,20
	9	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	1,00	<	1,20
	10	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	1,00	<	1,20
EX+0%5 Spek Yüklemesi	1	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	1,00	<	1,20
	2	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	1,00	<	1,20
	3	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00	<	1,20
	4	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,00	<	1,20
	5	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	1,00	<	1,20
	6	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	1,00	<	1,20
	7	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	1,00	<	1,20
	8	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	1,00	<	1,20
	9	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	1,00	<	1,20
	10	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	1,00	<	1,20
EX-0%5 Spek Yüklemesi	1	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	1,00	<	1,20
	2	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	1,00	<	1,20
	3	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00	<	1,20
	4	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,00	<	1,20
	5	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	1,00	<	1,20
	6	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	1,00	<	1,20
	7	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	1,00	<	1,20
	8	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	1,00	<	1,20
	9	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	1,00	<	1,20
	10	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	1,00	<	1,20
EY Spek Yüklemesi	1	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	1,00	<	1,20
	2	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	1,00	<	1,20
	3	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	1,00	<	1,20
	4	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	1,00	<	1,20
	5	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	1,00	<	1,20
	6	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	1,00	<	1,20
	7	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	<	1,20
	8	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	1,00	<	1,20
	9	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	<	1,20
	10	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	1,00	<	1,20
EY+0%5 Spek Yüklemesi	1	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	1,00	<	1,20
	2	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	1,00	<	1,20
	3	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	1,00	<	1,20
	4	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	1,00	<	1,20
	5	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	1,00	<	1,20
	6	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	1,00	<	1,20
	7	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	1,00	<	1,20
	8	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	<	1,20
	9	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	1,00	<	1,20
	10	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	1,00	<	1,20
EY-0%5 Spek Yüklemesi	1	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	1,00	<	1,20
	2	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	1,00	<	1,20
	3	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	1,00	<	1,20
	4	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	1,00	<	1,20
	5	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	1,00	<	1,20
	6	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	1,00	<	1,20
	7	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	1,00	<	1,20
	8	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	<	1,20
	9	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	1,00	<	1,20
	10	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	1,00	<	1,20

4.3.3 A3 planda çıkıntılar bulunması

Binaların planda şekli dikdörtgen olup herhangi bir çıkıntı mevcut olmadığı için A3 düzensizliği iki binada da bulunmamaktadır.

4.3.4 B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliği

TBDY-2018, Madde 3.6.1'e göre betonarme binalarda, B1 düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının, bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumudur. Yapılan hesaplamalar, her iki binada da B1 komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin mevcut olmadığını göstermektedir.

4.3.5 B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği

B2 düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumudur (TBDY-2018, 3.6.1). Rijitlik düzensizliği katsayısı 9 analiz durumu için hesaplanmış ve sınır değerin aşılmadığı dolayısıyla B2 düzensizliğinin olmadığı görülmüştür. Örnek bir komşu katlar arası rijitlik düzensizliği hesabı, Çizelge 4.6'de görelî kat öteleme oranı 0,008 κ ile sınırlandırılmış binanın yüksek (DS-1) deprem etkisi altında DY-YD-DD(s) analiz durumu için gösterilmiştir.

4.3.6 B3 taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak girişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumudur. Özel koşulları TBDY 3.6.2.4'te verilen B3 düzensizliği her iki binada da bulunmamaktadır. Her iki binaya ait düzensizlik durumlarını ve aldıkları sayısal değerleri özetleyen tablolar Çizelge 4.7 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği hesabı.

	Kat No	h_i (cm)	$\Delta_{i,ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	η_{ki} (Üst Kat)	η_{ki} (Alt Kat)
EX Spek Yüklemesi	1	300	0,42	0,0014	0,53	-
	2	300	0,80	0,0027	0,89	1,90
	3	300	0,89	0,0030	1,02	1,12
	4	300	0,87	0,0029	1,07	0,98
	5	300	0,81	0,0027	1,07	0,93
	6	300	0,76	0,0025	1,18	0,94
	7	300	0,64	0,0021	1,24	0,85
	8	300	0,52	0,0017	1,37	0,80
	9	300	0,38	0,0013	1,57	0,73
	10	300	0,24	0,0008	-	0,64
EX+-% 5 Spek Yüklemesi	1	300	0,47	0,0016	0,53	-
	2	300	0,88	0,0029	0,90	1,89
	3	300	0,98	0,0033	1,03	1,12
	4	300	0,96	0,0032	1,08	0,98
	5	300	0,89	0,0030	1,07	0,93
	6	300	0,83	0,0028	1,18	0,93
	7	300	0,70	0,0023	1,25	0,85
	8	300	0,57	0,0019	1,37	0,80
	9	300	0,41	0,0014	1,56	0,73
	10	300	0,27	0,0009	-	0,64
EX-% 5 Spek Yüklemesi	1	300	0,47	0,00156	0,53	-
	2	300	0,88	0,00294	0,90	1,89
	3	300	0,98	0,00328	1,03	1,12
	4	300	0,96	0,00320	1,08	0,98
	5	300	0,89	0,00297	1,07	0,93
	6	300	0,83	0,00278	1,18	0,93
	7	300	0,70	0,00235	1,25	0,85
	8	300	0,57	0,00188	1,37	0,80
	9	300	0,41	0,00138	1,56	0,73
	10	300	0,27	0,00089	-	0,64
EY Spek Yüklemesi	1	300	0,31	0,00103	0,54	-
	2	300	0,57	0,00191	0,89	1,87
	3	300	0,64	0,00214	1,02	1,12
	4	300	0,63	0,00210	1,06	0,98
	5	300	0,59	0,00198	1,04	0,94
	6	300	0,57	0,00189	1,14	0,96
	7	300	0,50	0,00167	1,19	0,88
	8	300	0,42	0,00140	1,28	0,84
	9	300	0,33	0,00110	1,41	0,78
	10	300	0,23	0,00078	-	0,71
EY+-%5 Spek Yüklemesi	1	300	0,38	0,00127	0,54	-
	2	300	0,71	0,00235	0,90	1,85
	3	300	0,78	0,00261	1,02	1,11
	4	300	0,77	0,00255	1,07	0,98
	5	300	0,71	0,00238	1,05	0,93
	6	300	0,68	0,00227	1,15	0,95
	7	300	0,59	0,00198	1,20	0,87
	8	300	0,50	0,00165	1,29	0,84
	9	300	0,39	0,00128	1,42	0,78
	10	300	0,27	0,00091	-	0,71
EY-%5 Spek Yüklemesi	1	300	0,38	0,00127	0,54	-
	2	300	0,71	0,00235	0,90	1,85
	3	300	0,78	0,00261	1,02	1,11
	4	300	0,77	0,00255	1,07	0,98
	5	300	0,71	0,00238	1,05	0,93
	6	300	0,68	0,00227	1,15	0,95
	7	300	0,59	0,00198	1,20	0,87
	8	300	0,50	0,00165	1,29	0,84
	9	300	0,39	0,00128	1,42	0,78
	10	300	0,27	0,00091	-	0,71

Çizelge 4.7 : Her iki binaya ait düzensizlik durumlarının özeti.

Görelî Ötelemeleri 0,008 K ile Sınırlı Binada				Görelî Ötelemeleri 0,016 K ile Sınırlı Binada			
Planda		Düşeyde		Planda		Düşeyde	
Düzensizlik	Durum	Düzensizlik	Durum	Düzensizlik	Durum	Düzensizlik	Durum
A1	Yok	B1	1,05-1,06	A1	Yok	B1	1,43-1,43
A2	Yok	B2	0,53-1,90	A2	Yok	B2	0,58-1,73
A3	Yok	B3	Yok	A3	Yok	B3	Yok



5. ANALİZ SONUÇLARI

Sonlu eleman programı ile gerçekleştirilen yapısal analiz sonuçları kullanılarak binaların etkin görelî kat öteleme değeri, ikinci mertebe gösterge değeri, zemin kat taşıyıcı elemanlarının en elverişsiz yükleme durumlarından bulunan tasarıma esas iç kuvvet ve betonarme tasarım sonucu hesap edilen donatı alanları elde edilebilmiştir. DY-YD-DD(2/3) ve DY-YD-DS(S) analizlerine ait sonuçlar birbirleriyle düşey depremin ele alınış yaklaşımını değerlendirmek için karşılaştırılmıştır. Ayrıca düşey depremin tasarıma esas iç kuvvet bileşenleri ve donatı alanı üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere DY-YD-DD(2/3) ve DY-YD-DD(S) analizlerinden elde edilen sonuçlar DY-YD sonuçlarına göre normalize edilerek değerlendirilmiştir. Yapısal analizlerden elde edilen sonuçlar “Taban Kesme Kuvveti ve Yer Değiştirmeler” ile “İç Kuvvet Bileşenleri ve Donatı Alanı” başlıkları altında irdelenmektedir.

5.1 Görelî Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binada Analiz Sonuçları

5.1.1 Taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirmeler

Binanın toplam ağırlığı, 60.822,8 kN olarak hesaplanmıştır. Ağırlık hesabında hareketli yük kütle katılım katsayısı (n), bina kullanım amacına uygun olarak 0.3 alınmıştır. Çatı katı ağırlığı için kar yüklerinin %30’u dikkate alınmıştır [2]. DY-YD, DY-YD-DD(S) ve DY-YD-DD(2/3) analizlerinden elde edilen X ve Y doğrultularındaki taban kesme kuvvetleri, Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Çizelge 5.1 : Görelî kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binada taban kesme kuvvetleri.

Deprem	DY-YD-DD(S)		DY-YD-DD(2/3)		DY-YD	
seviyesi	V_x (kN)	V_y (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)
DS-1	3056.4	3056.3	3056,4	3056,3	3056,4	3056,3
DS-2	2711.4	2710.0	2711,4	2710,0	2711,4	2710,0
DS-3	2002.9	2002.5	2002,9	2002,5	2002,9	2002,5

Taban kesme kuvvetinin ağırlığa oranının %3.3-5.1 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Üç deprem seviyesi için de bina hakim periyoduna karşı gelen spektral ivme değeri,

Şekil 2.3’de görüleceği üzere spektrum eğrisinin düşen kolu üzerinde olduğu için bu oran görece olarak düşük elde edilmiştir. Etkin görelî kat öteleme oranları, DY–YD–DD(S) analizinden elde edilen yerdeğiştirme değerleri kullanılarak [25]’de verildiği gibi denklem (5.1)’in sol tarafı ile hesaplanmış ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq A\kappa \quad (5.4)$$

Denklem (5.1)’de λ katsayısı binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır [25]. Binanın i’inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri, X deprem doğrultusu için $\delta_{i,max}^{(X)}$ ile ve kat yüksekliği h_i ile gösterilmektedir. A çarpanı, duvarları çerçevelerden esnek derz ile ayrılmamış ve ayrılmış binalar için, sırasıyla 0.008 ve 0.016 olarak verilmektedir. κ katsayısı ise betonarme binalar için 1 değerini almaktadır, [25].

Beklenildiği gibi, deprem düzeyi arttıkça etkin görelî kat ötelemesi oranlarının kat içindeki en yüksek değerleri artmaktadır, Çizelge 5.2. DS-2 ve DS-3 seviyelerinde meydana gelen en büyük değerler, duvarları çerçevelerden esnek derz ile ayrılmamış binalar için verilen 0.008 κ sınırını sağlamaktadır. DS-1 seviyesinde ise etkin görelî kat ötelemesi oranının X ve Y doğrultusundaki değerleri, 0.008 κ sınırından daha büyük değerler almaktadır.

Çizelge 5.2 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binada etkin göreli kat Ötelemeleri.

Kat	DS-1		DS-2		DS-3	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.007	0.006	0.004	0.003	0.003	0.003
2	0.014	0.011	0.008	0.006	0.006	0.005
3	0.015	0.012	0.008	0.007	0.007	0.005
4	0.015	0.012	0.008	0.007	0.007	0.005
5	0.014	0.011	0.008	0.006	0.006	0.005
6	0.013	0.011	0.007	0.006	0.006	0.005
7	0.011	0.009	0.006	0.005	0.005	0.004
8	0.009	0.008	0.005	0.004	0.004	0.003
9	0.006	0.006	0.004	0.003	0.003	0.003
10	0.004	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002

TBDY – 2018’e göre II. mertebe etkilerinin yapının iç kuvvetlerine tesiri olup olmadığının tahkikini aşağıda yer alan denklem (5.2) ile yapmamız gerekmiştir. Denklem (5.2)’de $(\Delta_i^{(X)})_{ort}$, (X) deprem doğrultusunda i’inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış göreli kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini, w_k , k’ıncı kata etkiyen toplam ağırlığı ve $V_i^{(X)}$ i’inci katta (X) deprem doğrultusundaki azaltılmış kat kesme kuvvetini göstermektedir. Hesaplanan II. mertebe gösterge değerlerinin en büyüğünün denklem (5.3) ile verilen koşulu sağlaması durumunda II. mertebe etkilerin ihmal edilmesi yani tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabına dahil edilmesi gerekmeyecektir, [25].

Denklem (5.3)’de C_h taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanan bir katsayıyı ($C_h=0,5$), D dayanım fazlalığı katsayısını göstermektedir ($D=3$). İncelenen bina analizlerinde ikinci mertebe etkilerinin ihmal edilmesi için $\theta_{II,max}^{(X)}$ değerinin 0.09 değerinden küçük veya eşit olması gerekmektedir.

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} \sum_{k=i}^N W_k}{V_i^{(x)} h_i} \quad (5.2)$$

$$\theta_{II,max}^{(x)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \quad (5.3)$$

Görelî kat öteleme oranı 0,008 κ ile sınırlı 10 katlı binanın öngörülen deprem düzeylerinde her bir katı için $\theta_{II,i}^{(X)}$ ve $\theta_{II,i}^{(Y)}$ değerleri, Çizelge 5.3'de yer almaktadır. Bu değerler, yapısal analizler doğrusal hesap yöntemi ile yapıldığı için deprem düzeyine göre değişmemektedir. Görüldüğü üzere (Çizelge 5.3), bu değerler, 0.09 sınır değerinin altında kalmaktadır. Bu nedenle yapısal analizlerden elde edilen iç kuvvet bileşenlerinin TBDY-2018 uyarınca artırılması gerekmemektedir.

Çizelge 5.3 : Görelî kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binaya ait 2.mertebe gösterge değerleri.

Kat	X	Y
1	0,028	0,020
2	0,049	0,035
3	0,053	0,038
4	0,049	0,035
5	0,042	0,031
6	0,036	0,027
7	0,027	0,021
8	0,018	0,015
9	0,011	0,010
10	0,006	0,006

5.1.2 İç kuvvet bileşenleri ve donatı alanı

Görelî kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın DY–YD, DY–YD–DD(2/3) ve DY–YD–DD(S) etkileri altında üç farklı deprem seviyesi için Mod Birleştirme Yöntemi ile yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Zemin kat kolonları için tasarıma esas normal kuvvet (N_d) ve X ve Y doğrultularındaki eğilme momentleri (M_{xd} ve M_{yd}) tespit edilmiştir, Çizelge 5.4- 5.6.

Düşey depremin ele alınış yöntemindeki farklılığı ortaya çıkarmak amacıyla düşey spektrum yaklaşımı ve $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ yaklaşımına ait analiz sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca düşey depremi içeren analiz sonuçları, düşey depremi içermeyen analiz sonuçlarına göre normalize edilerek düşey

depremin etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır, Çizelge 5.7. Elde edilen değerlerin aralıkları zemin kat kolonları için Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın DY–YD etkisi altında kolon için tasarıma esas iç kuvvet bileşenleri.

Kolon No	b (cm)	d (cm)	DS-3			DS-2			DS-1		
			Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)
28	60	80	1854,3	508,1	102,7	1720,8	669,9	149,6	1656,4	750,4	173,2
35	75	75	1622,0	505,4	121,1	1216,5	689,7	179,8	1018,6	781,3	208,5
34	75	75	1622,0	567,0	121,1	1216,5	751,3	179,8	1018,6	842,9	208,5
33	60	80	1854,3	433,8	102,7	1720,9	595,6	149,6	1656,5	676,1	173,2
29	60	80	3324,9	458,2	150,2	3208,9	598,1	200,5	3152,7	666,7	225,8
36	75	75	3512,8	406,5	173,9	3168,0	567,1	235,1	3001,1	645,8	264,9
39	75	75	3512,8	506,4	173,9	3168,0	667,0	235,1	3001,1	745,8	264,9
42	60	80	3324,9	337,2	150,2	3208,9	477,1	200,5	3152,7	545,7	225,7
31	60	80	3324,9	458,2	148,8	3208,9	598,1	199,1	3152,7	666,7	224,3
37	75	75	3512,8	406,5	172,9	3168,0	567,1	234,1	3001,1	645,8	263,9
40	75	75	3512,8	506,4	172,9	3168,0	667,0	234,1	3001,1	745,8	263,9
44	60	80	3324,9	337,2	148,8	3208,9	477,1	199,1	3152,7	545,7	224,3
32	60	80	1854,3	508,1	176,4	1720,8	669,9	223,3	1656,4	750,4	246,9
38	75	75	1622,0	505,4	211,6	1216,5	689,7	270,3	1018,6	781,3	298,9
41	75	75	1622,0	567,0	211,6	1216,5	751,3	270,3	1018,6	843,0	298,9
45	60	80	1854,3	433,8	176,4	1720,9	595,6	223,3	1656,5	676,1	246,9

Çizelge 5.5 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın DY-YD-DD (2/3) etkisi altında kolon için tasarıma esas iç kuvvet bileşenleri.

Kolon No	b (mm)	d (mm)	DS-3			DS-2			DS-1		
			Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)
28	60	80	1445,6	501,3	109,5	1167,9	660,7	158,8	1032,3	740,0	183,5
35	75	75	1113,7	511,1	129,4	528,7	-743,7	-259,1	242,3	-834,3	-286,2
34	75	75	1113,7	561,4	129,4	528,7	743,7	-259,1	242,3	834,3	-286,2
33	60	80	1445,6	440,6	109,5	1167,9	604,9	158,8	1032,3	686,5	183,5
29	60	80	2654,5	447,1	150,1	2301,9	583,1	200,3	2128,9	649,8	225,6
36	75	75	2691,1	415,7	173,8	2056,2	579,5	234,9	1746,2	659,9	264,8
39	75	75	2691,1	497,2	173,8	2056,2	654,6	234,9	1746,2	731,8	264,8
42	60	80	2654,5	348,3	150,1	2301,9	492,2	200,3	2128,9	562,7	225,5
31	60	80	2654,5	447,1	148,9	2301,8	583,1	199,3	2128,9	649,8	224,5
37	75	75	2691,1	415,7	173,0	2056,2	579,5	234,2	1746,2	659,9	264,0
40	75	75	2691,1	497,2	173,0	2056,2	654,6	234,2	1746,2	731,8	264,0
44	60	80	2654,5	348,3	148,9	2301,8	492,2	199,2	2128,9	562,7	224,5
32	60	80	1445,6	501,3	169,6	1167,9	660,7	214,2	1032,3	740,0	236,6
38	75	75	1113,7	511,1	203,2	528,7	-743,7	259,1	242,3	-834,3	286,2
41	75	75	1113,7	561,4	203,3	528,7	743,7	259,1	242,3	834,3	286,2
45	60	80	1445,6	440,6	169,6	1167,9	604,9	214,2	1032,3	686,5	236,5

Çizelge 5.6 : Göreli kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binanın DY-YD-DD(S) etkisi altında kolon için tasarıma esas iç kuvvet bileşenleri.

Kolon No	b (mm)	d (mm)	DS-3			DS-2			DS-1		
			Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)
28	60	80	1598,9	513,7	108,3	1354,2	678,1	157,8	1241,0	759,7	182,4
35	75	75	1331,8	510,8	127,2	801,3	697,5	188,7	548,3	-851,8	-309,0
34	75	75	1331,9	572,1	127,2	801,4	758,7	188,7	548,4	851,3	-309,0
33	60	80	1598,9	439,7	108,3	1354,2	604,2	157,8	1241,0	685,8	182,4
29	60	80	2826,1	468,9	151,0	2476,4	613,8	201,6	2321,5	684,5	227,0
36	75	75	2965,9	416,3	174,6	2364,6	581,5	236,1	2089,3	662,2	266,1
39	75	75	2965,9	516,1	174,6	2364,6	681,2	236,1	2089,3	761,9	266,1
42	60	80	2826,1	348,1	151,0	2476,4	493,0	201,6	2321,4	563,8	227,0
31	60	80	2826,1	468,9	149,5	2476,4	613,8	200,2	2321,5	684,5	225,6
37	75	75	2965,9	416,3	173,6	2364,6	581,5	235,1	2089,3	662,2	265,1
40	75	75	2965,9	516,1	173,6	2364,6	681,2	235,1	2089,3	761,9	265,1
44	60	80	2826,1	348,1	149,5	2476,4	493,0	200,1	2321,4	563,8	225,5
32	60	80	1599,0	513,7	182,0	1354,2	678,1	231,5	1241,0	759,7	256,2
38	75	75	1331,9	510,8	217,7	801,4	697,5	279,2	548,3	-851,8	309,0
41	75	75	1331,9	572,1	217,7	801,4	758,7	279,2	548,4	851,3	309,0
45	60	80	1599,0	439,8	182,0	1354,2	604,2	231,5	1241,0	685,8	256,2

Çizelge 5.7 : Zemin kat kolonlarının normalize edilmiş iç kuvvet bileşen değerleri.

	Kolon No	b (cm)	d (cm)	(DY-YD-DD(S)) / (DY-YD)			(DY-YD-DD(2/3)) / (DY-YD)			(DY-YD-DD(S)) / (DY-YD-DD(2/3))		
				Nd	Mdx	Mdy	Nd	Mdx	Mdy	Nd	Mdx	Mdy
DS-1 Normalizasyonlar	28	60	80	0,75	1,01	1,05	0,62	0,99	1,06	1,20	1,03	0,99
	35	75	75	0,54	-1,09	-1,48	0,24	-1,07	-1,37	2,26	1,02	1,08
	34	75	75	0,54	1,01	-1,48	0,24	0,99	-1,37	2,26	1,02	1,08
	33	60	80	0,75	1,01	1,05	0,62	1,02	1,06	1,20	1,00	0,99
	29	60	80	0,74	1,03	1,01	0,68	0,97	1,00	1,09	1,05	1,01
	36	75	75	0,70	1,03	1,00	0,58	1,02	1,00	1,20	1,00	1,00
	39	75	75	0,70	1,02	1,00	0,58	0,98	1,00	1,20	1,04	1,00
	42	60	80	0,74	1,03	1,01	0,68	1,03	1,00	1,09	1,00	1,01
	31	60	80	0,74	1,03	1,01	0,68	0,97	1,00	1,09	1,05	1,00
	37	75	75	0,70	1,03	1,00	0,58	1,02	1,00	1,20	1,00	1,00
	40	75	75	0,70	1,02	1,00	0,58	0,98	1,00	1,20	1,04	1,00
	44	60	80	0,74	1,03	1,01	0,68	1,03	1,00	1,09	1,00	1,00
	32	60	80	0,75	1,01	1,04	0,62	0,99	0,96	1,20	1,03	1,08
	38	75	75	0,54	-1,09	1,03	0,24	-1,07	0,96	2,26	1,02	1,08
	41	75	75	0,54	1,01	1,03	0,24	0,99	0,96	2,26	1,02	1,08
	45	60	80	0,75	1,01	1,04	0,62	1,02	0,96	1,20	1,00	1,08
DS-2 Normalizasyonlar	28	60	80	0,79	1,01	1,05	0,68	0,99	1,06	1,16	1,03	0,99
	35	75	75	0,66	1,01	1,05	0,43	-1,08	-1,44	1,52	-0,94	-0,73
	34	75	75	0,66	1,01	1,05	0,43	0,99	-1,44	1,52	1,02	-0,73
	33	60	80	0,79	1,01	1,05	0,68	1,02	1,06	1,16	1,00	0,99
	29	60	80	0,77	1,03	1,01	0,72	0,97	1,00	1,08	1,05	1,01
	36	75	75	0,75	1,03	1,00	0,65	1,02	1,00	1,15	1,00	1,00
	39	75	75	0,75	1,02	1,00	0,65	0,98	1,00	1,15	1,04	1,00
	42	60	80	0,77	1,03	1,01	0,72	1,03	1,00	1,08	1,00	1,01
	31	60	80	0,77	1,03	1,01	0,72	0,97	1,00	1,08	1,05	1,00
	37	75	75	0,75	1,03	1,00	0,65	1,02	1,00	1,15	1,00	1,00
	40	75	75	0,75	1,02	1,00	0,65	0,98	1,00	1,15	1,04	1,00
	44	60	80	0,77	1,03	1,01	0,72	1,03	1,00	1,08	1,00	1,00
	32	60	80	0,79	1,01	1,04	0,68	0,99	0,96	1,16	1,03	1,08
	38	75	75	0,66	1,01	1,03	0,43	-1,08	0,96	1,52	-0,94	1,08
	41	75	75	0,66	1,01	1,03	0,43	0,99	0,96	1,52	1,02	1,08
	45	60	80	0,79	1,01	1,04	0,68	1,02	0,96	1,16	1,00	1,08
DS-3 Normalizasyonlar	28	60	80	0,86	1,01	1,05	0,78	0,99	1,07	1,11	1,02	0,99
	35	75	75	0,82	1,01	1,05	0,69	1,01	1,07	1,20	1,00	0,98
	34	75	75	0,82	1,01	1,05	0,69	0,99	1,07	1,20	1,02	0,98
	33	60	80	0,86	1,01	1,05	0,78	1,02	1,07	1,11	1,00	0,99
	29	60	80	0,85	1,02	1,01	0,80	0,98	1,00	1,06	1,05	1,01
	36	75	75	0,84	1,02	1,00	0,77	1,02	1,00	1,10	1,00	1,00
	39	75	75	0,84	1,02	1,00	0,77	0,98	1,00	1,10	1,04	1,00
	42	60	80	0,85	1,03	1,01	0,80	1,03	1,00	1,06	1,00	1,01
	31	60	80	0,85	1,02	1,00	0,80	0,98	1,00	1,06	1,05	1,00
	37	75	75	0,84	1,02	1,00	0,77	1,02	1,00	1,10	1,00	1,00
	40	75	75	0,84	1,02	1,00	0,77	0,98	1,00	1,10	1,04	1,00
	44	60	80	0,85	1,03	1,00	0,80	1,03	1,00	1,06	1,00	1,00
	32	60	80	0,86	1,01	1,03	0,78	0,99	0,96	1,11	1,02	1,07
	38	75	75	0,82	1,01	1,03	0,69	1,01	0,96	1,20	1,00	1,07
	41	75	75	0,82	1,01	1,03	0,69	0,99	0,96	1,20	1,02	1,07
	45	60	80	0,86	1,01	1,03	0,78	1,02	0,96	1,11	1,00	1,07

Çizelge 5.8 : Zemin kat kolonlarının normalize edilmiş iç kuvvet bileşen değerlerinin aralıkları.

Oran	İç kuvvet bileşeni	DS-1	DS-2	DS-3
$\frac{DY - YD - DD(2/3)}{DY - YD}$	Nd	0.24-0.68	0.43-0.72	0.69-0.80
	Mdx	0.97-1.07	0.97-1.08	0.98-1.03
	Mdy	0.96-1.37	0.96-1.44	0.96-1.07
$\frac{DY - YD - DD(S)}{DY - YD}$	Nd	0.54-0.75	0.66-0.79	0.82-0.86
	Mdx	1.01-1.09	1.01-1.03	1.01-1.03
	Mdy	1.00-1.48	1.00-1.05	1.00-1.05
$\frac{DY - YD - DD(S)}{DY - YD - DD(2/3)}$	Nd	1.09-2.26	1.08-1.52	1.06-1.20
	Mdx	1.00-1.05	0.94-1.05	1.00-1.05
	Mdy	0.99-1.08	0.73-1.08	0.98-1.07

Depremi düşey bileşeninin “($E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$)” yaklaşık hesabı ile deprem hesabına dahil edilmesi, kolonlarda tasarıma esas eğilme momenti değerlerinde en fazla % 4 oranında azalma ve % 44 oranında artışa sebep olmuştur, Çizelge 5.7. Düşey spektrum yaklaşımı ile tanımlanması durumunda ise tasarıma esas eğilme momenti değerinde en fazla % 48 artış görülmüştür, Çizelge 5.7-5.8. Deprem düzeyinin artması bakımından incelendiğinde “($E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$)” yaklaşımı DS-2 depreminde tasarıma esas eğilme momentlerinde %44 artışa neden olup, DS-1’de bu artış miktarını neredeyse korurken, düşey spektrum yaklaşımında tasarıma esas eğilme momentlerindeki %48 lik artış ancak DS-1 depreminde ortaya çıkmıştır. Analiz sonuçlarının karşılaştırmaları düşey deprem etkisinin zemin kat kolon elemanlarının tasarıma esas eğilme momenti değerini %50 ye varacak seviyelerde değiştirdiğini göstermektedir, Çizelge 5.7. DY–YD–DD(2/3) ve DY–YD–DD(S) analiz sonuçlarının DY–YD ile karşılaştırılması, düşey deprem etkisinin yapısal analiz hesaplarına dahil edilmesinin, kolon elemanlarda tasarıma esas iç kuvvet bileşen çiftlerinden eksenel normal kuvvet düzeyinde önemli azalmalara sebep olduğunu göstermektedir, Çizelge 5.7-5.8.

Düşey deprem, binanın 2A, 3A, 2D ve 3D aks kesişimlerinde yer alan kolonların (35, 34, 38 ve 41 numaralı, Şekil 2.1) eksenel normal kuvvet düzeyinde diğer kolonlara göre daha yüksek oranlarda değişime sebep olmaktadır, Çizelge 5.7.

Düşey deprem etkisinin bu kolonların tasarıma esas normal kuvvet düzeyini önemli oranda azaltması, kolonların kenar aks üzerinde bulunmasından ve aks açıklıklarının birbirinden çok farklı olmasından (kısa açıklık/uzun açıklık=0.375) kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Deprem seviyesinin artmasıyla tasarıma esas normal kuvvet düzeyindeki azalma oranı artmaktadır. Bu durum, özellikle, kenar aks kolon kesitlerinde eğilme momentinin daha etkin olması ve dolayısıyla gerekli donatı alanının artması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Zemin katta yer alan kolonlar için DY–YD–DD(2/3) ve DY–YD–DD(S) analiz sonuçlarının karşılaştırılması, “ $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ ” yaklaşımının tasarıma esas iç kuvvet bileşenlerinden normal kuvvet değerinde daha büyük oranda değişime sebep olduğunu ve eğilme momenti değerinde ise hem “ $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ ” hem düşey spektrum yaklaşımının yaklaşık olarak %50 seviyesinde önemli düzeyde bir değişime sebep olduğunu göstermektedir, Çizelge 5.8.

Tasarıma esas iç kuvvet ve TBDY-2018’de belirtilen konstrüktif boyuna donatı oranı dikkate alınarak zemin kat kolonları için gerekli donatı alanı hesaplanmıştır, Çizelge 5.9. Kolonlar ve kirişler için TBDY-2018 ve TS 500-2000’de boyuna donatı için verilen maximum ve minimum değerler dikkate alınmıştır. İlgili standart ve yönetmeliklerde kolonlar için verilen minimum donatı oranı “ $\rho_{\min} \geq 0,01$ ”, maximum donatı oranı $\rho_{\max} < 0,04$ olmalıdır.

Çizelge 5.9 : Kolon boyuna donatı alanları (cm²).

Etki	Kolon	DS-1	DS-2	DS-3
DY–YD	Kenar	56,3	56,3	56,3
	Diğer	48-56,3	48-56,3	48-56,3
DY–YD–DD(2/3)	Kenar	79,04	57,39	56,3
	Diğer	48-56,3	48-56,3	48-56,3
DY–YD–DD(S)	Kenar	73,68	56,3	56,3
	Diğer	48-56,3	48-56,3	48-56,3

Kenar aks (35, 34, 38 ve 41 numaralı, Şekil 2.1) kolonları hariç diğer kolonlarda üç deprem seviyesi için minimum boyuna donatı alanı yeterli olmaktadır. Düşey deprem etkisinin hesaplara dahil etmesi, özellikle DS-1 deprem etkisi altında, kenar aks kolonları için daha büyük oranda donatı alanı gerektirmiştir, Çizelge 5.10. Ayrıca, $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ yaklaşımı düşey spektrum yaklaşımına göre az da olsa daha büyük boyuna donatı alanı gerektirmektedir.

Çizelge 5.10 : Kolon boyuna donatı oranları.

Etki	Kolon	DS-1	DS-2	DS-3
DY–YD	Kenar	0,0100	0,0100	0,0100
	Diğer	0,0100	0,0100	0,0100
DY–YD–DD(2/3)	Kenar	0,0141	0,0102	0,0100
	Diğer	0,0100	0,0100	0,0100
DY–YD–DD(S)	Kenar	0,0131	0,0100	0,0100
	Diğer	0,0100	0,0100	0,0100

Zemin kat kirişleri (20 ve 26, Şekil 2.1) için Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılan analizlerden elde edilen tasarıma esas eğilme momenti değerleri Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 : Kirişler için tasarıma esas eğilme momenti değerleri (kNm).

Analiz etkileri	Kiriş	DS-1	DS-2	DS-3
DY-YD	20-SoM-Ü	-266,8	-238,9	-181,6
	20-A-A	99,0	87,5	63,9
	20-SaM-Ü	-266,8	-238,9	-181,6
	26-SoM-Ü	-368,0	-351,9	-323,5
	26 -A-Alt	212,4	212,4	212,4
	26-SaM-Ü	-370,8	-354,7	-328,7
DY-YD-DD(2/3)	20-SoM-Ü	-271,0	-242,6	-184,4
	20-A-A	99,9	88,2	64,4
	20-SaM-Ü	-271,0	-242,6	-184,4
	26-SoM-Ü	-414,9	-393,4	-349,5
	26 -A-Alt	212,4	212,4	212,4
	26-SaM-Ü	-418,5	-397,0	-353,0
DY-YD-DD(S)	20-SoM-Ü	-270,4	-242,0	-184,0
	20-A-A	102,4	90,4	66,0
	20-SaM-Ü	-270,3	-241,9	-183,9
	26-SoM-Ü	-414,0	-392,4	-346,5
	26 -A-Alt	212,4	212,4	212,4
	26-SaM-Ü	-417,0	-395,4	-349,6

SoM-Ü: Sol mesnet-üst; SoM-A:Sol mesnet alt; A-Ü: Açıklık-Üst; A-A:Açıklık-Alt; SaM-Ü: Sağ mesnet-üst; SaM-A:Sağ mesnet alt

Düşey depremin kirişlerin tasarıma esas eğilme momenti üzerindeki etkisini anlamak için normalize edilmiş moment değerleri ise Çizelge 5.12’de listelenmiştir. Normalize edilmiş değerler, depremin düşey bileşeninin kısa açıklıklı (20 nolu kiriş, Şekil 2.1) zemin kat kirişinin tasarıma esas eğilme momentlerini neredeyse hiç değiştirmedğini, büyük açıklıklı kirişin (26 nolu kiriş, Şekil 2.1) tasarıma esas mesnet eğilme momentlerini deprem seviyesine bağlı olarak %6-13 oranında artırdığı görülmüştür. Depremin düşey bileşeninin kiriş elemanların tasarıma esas açıklık moment değerlerini değiştirmedği anlaşılmaktadır, Çizelge 5.12. İncelenen standart tasarım depremi altında görelî kat ötelemeleri 0,008 κ ile sınırlı binada yapısal

Çizelge 5.12 : Zemin kat kirişlerinin normalize edilmiş eğilme momenti değerleri.

Oran	Kiriş	DS-1	DS-2	DS-3
$\frac{DY - YD - DD(2/3)}{DY - YD}$	20-SoM	1,02	1,02	1,02
	20-A	1,01	1,01	1,01
	20-SaM	1,02	1,02	1,02
	26-SoM	1,13	1,12	1,08
	26 -A	1,00	1,00	1,00
	26-SaM	1,13	1,12	1,07
$\frac{DY - YD - DD(S)}{DY - YD}$	20-SoM	1,01	1,01	1,01
	20-A	1,03	1,03	1,03
	20-SaM	1,01	1,01	1,01
	26-SoM	1,13	1,12	1,07
	26 -A	1,00	1,00	1,00
	26-SaM	1,12	1,11	1,06
$\frac{DY - YD - DD(S)}{DY - YD - DD(2/3)}$	20-SoM	1,00	1,00	1,00
	20-A	1,02	1,02	1,02
	20-SaM	1,00	1,00	1,00
	26-SoM	1,00	1,00	0,99
	26 -A	1,00	1,00	1,00
	26-SaM	1,00	1,00	0,99

analiz sonuçlarına göre, zemin kat kirişlerinin tasarıma esas eğilme momenti değerleri açısından “ $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ ” ve düşey spektrum yaklaşımları arasında kayda değer bir fark oluşmadığı tespit edilmiştir, Çizelge 5.12.

DY–YD, DY–YD–DD(2/3) ve DY–YD–DD(S) yükleme durumlarının her biri için yapılan analizlerin sonuçlarından elde edilen tasarım momentlerine göre kiriş elemanları için gerekli donatı oranı hesap edilmiştir, Çizelge 5.13. TBDY-2018 ve TS 500-2000’de kirişler için minimum çekme donatısı oranı denklem (5.4) ile tanımlanmıştır. Denklemde f_{ctd} beton tasarım çekme dayanımını ve f_{yd} boyuna donatı tasarım akma dayanımını göstermektedir. İlgili beton ve donatı için tasarım değerleri denklem (5.4)’e yazıldığında kiriş minimum çekme donatısı oranı (ρ_{min}) 0,003 olarak hesaplanmıştır.

$$\rho_{min} = 0,8 \left(\frac{f_{cta}}{f_{yd}} \right) \quad (5.4)$$

Tasarıma esas iç kuvvetlere karşı gelen gerekli donatı oranı (Hesap, Çizelge 5.13) hesaplanmıştır. Ayrıca, bu donatı oranı, Denklem (5.14) ile hesaplanan minimum değer ile karşılaştırılarak tasarım için dikkate alınacak donatı oranına (Tasarım, Çizelge 5.13) karar verilmiştir. Çizelge 5.13’de parantez içinde gösterilen değerler DY-YD etkisi altında hesaplanan donatı oranlarıdır. Çizelge 5.14 de kiriş elemanları için analiz sonuçlarından elde edilen tasarıma esas eğilme momenti değerleri ve hesaplanan boyuna donatı alanları detaylıca gösterilmiştir.

Çizelge 5.13 : Zemin kat kirişlerinin boyuna donatı oranları.

Kiriş	DS-1		DS-2		DS-3	
	Hesap	Tasarım	Hesap	Tasarım	Hesap	Tasarım
20-M-Üst	0,006 (0,005)	0,006 (0,005)	0,005	0,005	0,004	0,004
20-M-Alt	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003
20-A-Üst	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
20-A-Alt	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003
26-M-Üst	0,007 (0,006)	0,007 (0,006)	0,007 (0,006)	0,007 (0,006)	0,006	0,006
26-M-Alt	0,003	0,0035 (0,003)	0,003 (0,002)	0,0035 (0,003)	0,002	0,003
26-A-Üst	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
26-A-Alt	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004

M: mesnet, A: Açıklık

Çizelge 5.14 : Zemin kat kirişlerinin tasarım eğilme momentleri ve donatı alanları.

		DY-YD-DD(İ)				DY-YD-DD(2/3)				DY-YD			
		Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Açıklık	Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet	
Kiriş	As (cm ²)	Donatı Oranı	As (cm ²)	Donatı Oranı	As (cm ²)	Donatı Oranı	As (cm ²)	Donatı Oranı	As (cm ²)	Donatı Oranı	As (cm ²)	Donatı Oranı	Donatı Oranı
DS-3 etkisinde 26	18,2	0,006	18,4	0,004	18,4	0,006	18,6	0,006	16,9	0,006	10,9	0,004	17,2
	Alt												0,006
	Üst												
	Dizayn Moment	Alt	Üst	Dizayn Moment	Alt	Üst	Dizayn Moment	Üst	Dizayn Moment	Alt	Üst	Dizayn Moment	Üst
	kNm	212,4	-349,6	kNm	212,4	-349,5	kNm	212,4	-323,5	kNm	212,4	-328,7	kNm
DS-2 etkisinde 26	20,8	0,007	21,0	0,004	20,9	0,007	21,1	0,007	18,5	0,006	10,9	0,004	18,7
	Alt												0,006
	Üst												
	Dizayn Moment	Alt	Üst	Dizayn Moment	Alt	Üst	Dizayn Moment	Üst	Dizayn Moment	Alt	Üst	Dizayn Moment	Üst
	kNm	212,4	-395,4	kNm	212,4	-393,4	kNm	212,4	-351,9	kNm	212,4	-354,7	kNm
DS-1 etkisinde 26	22,0	0,007	22,2	0,004	22,1	0,007	22,3	0,007	19,4	0,006	10,9	0,004	19,6
	Alt												0,007
	Üst												
	Dizayn Moment	Alt	Üst	Dizayn Moment	Alt	Üst	Dizayn Moment	Üst	Dizayn Moment	Alt	Üst	Dizayn Moment	Üst
	kNm	212,4	-417,0	kNm	212,4	-414,9	kNm	212,4	-368,0	kNm	212,4	-370,8	kNm

Çizelge 5.14 (Devamı) : Zemin kat kirişlerinin tasarım eğilme momentleri ve donatı alanları.

		DY-YD-DD(S)				DY-YD-DD(2/3)				DY-YD			
		Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Açıklık	Sol Mesnet	Açıklık	Sağ Mesnet	
Kiriş	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	As (cm ²) Donatı Oranı	Donatı Oranı
DS-3 etkisinde 20	Üst	10,4	0,004	10,4	0,002	10,4	0,004	10,4	0,004	10,4	0,002	10,2	10,2
	Alt		4,8										0,004
	Üst	Üst	Alt	Üst	Üst	Alt	Üst	Üst	Üst	Üst	Alt	Üst	Üst
	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn
	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment
DS-2 etkisinde 20	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm
	-184,0	66,0	-183,9	-184,4	64,4	-184,4	64,4	-184,4	-181,6	63,9	-181,6	-181,6	-181,6
	Üst	13,8	0,005	13,8	0,002	13,9	0,005	13,9	0,002	13,6	0,005	13,6	13,6
	Alt		6,7								6,4		0,005
	Üst	Üst	Alt	Üst	Üst	Alt	Üst	Üst	Üst	Üst	Alt	Üst	Üst
DS-1 etkisinde 20	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn
	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment
	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm
	-242,0	90,4	-241,9	-242,6	88,2	-242,6	88,2	-242,6	-238,9	87,5	-238,9	-238,9	-238,9
	Üst	15,5	0,006	15,5	0,003	15,5	0,006	15,6	0,003	15,3	0,006	15,3	15,3
DS-1 etkisinde 20	Alt		7,6								7,3		0,006
	Üst	Üst	Alt	Üst	Üst	Alt	Üst	Üst	Üst	Üst	Alt	Üst	Üst
	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn	Dizayn
	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment	Moment
	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm
	-270,4	102,4	-270,3	-271,0	99,9	-271,0	99,9	-271,0	-266,8	99,0	-266,8	-266,8	-266,8

DS-3 depreminde 26 numaralı uzun kirişte üç yükleme durumu altında hesaplanan mesnet üst ve açıklık alt tasarım eğilme momentleri aynı donatı oranını (min donatı üzerinde) gerektirmiştir. Düşey depremin hesaplamalara dahil edilmesi yaklaşık farketmeksizin mesnet üst eğilme momenti değerlerini yaklaşık 20 kNm dolayında ihmal edilebilir seviyede artırmıştır. Ancak bu artış donatı oranına yansımamıştır. Düşey depremin hesaplara dahil edilmesi, açıklık alt momentlerinde herhangi bir fark oluşturmamıştır.

DS-2 depreminde 26 numaralı uzun kirişte üç yükleme durumu altında hesaplanan açıklık alt tasarım eğilme momentleri aynı donatı oranını (min donatı üzerinde) gerektirmiştir. Düşey depremin hesaplamalara dahil edilmesi için kullanılan her iki yöntemde de mesnet üst momentleri için benzer sonuçlar elde edilmiş ve eğilme momenti DY-YD durumuna göre yaklaşık 40 kNm kadar artırmıştır. Tasarım eğilme momentindeki artış, donatı oranına da yansımıştır: Donatı oranı DY-YD etkisi altında 0,006 ve düşey depremin hesaba dahil olması durumunda 0,007 olarak hesaplanmıştır.

DS-1 depreminde 26 numaralı uzun kirişte üç yükleme durumu altında hesaplanan açıklık alt tasarım eğilme momentleri benzer olup aynı donatı oranını (min donatı üzerinde) gerektirmiştir. Düşey depremin hesaplamalara dahil edilmesi (yaklaşım farketmeksizin) mesnet üst eğilme momenti değerlerini yaklaşık 45 kNm dolayında artırmıştır. Tasarım eğilme momentindeki artış, donatı oranına da yansımış olup donatı oranı DY-YD etkisi altında 0,006 ve düşey depremin hesaba dahil olması durumunda 0,007 olarak hesaplanmıştır.

DS-1, DS-2 ve DS-3 deprem seviyelerinde 20 numaralı kısa açıklıklı kirişte üç yükleme durumu altında hesaplanan mesnet üst ve açıklık alt tasarım eğilme momentleri aynı donatı oranını gerektirmiştir: Mesnet üst için min donatı oranı üzerine donatı gerekliliği ortaya çıkmış (DS-1 için 0,006, DS-2 için 0,005, DS-1 için 0,004), açıklık altında ise min donatı oranı altında kalınmıştır (DS-1 için 0,003, DS-2 için 0,002, DS-3 için 0,002). Düşey depremin hesaplara dahil edilmesi için kullanılan her iki yöntemde de mesnet üst momentlerinde yaklaşık DS-1, DS-2 ve DS-3 depremlerinde, sırasıyla, 5 kNm, 4 kNm ve 3 kNm dolayında ihmal edilebilir seviyede artış meydana gelmiştir. Ancak bu artış donatı oranına yansımamıştır. Düşey depremin hesaplara dahil edilmesi açıklık alt momentlerinde herhangi bir fark oluşturmamıştır.

Depremiñ düşey bileşenin hem uzun hem kısa açıklıklı kirişlerin açıklık donatısı üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Ancak, mesnet donatısı üzerindeki etkisi deprem düzeyinin görece yüksek olması durumunda ortaya çıkmıştır. Bu artışın görüldüğü durumlarda ilgili çizelgelerde, DY-YD etkisi altında hesaplanan donatı alanı parantez içinde verilmektedir. Beklendiği üzere, deprem düzeyinin artışı gerekli mesnet donatısı oranını artırmıştır.

5.2 Göreli Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binada Analiz Sonuçları

5.2.1 Taban kesme kuvveti ve yerdeğıştirmeler

Binanın toplam ağırlığı, 59.227,4 kN olarak hesaplanmıştır. Kütle ve dolayısıyla ağırlık hesabında hareketli yük kütle katılım katsayısı (n), bina kullanım amacına uygun olarak 0.3 alınmıştır. Çatı katı ağırlığı için kar yüklerinin %30'u dikkate alınmıştır [2]. DY-YD, DY-YD-DD(S) ve DY-YD-DD(2/3) analizlerinden elde edilen X ve Y doğrultularındaki taban kesme kuvvetleri, Çizelge 5.15'de yer almaktadır.

Çizelge 5.15 : Göreli kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binada taban kesme kuvvetleri.

Deprem Seviyesi	DY-YD-DD(S)		DY-YD-DD(2/3)		DY-YD	
	V_x (kN)	V_y (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)
DS-1	2976,5	2981,1	2976,5	2981,1	2976,5	2981,1
DS-2	2650,3	2641,3	2650,3	2641,3	2650,3	2641,3
DS-3	1952,1	1955,3	1952,1	1955,3	1952,1	1955,3

Taban kesme kuvvetinin ağırlığa oranının %3.3-5.1 arasında değıştiği görülmüştür. Üç deprem seviyesi için de bina hakim periyoduna karşı gelen spektral ivme değerleri, Şekil 2.3'de görüleceği üzere elastik tasarım spektrum eğrisinin düşen kolu üzerinde olduğu için bu oran görece olarak düşük elde edilmiştir. Etkin göreli kat ötelemeleri DY-YD-DD(S) analizinden elde edilen yerdeğıştirme değerleri kullanılarak [2]'de verildiği gibi denklem (5.1)'in sol tarafı ile hesaplanmış ve Çizelge 5.16'da verilmiştir. Beklenildiği gibi, deprem düzeyi arttıkça etkin göreli kat ötelemesi oranlarının kat içindeki en yüksek değerleri artmaktadır, Çizelge 5.16. DS-2 ve DS-3 seviyelerinde meydana gelen en büyük değerler, duvarları çerçevelerden esnek derz ile ayrılmış binalar için verilen 0.016 κ sınırını sağlamaktadır. DS-1 seviyesinde ise etkin göreli kat ötelemesi oranının X ve Y doğrultusundaki değerleri, 0.016 κ sınırından daha büyük değerler almaktadır.

Çizelge 5.16 : Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binada etkin görelî kat ötelemeleri.

Kat	DS-1		DS-2		DS-3	
	X	Y	X	Y	X	Y
1	0.010	0.008	0.005	0.004	0.004	0.004
2	0.017	0.014	0.009	0.008	0.007	0.006
3	0.018	0.015	0.010	0.008	0.008	0.006
4	0.017	0.014	0.009	0.008	0.007	0.006
5	0.015	0.013	0.008	0.007	0.007	0.006
6	0.015	0.013	0.008	0.007	0.006	0.006
7	0.013	0.011	0.007	0.006	0.006	0.005
8	0.010	0.010	0.006	0.005	0.004	0.004
9	0.007	0.007	0.004	0.004	0.003	0.003
10	0.004	0.005	0.002	0.003	0.002	0.002

TBDY-2018'e göre II. mertebe etkilerinin yapının iç kuvvetlerine tesiri olup olmadığının tahkiki, II. mertebe gösterge değerleri denklem (5.2) ile hesaplanarak yapılmıştır. İncelenen bina analizlerinde II. mertebe etkilerinin ihmal edilmesi için $\theta_{II,max}^{(X)}$ ve $\theta_{II,max}^{(Y)}$ değerinin 0.09 değerinden küçük eşittir olması gerekmektedir. Görelî kat öteleme oranı 0,016 κ ile sınırlı 10 katlı binanın öngörülen deprem düzeylerinde her bir katı için $\theta_{II,i}^{(X)}$ ve $\theta_{II,i}^{(Y)}$ değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.17'de listelenmiştir. Bu değerler, doğrusal hesap yöntemi ile çalışıldığı için deprem düzeyine göre değişmemektedir. Çizelge 5.17'den görüldüğü üzere, bu değerler, 0.09 sınır değerinin altında kalmaktadır. Bu nedenle yapısal analizlerden elde edilen iç kuvvet bileşenlerinin TBDY-2018 uyarınca artırılması gerekmemektedir.

Çizelge 5.17 : Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binaya ait 2.mertebe gösterge değerleri.

Kat	X	Y
1	0,04	0,03
2	0,06	0,04
3	0,06	0,04
4	0,05	0,04
5	0,04	0,04
6	0,04	0,03
7	0,03	0,03
8	0,02	0,02
9	0,01	0,01
10	0,01	0,01

5.2.2 İç kuvvet bileşenleri ve donatı alanı

Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binanın DY–YD, DY–YD–DD(2/3) ve DY–YD–DD(S) etkileri altında yüksek depremin üç farklı seviyesi için Mod Birleştirme Yöntemi ile yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Zemin kat kolonları için tasarıma esas normal kuvvet (N_d) ve X ve Y doğrultularındaki eğilme momentleri (M_{xd} ve M_{yd}) tespit edilmiştir, Çizelge 5.18- 5.20.

Düşey depremin ele alınış yöntemindeki farklılığı ortaya çıkarmak amacıyla düşey spektrum yaklaşımı ve de “ $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ ” yaklaşımına ait analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca düşey depremi içeren analiz sonuçları, düşey depremi içermeyen analiz sonuçlarına göre normalize edilerek düşey depremin etkisi anlaşılmasına çalışılmıştır, Çizelge 5.21. Elde edilen değerlerin aralıkları zemin kat kolonları için Çizelge 5.22 ‘de verilmiştir.

Çizelge 5.18 : Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binanın DY–YD etkisi altında kolon için tasarıma esas iç kuvvet bileşenleri

Kolon No	b (cm)	d (cm)	DS-3			DS-2			DS-1		
			N_d (kN)	M_{dx} (kNm)	M_{dy} (kNm)	N_d (kN)	M_{dx} (kNm)	M_{dy} (kNm)	N_d (kN)	M_{dx} (kNm)	M_{dy} (kNm)
28	520	720	1826,5	477,4	90,6	1691,9	626,9	133,0	1575,7	344,3	-477,5
35	520	520	1687,3	201,5	51,6	4099,3	-339,1	-141,4	4228,9	-378,1	-152,1
34	520	520	1687,2	253,2	51,6	4099,4	339,1	-141,5	4228,9	378,0	-152,2
33	520	720	1826,5	399,7	90,4	1691,8	549,3	132,7	1575,7	-344,6	-477,5
29	520	720	3205,7	427,2	141,2	3073,9	555,5	187,8	3009,4	619,0	210,8
36	700	700	3490,7	456,2	197,6	3117,3	633,3	265,5	7455,8	-840,4	298,9
39	700	700	3490,7	557,3	197,6	3117,2	734,5	265,5	7455,8	840,4	298,9
42	520	720	3205,5	306,7	141,1	3073,7	434,9	187,7	3009,2	498,4	210,8
31	520	720	3205,8	427,2	138,5	3074,0	555,5	185,1	3009,5	619,0	208,1
37	700	700	3490,7	456,2	191,1	3117,2	633,3	259,0	7455,8	-840,4	-298,8
40	700	700	3490,7	557,3	191,1	3117,2	734,4	259,0	7455,8	840,4	-298,8
44	520	720	3205,5	306,7	138,5	3073,8	434,9	185,1	3009,2	498,5	208,2
32	520	720	1826,5	477,5	163,6	1691,9	627,0	205,9	1575,7	344,7	477,4
38	520	520	1687,3	201,5	104,7	4099,3	-339,0	141,3	4228,9	-378,0	152,0
41	520	520	1687,3	253,2	104,6	4099,4	339,1	141,2	4228,9	378,1	151,9
45	520	720	1826,5	399,6	163,8	1691,8	549,2	206,2	1575,7	-344,2	477,4

Çizelge 5.19 : Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binanın DY–YD-DD(2/3) etkisi altında kolon için tasarıma esas iç kuvvet bileşenleri.

Kolon No	b (mm)	d (mm)	DS-3			DS-2			DS-1		
			Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)
28	520	720	1421,8	470,9	97,4	1097,8	300,8	-420,2	958,1	333,4	-467,2
35	520	520	1238,4	206,6	37,9	4705,5	-345,5	-151,5	4703,8	-199,3	-358,2
34	520	520	1238,4	248,8	37,9	4705,5	345,5	-151,6	4913,0	385,2	150,3
33	520	720	1421,7	407,5	97,1	1097,7	-301,0	-420,1	958,1	-333,7	-467,1
29	520	720	2548,1	416,7	141,0	2184,9	540,5	187,4	5769,2	305,7	488,2
36	700	700	2655,5	466,3	197,0	8401,1	-765,2	-302,4	7728,6	-367,7	894,4
39	700	700	2655,5	548,8	197,0	8401,1	765,3	-302,4	8728,9	854,6	314,2
42	520	720	2547,9	318,3	140,9	2184,7	449,9	187,4	5769,6	-305,5	488,2
31	520	720	2548,2	416,7	138,7	2185,0	540,5	185,4	5768,8	305,7	-488,2
37	700	700	2655,5	466,3	191,7	8401,1	-765,3	302,4	7728,7	-367,8	-894,3
40	700	700	2655,4	548,8	191,7	8401,1	765,3	-302,4	8729,0	854,6	314,2
44	520	720	2547,9	318,3	138,8	2184,8	449,9	185,4	5769,3	-305,5	-488,2
32	520	720	1421,8	471,0	156,9	1097,8	301,2	420,0	958,1	333,8	467,1
38	520	520	1238,4	206,6	97,2	4705,4	-345,5	151,4	4703,8	-199,0	358,1
41	520	520	1238,4	248,8	97,1	4705,5	345,6	151,4	4913,0	385,3	163,3
45	520	720	1421,7	407,4	157,1	1097,7	-300,7	420,1	958,1	-333,3	467,1

Çizelge 5.20 : Görelî kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binanın DY–YD-DD(S) etkisi altında kolon için tasarıma esas iç kuvvet bileşenleri.

Kolon No	b (mm)	d (mm)	DS-3			DS-2			DS-1		
			Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)	Nd (kN)	Mdx (kNm)	Mdy (kNm)
28	520	720	1580,3	492,3	97,0	1286,8	330,1	-438,4	1169,6	366,4	-487,9
35	520	520	1418,7	208,9	43,4	4490,7	-349,0	-149,8	4672,9	-389,2	-161,6
34	520	520	1418,9	260,3	43,4	4490,4	348,5	-150,0	4672,5	388,7	-161,8
33	520	720	1580,3	415,4	96,6	1287,0	-331,3	-438,1	1169,7	-367,8	-487,5
29	520	720	2739,4	444,6	145,0	2386,0	579,0	192,9	5546,6	315,3	493,6
36	700	700	2954,9	476,6	205,8	8062,5	-779,8	290,2	8351,9	-871,0	311,4
39	700	700	2955,3	577,7	205,7	8062,0	779,8	290,2	8351,4	871,0	311,4
42	520	720	2739,5	324,5	144,8	2386,2	459,1	192,7	5546,6	-315,9	493,5
31	520	720	2739,6	444,6	142,2	2386,3	579,0	190,1	5546,1	315,3	-493,5
37	700	700	2954,9	476,6	199,3	8062,5	-779,8	290,3	8352,0	-871,1	-311,4
40	700	700	2955,2	577,7	199,3	8062,1	779,8	290,2	8351,5	871,0	-311,4
44	520	720	2739,7	324,6	142,3	2386,5	459,1	190,2	5546,1	-315,9	-493,6
32	520	720	1580,3	492,3	170,2	1286,8	330,2	438,5	1169,6	366,7	488,0
38	520	520	1418,4	209,0	111,1	4491,1	-349,0	150,6	4673,3	-389,2	162,4
41	520	520	1418,7	260,3	110,8	4490,7	348,5	150,2	4672,9	388,7	162,0
45	520	720	1580,2	415,4	170,7	1286,9	-331,2	438,9	1169,6	-367,7	488,5

Çizelge 5.21 : Zemin kat kolonlarının normalize edilmiş iç kuvvet bileşen değerleri.

	Kolon No	b (cm)	d (cm)	(DY-YD-DD(S)) / (DY-YD)			(DY-YD-DD(2/3)) / (DY-YD)			(DY-YD-DD(S)) / (DY-YD-DD(2/3))		
				Nd	Mdx	Mdy	Nd	Mdx	Mdy	Nd	Mdx	Mdy
DS-1 Normalizasyonlar	28	52	72	0,74	1,06	1,02	0,61	0,97	0,98	1,22	1,10	1,04
	35	52	52	1,10	1,03	1,06	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S
	34	52	52	1,10	1,03	1,06	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S
	33	52	72	0,74	1,07	1,02	0,61	0,97	0,98	1,22	1,10	1,04
	29	52	72	1,84	0,51	2,34	1,92	0,49	2,32	0,96	1,03	1,01
	36	70	70	1,12	1,04	1,04	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S
	39	70	70	1,12	1,04	1,04	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S
	42	52	72	1,84	-0,63	2,34	1,92	-0,61	2,32	0,96	1,03	1,01
	31	52	72	1,84	0,51	-2,37	1,92	0,49	-2,35	0,96	1,03	1,01
	37	70	70	1,12	1,04	1,04	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S
	40	70	70	1,12	1,04	1,04	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S
	44	52	72	1,84	-0,63	-2,37	1,92	-0,61	-2,35	0,96	1,03	1,01
	32	52	72	0,74	1,06	1,02	0,61	0,97	0,98	1,22	1,10	1,04
	38	52	52	1,11	1,03	1,07	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S
	41	52	52	1,10	1,03	1,07	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S
	45	52	72	0,74	1,07	1,02	0,61	0,97	0,98	1,22	1,10	1,05
DS-2 Normalizasyonlar	28	52	72	0,76	0,53	-3,30	0,65	0,48	-3,16	1,17	1,10	1,04
	35	52	52	1,10	1,03	1,06	1,15	1,02	1,07	0,95	1,01	0,99
	34	52	52	1,10	1,03	1,06	1,15	1,02	1,07	0,95	1,01	0,99
	33	52	72	0,76	-0,60	-3,30	0,65	-0,55	-3,17	1,17	1,10	1,04
	29	52	72	0,78	1,04	1,03	0,71	0,97	1,00	1,09	1,07	1,03
	36	70	70	2,59	-1,23	1,09	2,70	-1,21	-1,14	0,96	1,02	-0,96
	39	70	70	2,59	1,06	1,09	2,70	1,04	-1,14	0,96	1,02	-0,96
	42	52	72	0,78	1,06	1,03	0,71	1,03	1,00	1,09	1,02	1,03
	31	52	72	0,78	1,04	1,03	0,71	0,97	1,00	1,09	1,07	1,03
	37	70	70	2,59	-1,23	1,12	2,70	-1,21	1,17	0,96	1,02	0,96
	40	70	70	2,59	1,06	1,12	2,70	1,04	-1,17	0,96	1,02	-0,96
	44	52	72	0,78	1,06	1,03	0,71	1,03	1,00	1,09	1,02	1,03
	32	52	72	0,76	0,53	2,13	0,65	0,48	2,04	1,17	1,10	1,04
	38	52	52	1,10	1,03	1,07	1,15	1,02	1,07	0,95	1,01	0,99
	41	52	52	1,10	1,03	1,06	1,15	1,02	1,07	0,95	1,01	0,99
	45	52	72	0,76	-0,60	2,13	0,65	-0,55	2,04	1,17	1,10	1,04
DS-3 Normalizasyonlar	28	52	72	0,87	1,03	1,07	0,78	0,99	1,07	1,11	1,05	1,00
	35	52	52	0,84	1,04	0,84	0,73	1,03	0,73	1,15	1,01	1,15
	34	52	52	0,84	1,03	0,84	0,73	0,98	0,73	1,15	1,05	1,15
	33	52	72	0,87	1,04	1,07	0,78	1,02	1,08	1,11	1,02	0,99
	29	52	72	0,85	1,04	1,03	0,79	0,98	1,00	1,08	1,07	1,03
	36	70	70	0,85	1,04	1,04	0,76	1,02	1,00	1,11	1,02	1,04
	39	70	70	0,85	1,04	1,04	0,76	0,98	1,00	1,11	1,05	1,04
	42	52	72	0,85	1,06	1,03	0,79	1,04	1,00	1,08	1,02	1,03
	31	52	72	0,85	1,04	1,03	0,79	0,98	1,00	1,08	1,07	1,02
	37	70	70	0,85	1,04	1,04	0,76	1,02	1,00	1,11	1,02	1,04
	40	70	70	0,85	1,04	1,04	0,76	0,98	1,00	1,11	1,05	1,04
	44	52	72	0,85	1,06	1,03	0,79	1,04	1,00	1,08	1,02	1,03
	32	52	72	0,87	1,03	1,04	0,78	0,99	0,96	1,11	1,05	1,08
	38	52	52	0,84	1,04	1,06	0,73	1,03	0,93	1,15	1,01	1,14
	41	52	52	0,84	1,03	1,06	0,73	0,98	0,93	1,15	1,05	1,14
	45	52	72	0,87	1,04	1,04	0,78	1,02	0,96	1,11	1,02	1,09

Çizelge 5.22 : Zemin kat kolonlarının normalize edilmiş iç kuvvet bileşen değerlerinin aralıkları.

Oran	İç kuvvet bileşeni	DS-1	DS-2	DS-3
$\frac{DY - YD - DD(2/3)}{DY - YD}$	Nd	0.61-1.92	0.65-2.70	0.73-0.79
	Mdx	0.44-1.02	0.48-1.21	0.98-1.04
	Mdy	0.98-2.36	1.00-3.17	0.73-1.08
$\frac{DY - YD - DD(S)}{DY - YD}$	Nd	0.74-1.84	0.76-2.59	0.84-0.87
	Mdx	0.51-1.07	0.53-1.23	1.03-1.06
	Mdy	1.02-2.37	1.03-3.30	0.84-1.07
$\frac{DY - YD - DD(S)}{DY - YD - DD(2/3)}$	Nd	0.96-1.22	0.95-1.17	1.08-1.15
	Mdx	1.03-1.10	1.01-1.10	1.01-1.07
	Mdy	1.01-1.05	0.99-1.04	0.99-1.15

Depremi düşey bileşeninin “ $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ ” yaklaşık hesabı ile deprem hesabına dahil edilmesi, kolonlarda tasarıma esas eğilme momenti değerlerinde en fazla % 56 oranında azalma ve % 217 oranında artışa sebep olmuştur, Çizelge 5.21-5.22. Düşey spektrum yaklaşımı ile tanımlanması durumunda ise tasarıma esas eğilme momenti değerinde en fazla % 49 oranında azalma ve % 230 oranında artış görülmüştür, Çizelge 5.21-5.22. Deprem düzeyinin artması bakımından incelendiğinde “ $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ ” yaklaşımı DS-2 depreminde tasarıma esas eğilme momentlerinde % 217 oranında artışa neden olup, DS-1’de bu artış miktarı azalarak %136 ya gerilemiştir. Düşey spektrum yaklaşımı, deprem düzeyinin artması bakımından incelendiğinde DS-2 depreminde tasarıma esas eğilme momentlerinde %230 oranında artışa neden olup, DS-1 de bu artış miktarı azalarak %137’ye gerilemiştir. DY–YD–DD(2/3) ve DY–YD–DD(S) analiz sonuçlarının DY–YD ile karşılaştırılması, düşey deprem etkisinin yapısal analiz hesaplarına dahil edilmesinin, kolon elemanlarda tasarıma esas eksenel normal kuvvet düzeyinde önemli azalma ve artmalara sebep olduğunu göstermektedir, Çizelge 5.21-5.22. Düşey deprem, DS-1 depremi düzeyinde binanın 1 ve 4 aksı üzerinde yer alan 8 kolonda (28, 29, 31, 32, 33, 42, 44 ve 45) eksenel normal kuvvet düzeyinde diğer kolonlara göre daha yüksek oranlarda değişime sebep olmaktadır, Çizelge 5.21. DS-2 depremi düzeyinde eksenel kuvvet açısından en büyük azalma köşe kolonlarda (28, 33, 32 ve 45) ve en büyük artış ise orta kolonlarda (36, 39, 37 ve 40) meydana gelmektedir, Çizelge 5.21. DS-3 depremi düzeyinde, eksenel kuvvet 2A, 3A, 2D ve 3D aks kesişimlerinde yer alan kenar kolonlarda (35,34,38 ve 41) diğer kolonlara göre en büyük azalma görülmektedir. Deprem seviyesinin artmasıyla tasarıma esas normal kuvvet düzeyindeki azalma oranı artmaktadır. Bu durum, ilgili kolon kesitlerinde eğilme momentinin daha etkin olması ve dolayısıyla gerekli donatı alanının artması sonucuna

sebeptir. Zemin katta yer alan kolonlar için DY-YD-DD(2/3) ve DY-YD-DD(S) analiz sonuçlarının karşılaştırılması, “ $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ ” yaklaşımının tasarıma esas iç kuvvet bileşenlerinden normal kuvvet değerinde daha büyük oranda değişime sebep olduğunu ve eğilme momenti değerinde ise hem “ $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ ” hem düşey spektrum yaklaşımının benzer sayılabilecek seviyelerde önemli değişimlere sebep olduğunu göstermektedir, Çizelge 5.20-5.22. Tasarıma esas iç kuvvet çiftlerini karşılamak üzere zemin kat kolonları için gerekli donatı alanı hesaplanmıştır, Çizelge 5.23. Çizelge 5.23’de, özellikle DS-1 en yüksek deprem seviyesinde görülen “O/S”, iç kuvvetlerin ilgili kolon taşıma kapasitesini aştığını göstermektedir.

Çizelge 5.23 : Kolon boyuna donatı alanları (cm²).

DS-1									
			DY-YD-DD(S)			DY-YD-DD(2/3)		DY-YD	
Kolon No	b (cm)	d (cm)	Kolon alanı (cm ²)	Donatı Alanı (cm ²)	Donatı Oranı	Donatı Alanı (cm ²)	Donatı Oranı	Donatı Alanı (cm ²)	Donatı Oranı
28	52	72	3744	57,55	0,0154	56,13	0,0150	46,85	0,0125
35	52	52	2704	56,18	0,0208	O/S	0,0160	43,52	0,0161
34	52	52	2704	56,08	0,0207	O/S	0,0220	43,52	0,0161
33	52	72	3744	57,59	0,0154	56,13	0,0150	46,86	0,0125
29	52	72	3744	49,70	0,0133	51,72	0,0138	37,44	0,0100
36	70	70	4900	74,66	0,0152	O/S	0,0123	49,93	0,0102
39	70	70	4900	74,64	0,0152	O/S	0,0166	49,94	0,0102
42	52	72	3744	49,72	0,0133	51,70	0,0138	37,44	0,0100
31	52	72	3744	49,66	0,0133	51,70	0,0138	37,44	0,0100
37	70	70	4900	74,66	0,0152	O/S	0,0123	49,93	0,0102
40	70	70	4900	74,65	0,0152	O/S	0,0166	49,92	0,0102
44	52	72	3744	49,75	0,0133	51,71	0,0138	37,44	0,0100
32	52	72	3744	57,57	0,0154	56,13	0,0150	46,86	0,0125
38	52	52	2704	56,33	0,0208	O/S	0,0163	43,49	0,0161
41	52	52	2704	56,11	0,0208	O/S	0,0224	43,50	0,0161
45	52	72	3744	57,70	0,0154	56,10	0,0150	46,82	0,0125

Çizelge 5.23 (devam): Kolon boyuna donatı alanları (cm²).

DS-2									
			DY-YD-DD(S)			DY-YD-DD(2/3)		DY-YD	
Kolon No	b (cm)	d (cm)	Kolon alanı (cm ²)	Donatı Alanı (cm ²)	Donatı Oranı	Donatı Alanı (cm ²)	Donatı Oranı	Donatı Alanı (cm ²)	Donatı Oranı
28	52	72	3744	44,25	0,0118	42,28	0,0113	37,44	0,0100
35	52	52	2704	41,61	0,0154	45,18	0,0167	30,42	0,0113
34	52	52	2704	41,53	0,0154	45,18	0,0167	30,42	0,0113
33	52	72	3744	44,30	0,0118	42,29	0,0113	37,44	0,0100
29	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
36	70	70	4900	52,29	0,0107	60,64	0,0124	49,00	0,0100
39	70	70	4900	52,27	0,0107	60,65	0,0124	49,00	0,0100
42	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
31	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
37	70	70	4900	52,30	0,0107	60,65	0,0124	49,00	0,0100
40	70	70	4900	52,27	0,0107	60,65	0,0124	49,00	0,0100
44	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
32	52	72	3744	44,29	0,0118	42,29	0,0113	37,44	0,0100
38	52	52	2704	41,72	0,0154	45,16	0,0167	30,39	0,0112
41	52	52	2704	41,55	0,0154	45,17	0,0167	30,40	0,0112
45	52	72	3744	44,48	0,0119	42,25	0,0113	37,44	0,0100

DS-3									
			DY-YD-DD(S)			DY-YD-DD(2/3)		DY-YD	
Kolon No	b (cm)	d (cm)	Kolon alanı (cm ²)	Donatı Alanı (cm ²)	Donatı Oranı	Donatı Alanı (cm ²)	Donatı Oranı	Donatı Alanı (cm ²)	Donatı Oranı
28	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
35	52	52	2704	27,04	0,0100	27,04	0,0100	27,04	0,0100
34	52	52	2704	27,04	0,0100	27,04	0,0100	27,04	0,0100
33	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
29	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
36	70	70	4900	49,00	0,0100	49,00	0,0100	49,00	0,0100
39	70	70	4900	49,00	0,0100	49,00	0,0100	49,00	0,0100
42	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
31	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
37	70	70	4900	49,00	0,0100	49,00	0,0100	49,00	0,0100
40	70	70	4900	49,00	0,0100	49,00	0,0100	49,00	0,0100
44	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
32	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100
38	52	52	2704	27,04	0,0100	27,04	0,0100	27,04	0,0100
41	52	52	2704	27,04	0,0100	27,04	0,0100	27,04	0,0100
45	52	72	3744	37,44	0,0100	37,44	0,0100	37,44	0,0100

DS-3 deprem seviyesinde tüm kolonlarda minimum donatı alanı yeterli olmaktadır. DS-1 ve DS-2 deprem seviyelerinde düşey deprem etkisinin hesaplara dahil edilmesi neticesinde 1-B, 4-B, 1-C, 4-C aks kesişiminde yer alan kolonlar (29, 42, 31 ve 44) dışındaki kolonlar için minimum donatı alanı üzerinde donatı alanı hesaplanmıştır. Özellikle deprem seviyesinin artışına bağlı olarak 2-A, 3-A, 2-D, 3-D aks kesişimlerinde yer alan kenar aks kolonları (35, 34, 38, 41) için daha büyük oranda

donatı alanı gerektirmiştir, Çizelge 5.22. Ayrıca, “ $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ ” yaklaşımı düşey spektrum yaklaşımına göre belli lokasyondaki kolonlarda az da olsa daha büyük boyuna donatı alanı gerektirmektedir.

Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılan analizlerden zemin kat kirişleri (20 ve 26, Şekil 2.1) için elde edilen tasarıma esas eğilme momenti değerleri Çizelge 5.24’de verilmiştir.

Çizelge 5.24 : Kirişler için tasarıma esas eğilme momenti değerleri (kNm).

Analiz etkileri	Kiriş	DS-1	DS-2	DS-3
DY-YD	20-SoM-Ü	-332,4	-297,2	-225,9
	20-A-A	117,8	103,6	76,9
	20-SaM-Ü	-332,5	-297,3	-226
	26-SoM-Ü	-405,6	-385,1	-343,4
	26 -A-Alt	217,2	217,2	217,2
	26-SaM-Ü	-413,7	-393,3	-352
DY-YD-DD(2/3)	20-SoM-Ü	-337,3	-301,6	-229,5
	20-A-A	115	105,7	77,9
	20-SaM-Ü	-337,4	-301,7	-229,5
	26-SoM-Ü	-452,5	-426,6	-374,3
	26 -A-Alt	217,2	217,2	217,2
	26-SaM-Ü	-462,6	-436,6	-384,1
DY-YD-DD(S)	20-SoM-Ü	-337,3	-301,5	-229,4
	20-A-A	-132,9	106,1	79,7
	20-SaM-Ü	-337,3	-301,6	-229,5
	26-SoM-Ü	-450,1	-424,3	-370,4
	26 -A-Alt	217,2	217,2	217,2
	26-SaM-Ü	-460	-434,1	-379,9

Düşey depremin bu kirişler üzerindeki etkisini anlamak için normalize edilmiş moment değerleri ise Çizelge 5.25’de listelenmiştir. Normalize edilmiş değerler, depremin düşey bileşeninin kısa açıklıklı (20 nolu kiriş, Şekil 2.1) zemin kat kirişinin tasarıma esas eğilme momentlerini neredeyse hiç değiştirmediyi, büyük açıklıklı kirişin (26 nolu kiriş, Şekil 2.1) tasarıma esas mesnet eğilme momentlerini deprem seviyesine bağlı olarak %8-12 oranında artırdığını göstermektedir.

Çizelge 5.25 : Zemin kat kirişlerinin normalize edilmiş eğilme momenti değerleri.

Oran	Kiriş	DS-1	DS-2	DS-3
$\frac{DY - YD - DD(2/3)}{DY - YD}$	20-SoM	1,01	1,01	1,02
	20-A	0,98	1,02	1,01
	20-SaM	1,01	1,01	1,02
	26-SoM	1,12	1,11	1,09
	26 -A	1,00	1,00	1,00
	26-SaM	1,12	1,11	1,09
$\frac{DY - YD - DD(S)}{DY - YD}$	20-SoM	1,01	1,01	1,02
	20-A	1,04	1,02	1,04
	20-SaM	1,01	1,01	1,02
	26-SoM	1,11	1,10	1,08
	26 -A	1,00	1,00	1,00
	26-SaM	1,11	1,10	1,08
$\frac{DY - YD - DD(S)}{DY - YD - DD(2/3)}$	20-SoM	1,00	1,00	1,00
	20-A	1,06	1,00	1,02
	20-SaM	1,00	1,00	1,00
	26-SoM	0,99	0,99	0,99
	26 -A	1,00	1,00	1,00
	26-SaM	0,99	0,99	0,99

SoM: Sol mesnet, A: Açıklık, SaM: Sağ mesnet

Depremin düşey bileşeninin kiriş elemanların tasarıma esas açıklık moment değerlerini değiştirmedeği anlaşılmaktadır, Çizelge 5.25. İncelenen standart tasarım depremi altında görel kat ötelemeleri 0,016 κ ile sınırlı binada yapısal analiz sonuçlarına göre, zemin kat kirişlerinin tasarıma esas eğilme momenti değerleri açısından “ $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ ” ve düşey spektrum yaklaşımları arasında dikkate değer bir fark oluşmadığı tespit edilmiştir, Çizelge 5.25.

DY–YD, DY–YD–DD(2/3) ve DY–YD–DD(S) yükleme durumlarının her biri için analiz sonuçlarından elde edilen gerekli (Hesap) ve tasarım için esas alınacak (Tasarım) donatı oranları Çizelge 5.26’de verilmiştir. Çizelge 5.27 de kiriş elemanları için analiz sonuçlarından elde edilen tasarıma esas eğilme momenti değerleri ve hesaplanan boyuna donatı alanları detaylıca gösterilmiştir.

Çizelge 5.26 : Zemin kat kirişlerinin boyuna donatı oranları.

Kiriş	DS-1		DS-2		DS-3	
	Hesap	Tasarım	Hesap	Tasarım	Hesap	Tasarım
20-M-Üst	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005
			0,006	0,006		
20-M-Alt	0,006	0,006	(0,005)	(0,005)	0,004	0,004
20-A-Üst	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
					(0,002)	(0,002)
20-A-Alt	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003
26-M-Üst	0,008	0,008	0,008	0,008	0,007	0,007
	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,006)	(0,006)
26-M-Alt	0,003	0,004 (0,0035)	0,003	0,004 (0,0035)	0,003	0,0035
					(0,002)	(0,003)
26-A-Üst	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
	(0,002)	(0,002)				
26-A-Alt	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004

M: mesnet, A: Açıklık

Çizelge 5.27 : Zemin kat kirişlerinin tasarım eğilme momentleri ve donatı alanları.

DY-YD-DD(S)				DY-YD-DD(2/3)				DY-YD			
Sol Mesnet		Açıklık	Sağ Mesnet	Sol Mesnet	Donatı Oranı	As (cm ²)	Üst Dizayn Moment	Sağ Mesnet	Donatı Oranı	As (cm ²)	Sağ Mesnet
Kiriş	As (cm ²)	Donatı Oranı	As (cm ²)	Donatı Oranı	As (cm ²)	Üst Dizayn Moment	kNm	As (cm ²)	Donatı Oranı	As (cm ²)	Donatı Oranı
	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
DS-3	26	19,5	0,007	11,1	0,004	20,1	0,007	19,8	0,007	11,1	0,004
	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
DS-2	26	22,6	0,008	11,1	0,004	23,2	0,008	22,8	0,008	11,1	0,004
	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
DS-1	26	24,1	0,008	11,1	0,004	24,7	0,008	24,3	0,008	11,1	0,004
	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
DS-1	26	450,1	217,2	460,0	-452,5	462,6	-413,7	405,6	217,2	413,7	-405,6
	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt

DS-3 depreminde uzun açıklıklı kirişte (26 numaralı) üç yükleme durumu altında hesaplanan açıklık alt tasarım eğilme momentleri benzer olduğu için aynı donatı oranı (min donatı üzerinde) hesaplanmıştır. Düşey depremin hesaplara dahil edilmesi için kullanılan her iki yöntemde de mesnet üst momentlerinde benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Düşey depremin hesaplamalara dahil edilmesi mesnet üst eğilme momenti değerlerini yaklaşık 30 kNm dolayında artırmıştır. Eğilme momentindeki artış, donatı oranını da artırmış olup DY-YD etkisi altında 0,006 donatı oranı hesaplanmış iken düşey depremin hesaba dahil olması neticesinde donatı oranı 0,007 değerine ulaşmıştır. Mesnet üst kesitlerinde donatı oranı minimum donatı oranının üzerinde elde edilmiştir.

DS-2 depreminde uzun açıklıklı kirişte (26 numaralı), düşey depremin hesaplara dahil edilmesi açıklık alt momentlerinde herhangi bir fark oluşturmamıştır. Bu nedenle, üç yükleme durumu altında hesaplanan açıklık alt tasarım eğilme momentleri aynı donatı oranını (min donatı üzerinde) gerektirmiştir. Düşey depremin hesaplamalara dahil edilmesi için kullanılan her iki yöntemde de mesnet üst momentleri benzer sonuçlar vermiştir. Düşey depremin hesaplamalara dahil edilmesi mesnet üst eğilme momenti değerlerini yaklaşık 42 kNm dolayında artırmıştır. Bu artış donatı oranına da yansımış olup DY-YD etkisi altında 0,007 donatı oranı hesaplanmış iken düşey depremin hesaba dahil olması neticesinde donatı oranı 0,008 değerine ulaşmıştır. Mesnet üst kesitlerinde donatı oranı minimum donatı oranının üzerinde elde edilmiştir.

DS-1 depreminde uzun açıklıklı kirişte (26 numaralı), düşey depremin hesaplara dahil edilmesi açıklık alt momentlerinde herhangi bir fark oluşturmamıştır. Bu nedenle, üç yükleme durumu altında hesaplanan açıklık alt tasarım eğilme momentleri aynı donatı oranını (min donatı üzerinde) gerektirmiştir. Düşey depremin hesaplamalara dahil edilmesi için kullanılan her iki yöntemde de mesnet üst momentleri benzer sonuçlar vermiş ve eğilme momenti değerlerini yaklaşık 50 kNm dolayında artırmıştır. Eğilme momentindeki artış donatı oranına da yansımış olup DY-YD etkisi altında 0,007 donatı oranı hesaplanmış iken düşey depremin hesaba dahil olması neticesinde donatı oranı 0,008 değerine ulaşmıştır. Mesnet üst kesitlerinde donatı oranı minimum donatı oranının üzerinde elde edilmiştir.

DS-1, DS-2 ve DS-3 deprem seviyelerinde kısa açıklıklı kirişte (20 numaralı) üç yükleme durumu altında hesaplanan mesnet üst ve açıklık alt tasarım eğilme

momentleri aynı donatı oranını gerektirmiştir: Mesnet üst için min donatı oranı üzerine donatı gerekliliği ortaya çıkmış (DS-1 için 0,007, DS-2 için 0,006, DS-3 için 0,005), açıklık altında ise min donatı oranı DS-1 ve DS-2 de yakalanmış, DS-3 de altında kalınmıştır. Düşey depremin hesaplara dahil edilmesi için kullanılan her iki yöntemde de mesnet üst momentlerinde DS-1, DS-2 ve DS-3 depremlerinde, sırasıyla, yaklaşık 5 kNm, 4 kNm ve 3 kNm dolayında ihmal edilebilir seviyede artış meydana gelmiştir. Ancak bu artış donatı oranına yansımamıştır. Düşey depremin hesaplara dahil edilmesi açıklık alt momentlerinde herhangi bir fark oluşturmamıştır.

Depremin düşey bileşeninin açıklık donatısı üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Ancak, mesnet donatısı üzerindeki etkisi deprem düzeyinin görece yüksek olması durumunda ortaya çıkmıştır. Bu artışın görüldüğü durumlarda DY-YD etkisi altında hesaplanan donatı alanı ilgili tablolarda parantez içinde verilmektedir. Beklendiği üzere, deprem düzeyinin artışı gerekli mesnet donatısı oranını artırmıştır.



6. SONUÇLAR

Depremiñ düşey bileşeniñin hesaplara dahil edilme yöntemiñin zemin kat kolon ve kiriş elemanların tasarıma esas iç kuvvet bileşenlerine ve donatı alanına etkisini araştırmak üzere düzenli betonarme çerçeve sistemlerle oluşturulan 10 katlı iki bina incelenmiştir. DY-YD (düşey yükler-yatay deprem bileşenleri), DY-YD-DD(2/3) (düşey yükler-yatay deprem bileşenleri-düşey deprem bileşeniñin 2/3 yaklaşımı ile dikkate alınması), ve DY-YD-DD(S) (düşey yükler-yatay deprem bileşenleri- düşey deprem bileşeniñin spektrum yaklaşımı ile dikkate alınması), etkileri ayrı ayrı ele alınarak kısa periyot tasarım spektral ivme katsayıları 0.75 değerinden büyük olan yüksek depremin üç farklı seviyesi (DS-1, DS-2 ve DS-3) için ZD yerel zemin koşullarında binaların yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yapısal analizler değerlendirilerek öncelikle her iki bina için ayrı ayrı varılan sonuçlar listelenmiş daha sonra da her iki bina için de geçerli olan genel sonuçlar listelenmiştir.

6.1 Göreli Kat Ötelemeleri 0,008 κ ile Sınırlı Binada Varılan Sonuçlar

Depremiñ düşey bileşeniñin etkisini hesaplamalara dahil etmek için kullanılan iki farklı yöntemden “ $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ ” formülü kolonların normal kuvvet değerlerini düşey spektrum yaklaşımına göre daha fazla değiştirmiştir (azaltmıştır).

Depremiñ düşey bileşeniñin etkisini hesaplara dahil etmek için kullanılan her iki yaklaşım da binanın kısa kenar aksları üzerindeki köşede olmayan kolonların tasarım eğilme momenti değerlerinde yaklaşık %50'ye varan artışla benzer etki üretmiştir. Diğer zemin kat kolon elemanlarının tasarıma esas eğilme momenti değerlerini ihmal edilebilir farklarla benzer oranlarda artırdığı tespit edilmiştir.

$E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ yaklaşımının kullanılması durumunda kolon boyuna donatı oranlarında düşey spektrum yaklaşımına göre daha fazla artış olduğu tespit edilmiştir.

Düşey deprem etkisinin ele alınması açısından $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ formülü yaklaşımı ve düşey spektrum yaklaşımı kirişlerin tasarıma esas eğilme momenti değerleri bakımından birbirine son derece yakın sonuçlar vermiştir.

DY-YD-DD(S) ve DY-YD-DD(2/3) yükleme durumları altında hesaplanan uzun açıklıklı kirişlerin mesnet üst ve açıklık alt kesit tasarım eğilme momentleri benzer olup aynı donatı oranını gerektirmiştir. Mesnet üst ve açıklık alt kesit donatı oranları minimum donatı oranının üzerinde değer almıştır.

DY-YD-DD(S) ve DY-YD-DD(2/3) yükleme durumları altında hesaplanan kısa açıklıklı kirişlerin mesnet üst ve açıklık alt kesit tasarım eğilme momentleri benzer olup aynı donatı oranını gerektirmiştir. Mesnet üst kesit donatı oranları minimum donatı oranının üzerinde değer almıştır, açıklık alt kesit donatı oranları deprem seviyesinin artışına bağlı olarak 0,002-0,003 aralığında gerçek hesap değerleriyle temsil edilmiştir.

6.2 Görelî Kat Ötelemeleri 0,016 κ ile Sınırlı Binada Varılan Sonuçlar

Depremin düşey bileşeninin etkisini hesaplara dahil etmek için kullanılan $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ yönteminin zemin kat kolonlarının lokasyona bağlı tasarıma esas eksenel kuvvetlerindeki azalış ve artışlarda düşey spektrum yaklaşımına göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Düşey ivme kabûlü için kullanılan yöntemler arasında zemin kat kolonlarının tasarıma esas eğilme momenti değerlerinde oluşan azalış ve artışlar bakımından belirgin bir fark depremselliğin artışı ile birlikte ortaya çıkmamıştır.

Depremin düşey bileşeninin etkisini hesaplara dahil etmek için kullanılan $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ yaklaşımı, düşey spektrum yaklaşımından daha büyük kolon boyuna donatı oranları gerektirmiştir.

Yapısal analiz sonuçlarına göre, zemin kat kirişlerinin tasarıma esas eğilme momenti değerleri açısından $(E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G)$ ve düşey spektrum yaklaşımları arasında dikkate değer bir fark oluşmadığı tespit edilmiştir.

DY-YD-DD(S) ve DY-YD-DD(2/3) yükleme durumları altında hesaplanan uzun açıklıklı kirişlerin mesnet üst ve açıklık alt kesit tasarım eğilme momentleri benzer

olup aynı donatı oranı bulunmuştur. Mesnet üst ve açıklık alt kesit donatı oranları, minimum donatı oranının üzerinde değer almıştır.

DY-YD-DD(S) ve DY-YD-DD(2/3) yükleme durumları altında hesaplanan kısa açıklıklı kirişlerin mesnet üst ve açıklık alt kesit tasarım eğilme momentleri benzer olup hesap sonucu aynı donatı oranı elde edilmiştir. Mesnet üst kesit donatı oranları minimum donatı oranının üzerinde değer almıştır, açıklık alt kesit donatı oranları deprem seviyesinin artışına bağlı olarak 0,002-0,003 aralığında gerçek hesap değerleriyle temsil edilmiştir.

6.3 Genel Sonuçlar

Depremi düşey bileşeninin etkisini hesaplamalara dahil etmek için kullanılan iki farklı yöntemden ($E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$) yaklaşımı her iki binada zemin kat kolonlarının tasarıma esas eksenel kuvvetlerinde daha fazla değişikliğe neden olmuştur.

Düşey ivme kabülü için kullanılan yöntemler arasında zemin kat kolonlarının tasarıma esas eğilme momenti değerlerinde oluşan azalış ve artışlar bakımından belirgin bir fark her iki binada da depremsellüğün artışıyla birlikte ortaya çıkmamıştır.

Depremi düşey bileşeninin etkisini hesaplara dahil etmek için kullanılan $E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ yaklaşımında tasarım sonucu elde edilen kolon boyuna donatı oranları düşey spektrum yaklaşımında elde edilenlerden daha fazladır.

$E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G$ ve düşey spektrum yaklaşımları kirişlerin tasarıma esas eğilme momenti değerleri bakımından son derece birbirine yakın sonuçlar vermiştir.

DY-YD-DD(S) ve DY-YD-DD(2/3) yükleme durumları altında uzun açıklıklı kirişlerin mesnet üst ve açıklık alt kesit tasarım eğilme momentleri benzer olup aynı donatı oranını gerektirmiştir. Mesnet üst ve açıklık alt kesit donatı oranları minimum donatı oranının üzerinde değer almıştır.

DY-YD-DD(S) ve DY-YD-DD(2/3) yükleme durumları altında kısa açıklıklı kirişlerin mesnet üst ve açıklık alt kesit tasarım eğilme momentleri benzer olup aynı donatı oranını gerektirmiştir. Mesnet üst kesit donatı oranları minimum donatı oranının üzerinde değer almıştır, açıklık alt kesit donatı oranları deprem seviyesinin artışına bağlı olarak 0,002-0,003 aralığında gerçek hesap değerleriyle temsil edilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] **TC Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı**, (2023). 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu. Ankara.
- [2] **Kürçer, A., Elmacı, H., Özdemir, E., Güven, C., Güler, T., Avcu, İ., Olgun, Ş., Avcı, H. O., Aydoğan, H., Yüce, A. A., Çetin, F. E., Ayrancı, A., Akyol, Z., Soykasap Ö. A., Altuntaş, G., Demirörs, U., Karayazı, O., Bayrak, A., Özalp, S.**, 2023. 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi (Mw 7,7) Saha Gözlemleri ve Değerlendirmeler. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 14138, 187 s., Ankara.
- [3] **Parlak, O., Yavuzoğlu, A., Bayrak, A., Karayazı, O., Olgun, Ş.**, 2023. 06 Şubat 2023 Elbistan (Kahramanmaraş) Depremi (Mw 7,6) Saha Gözlemleri ve Değerlendirmeler. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 14139, 99s., Ankara.
- [4] **Kalkan, E., Adalier, K. and Pamuk, A.**, (2004). Near Source Effects and Engineering Implications of Recent Earthquakes in Turkey. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. 19.
- [5] **Umut, Ö.** (2006). *Yakın Fay Hareketinin Yapılar Üzerindeki Etkisi ve İzolatör Sıvı Sönümleyicilerle Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [6] **Ibrahim, A. R., Makhloof, D. A. and Xiaodan R.**, (2024). Seismic performance and collapse analysis of RC framed-wall structure excited with Turkey/Syria destructive earthquake. *Structures*, Vol. 59. Elsevier.
- [7] **Iyengar, R.N. and Shinozuka, M.**, (1972). Effect of self-weight and vertical acceleration on the behaviour of tall structures during earthquake. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 1(1), pp.69-78.
- [8] **Papazoglou, A. J., and Elnashai, A. S.**, (1996). Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 25.10, pp. 1109-1137.
- [9] **Elfeki, M. A., and Youssef, M. A.**, (2007). Effect of the vertical earthquake component on the seismic response of reinforced concrete moment frames. *9th Canadian Conf. on Earthquake Engineering*, Ottawa, Ontario, Canada, pp. 1200-1209.

- [10] **Gürel M.A., Kısa M.**, (2002). Deprem Hareketinin Düşey Bileşeninin Çeşitli Yapı Elemanları Üzerindeki Etkileri ve Hasar Potansiyeli. *Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*.
- [11] **Doğan E, Elmas M.**, (2004). Binalarda düşey deprem etkisinin zaman tanım alanında hesap yöntemi ile incelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*. Jan 6;8(1):9-17.
- [12] **Eren G, Beyen K.**, (2015). Düşey deprem etkisinde tipik bir binada gözlenen performansın tartışılması. *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 11, pp. 199-211.
- [13] **Jakayev, S. and Aydemir, M.E.**, (2019). Düzenli bir betonarme binada düşey deprem bileşeninin yapısal davranışa etkisi. *Afet ve Risk Dergisi*, 2(1), pp.1-13.
- [14] **Genç, Y.** (2019). *Türk ve bazı yabancı deprem yönetmeliklerine göre betonarme binaların analizinde düşey deprem yük etkilerinin araştırılması*. (Yüksek Lisans tezi). Kırıkkale Üniversitesi.
- [15] **Skoufezis, A. and Manoukas, G.**, (2023). Influence of vertical seismic component on the response of reinforced concrete regular planar frames. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 165, pp.107658.
- [16] **Doğan, O. ve Yunus, Genç.**, (2019). Türk Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre düşey deprem kuvvetinin ikinci mertebeden taban momentlerine etkisi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(3), pp.244-249.
- [17] **Yavaş, M., Teloğlu, A. N., ve Celep, Z.**, (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde binaların taşıyıcı sisteminde tanımlanan düşey deprem etkisi üzerine. *International Conference On Earthquake Engineering And Seismology (SICEES)*. Vol. 8.
- [18] **Farsangi, E.N. and Tasnimi, A.A.**, (2016). The influence of coupled horizontal-vertical ground excitations on the collapse margins of modern RC-MRFs. *International Journal of Advanced Structural Engineering (IJASE)*, vol. 8, pp.169-192.
- [19] **Wang, H., Jia, M., Yao, Y., Chen, X. and Zhang, Z.**, (2023). Influence of the Vertical Component of Yangbi Ground Motion on the Dynamic Response of RC Frame and Brick-Concrete Structure. *Buildings*, 13(1), pp.147.
- [20] **Koçman, M.** (2022). *Betonarme yapıların deprem performansının belirlenmesinde deprem düşey bileşeninin etkisi*, (Yüksek Lisans tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21] **Kramer S.L.** (2003). *Geoteknik Deprem Mühendisliği*, (K., Kayabalı Çev.), Gazi Yayınevi, Ankara
- [22] **Newmark N.M. And Hall W.J.**, (1982). Earthquake Spectra and Design, EERI Monograph. *Earthquake Engineering Research Institute*, Berkeley California, 103 pp.)
- [23] **Campbell, K.W.**, (1985). Strong ground motions attenuation relations: A ten year perspective. *Earthquake Spectra*, Vol. 1, No. 4, pp. 759-804.

- [24] **Abrahamson, N.A. And Litehiser, J.J.**, (1989). Attenuation of vertical peak acceleration. *bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 79, pp. 549-580.
- [25] **TBDY 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği**. (2018). Ankara.
- [26] **TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları**. (2000). Ankara.
- [27] **SAP2000 v21**. [Computer software]. CSI Analysis Reference Manual, Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc.
- [28] **TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri**. (2021). Ankara.
- [29] **Türkiye Deprem Tehlike Haritaları interaktif web uygulaması**. (2024). <https://tdth.afad.gov.tr/>, erişim tarihi 10.01.2024
- [30] **Tüysüz O.** (2021). *Deprem ve Türkiye*, Literatür Yayınları, 1.Baskı, İstanbul.
- [31] **(DBYBHY), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**. (2007). Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

:Aykut Arkun

VESİKALIK
FOTO

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yükseklisans:** 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2010-2019 yılları arasında inşaat özel sektöründe çeşitli endüstriyel tesis projelerinde teknik ofis çalışanı olarak görev aldı.
- 2019 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinde yüksek lisansa başladı.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Arkun A., İspir M., İlki A.** 2024. The Effect of the Method of Including the Vertical Earthquake Effect in Structural Calculations on the Design of Regular Reinforced Concrete Frame Systems. *3rd International Graduate Research Symposium (IGRS'24)*, May 08-10, 2024 İstanbul, Türkiye