T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BODRUMLU BETONARME BİNALARIN TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE İRDELENMESİ

Burak KARACA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Prof. Dr. Barış SEVİM

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BODRUMLU BETONARME BİNALARIN TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE İRDELENMESİ

Burak KARACA tarafından hazırlanan tez çalışması 07.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Barış SEVİM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Barış SEVİM, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üye. Zeynep FIRAT ALEMDAR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üye. Erdem DAMCI, Üye
İstanbul Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Barış SEVİM sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Bodrumlu Betonarme Binaların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre İrdelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Burak KARACA

İmza

Aileme

ve

arkadaşlarıma

TEŞEKKÜR

Yıldız Teknik Üniversitesinde Yüksek Lisans eğitimime başladığım günden bu yana tez çalışması ve diğer süreçlerde tüm bilgi ve birikimiyle bana yardımcı olan ve yol gösteren Sayın Prof. Dr. Barış SEVİM Hocama tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan annem Şakire KARACA'ya babam Ali KARACA'ya ve kardeşim Burcu KARACA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Burak KARACA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti ... 2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı ... 5
1.3 Orijinal Katkı ... 5

2 TBDY 2018'E GÖRE DEPREM ETKİSİ VE BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİNDEKİ ESASLAR 7

2.1 Giriş ... 7
2.2 Deprem Yer Hareketi ... 8
2.2.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri ... 8
2.2.2 Deprem Yer Hareketi Spektrumları ... 8
2.3 Deprem Etkisi Altındaki Binaların Değerlendirilmesindeki Esaslar ... 12
2.3.1 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları ... 12
2.3.2 Deprem Tasarım Sınıfları ... 14
2.3.3 Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları ... 14
2.3.4 Bina Performans Düzeyleri ... 15
2.3.5 Bina Performans Hedefleri ve Tasarım Yaklaşımları ... 16
2.3.6 Binalarda Düzensizlik Durumları ... 17

3 TBDY 2018'E GÖRE BODRUMLU BİNALARIN HESAP ESASLARI 22

3.1 Dayanıma Göre Tasarım Esasları ... 22
3.1.1 Tanım ve Kapsamı ... 22

3.1.2 Deprem Yükü Azaltma Katsayısı 22
3.1.3 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı . 23
3.2 Deprem Etkilerinin Tanımlanması 25
3.2.1 Yatay Deprem Etkisi İçin Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu 25
3.2.2 Yatay Deprem Etkisi ve Birleşimi 25
3.2.3 Düşey Deprem Etkisi 25
3.2.4 Deprem Etkilerinin Kombinasyonlarla Birleştirilmesi 26
3.3 Yapısal Elemanların Modellenmesi 26
3.3.1 Geçiş Katlarında Döşemelerin Modellenmesi 26
3.3.2 Yapısal Elemanların Etkin Kesit Rijitliklerinin Modellenmesi..... 27
3.3.3 Kütlelerin Modellenmesi 29
3.3.4 Ek Dış Merkezliğin Modellenmesi 29
3.3.5 Betonarme Boşluksuz Perdelerin ve Bodrum Perdelerinin Modellenmesi 29
3.4 Hesap Yönteminin Seçilmesi 30
3.4.1 Rijit Bodrumlu Binaların Davranışı 30
3.4.2 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Bodrumlu Binaların Hesabı 33
3.4.3 Mod Birleştirme Yöntemi ile Bodrumlu Binaların Hesabı 34
3.4.4 Tüm Taşıyıcı Sistemde Modal Hesap Yönteminin Uygulanması 35
3.4.5 Bodrumlu Binalarda Hesaplanan İç Kuvvetler 36
4 YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER 38
4.1 Binaların Sonlu Eleman Modelleri 38
4.2 Sonlu Eleman Analizleri 41
4.2.1 Binaların Modal Davranışı 42
4.2.2 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle Deprem Hesabının Yapılması .. 46
4.2.3 Mod Birleştirme Yöntemiyle Deprem Hesabının Yapılması 64
4.2.4 Yük Birleşimlerinin Tanımlanması 76

4.3 Binaların Deprem Davranışlarının Karşılaştırılması 81
4.3.1 Yerdeğiştirmeler 81
4.3.2 İç Kuvvetler ve Gerilmeler 83
4.3.3 Model 1'de (Bodrumlu Bina) Taşıyıcı Sistemin Tümünde Mod Birleştirme Yöntemi'nin Uygulanması 100
5 SONUÇ VE ÖNERİLER **107**
KAYNAKÇA **110**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **112**

SİMGE LİSTESİ

$S_{aR}(T)$	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi(g)
M_0	Binanın tümünde deprem sebebiyle oluşan toplam devrilme momenti (kNm)
$R_{üst}$	Binanın üst bölümüne uygulanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_{alt}	Binanın alt bölümüne uygulanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$(R_a)_{üst}$	Binanın üst bölümüne uygulanan deprem yükü azaltma katsayısı
$(R_a)_{alt}$	Binanın alt bölümüne uygulanan deprem yükü azaltma katsayısı
$D_{üst}$	Binanın üst bölümüne uygulanan dayanım fazlalığı katsayısı
D_{alt}	Binanın alt bölümüne uygulanan dayanım fazlalığı katsayısı
m_t	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümün toplam kütlesi(t)
N	Binanın bodrum katının üstündeki üst bölümdeki toplam kat sayısı
H_i	Binanın bodrum katın üstündeki üst bölümde i'inci katın üst bölümün tabanından yüksekliği(m)
M_{dev}	Betonarme perdede veya çapraz çerçevenin tabanında deprem sebebiyle oluşan devrilme momenti (kNm)
η_{bi}	Burulma düzensizliği katsayısı
$F_{bkE}^{(X)}$	Bodrum kata etkiyen eşdeğer deprem yükü(kN)
m_{bk}	Bodrum katın kütlesi(t)
η_{ci}	Dayanım düzensizliği katsayısı
$\Delta F_{NE}^{(X)}$	Ek eşdeğer deprem yükü(kN)
γ_E	Eşdeğer taban kesme kuvvet büyütme katsayısındaki ampirik katsayı
κ	Göreli kat ötelemesinde farklı taşıyıcı sistemlerde kullanılan katsayı
$M_{ib}^{(X)}$	İ'inci katta X doğrultusundaki ek kat burulma momenti(kNm)
D_{bi}	İ'inci katta ek dışmerkezlik büyütme katsayısı
$F_{iE}^{(X)}$	İ'inci kattaki eşdeğer deprem yükü(kN)
h_i	İ'inci katın yüksekliği(m)
w_k	K'ıncı kata etkiyen toplam ağırlık(kN)
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
η_{ki}	Rijitlik düzensizliği katsayısı
$V_{tE}^{(X)}$	X yönünde binaya etkiyen toplam taban kesme kuvveti(kN)
ΣUX	X yönündeki toplam kütle katılım oranı
ΣUY	Y yönündeki toplam kütle katılım oranı
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi(g)
g	Yerçekimi ivmesi
S_{D1}	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
EDYY	Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En büyük yer hızı
MBY	Mod Birleştirme Yöntemi
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Türkiye Deprem Tehlike Haritası (afad, 2018) 7
Şekil 2.2 Yatay elastik tasarım spektrumu (tbdy, 2018) 11
Şekil 2.3 Düşey elastik tasarım spektrumu (tbdy, 2018) 12
Şekil 2.4 Bina performans düzeyleri (darılmaz, 2019) 16
Şekil 2.5 A1 burulma düzensizliği durumu (tbdy, 2018) 18
Şekil 2.6 A2 düzensizlik durumu (tbdy, 2018) 19
Şekil 2.7 A3 düzensizlik durumu (tbdy, 2018) 19
Şekil 2.8 Düşey eleman süreksizlik durumları (tbdy, 2018) 21
Şekil 3.1 Deprem yükü azaltma katsayısı (darılmaz, 2019) 23
Şekil 3.2 Devrilme momentinin geçiş döşemesindeki etkileri (darılmaz, 2019) 27
Şekil 3.3 Döşeme ve perdelerde düzlem içi ve dışı etkilerin gösterimi (url-1) ... 28
Şekil 3.4 Perdenin podyum döşemesine bağlantısının karşılaştırılması (moehle, 2015) 31
Şekil 3.5 Bodrum perdelerinin düşey ve yatay yüklere göre davranışı 31
Şekil 3.6 Perde devrilme momentinin bodrum perdeleri ve temelle karşılanması 32
Şekil 3.7 Perde devrilme momentinin temelle karşılanması 32
Şekil 3.8 Bodrumlu binalarda iki yükleme durumlu hesap yöntemi (tbdy, 2018) 34
Şekil 3.9 Bodrumlu binaların mod birleştirme yöntemi ile iki yükleme durumlu hesabı 37
Şekil 4.1 Binaların normal kat kalıp planı 39
Şekil 4.2 Model 1'in üç boyutlu sonlu eleman modeli 39
Şekil 4.3 Model 2'nin üç boyutlu sonlu eleman modeli 40
Şekil 4.4 Model 3'ün üç boyutlu sonlu eleman modeli 40
Şekil 4.5 Yatay elastik ivme spektrumu, $s_{ae}(t)$ 42
Şekil 4.6 Model 1'e ait mod şekilleri ve periyot değerleri 43
Şekil 4.7 Model 2'ye ait mod şekilleri ve periyot değerleri 43
Şekil 4.8 Model 3'e ait mod şekilleri ve periyot değerleri 44
Şekil 4.9 X yönündeki kat kesme kuvvetleri 47
Şekil 4.10 Y yönündeki kat kesme kuvvetleri 48
Şekil 4.11 Binaların a1 düzensizliği katsayıları 54
Şekil 4.12 X yönündeki etkin göreli kat öteleme değerleri 60
Şekil 4.13 Y yönündeki etkin göreli kat öteleme değerleri 61
Şekil 4.14 Modellerde uygulanan spektrumlar 67
Şekil 4.15 0-1 saniye arası spektrum grafikleri 68
Şekil 4.16 Model 1'in üst bölümü, model 2 ve model 3'te uygulanan spektrum 68
Şekil 4.17 Model 1'in alt bölümünde uygulanan spektrum 69
Şekil 4.18 Kat seviyelerinde tanımlanan kesitlerin yerleri 70
Şekil 4.19 Model 1'de x yönü için tanımlanan yeni spektrum 73
Şekil 4.20 Model 1'de y yönü için tanımlanan yeni spektrum 73
Şekil 4.21 Model 2'de x yönü için tanımlanan yeni spektrum 74
Şekil 4.22 Model 2'de y yönü için tanımlanan yeni spektrum 74
Şekil 4.23 Model 3'te x yönü için tanımlanan yeni spektrum 75

Şekil 4.24 X yönündeki kat kesme kuvveti 75
Şekil 4.25 Y yönündeki kat kesme kuvvetleri 76
Şekil 4.26 X ve y yönündeki alt bölümdeki yüklerin gösterimi 79
Şekil 4.27 X yönündeki kuvvetlerin aktarılması 79
Şekil 4.28 Y yönündeki kuvvetlerin aktarılması 80
Şekil 4.29 Edyy ve mby' ye göre x yönündeki maksimum yerdeğiştirmeler 82
Şekil 4.30 Edyy ve mby' ye göre y yönündeki maksimum yerdeğiştirmeler 83
Şekil 4.31 X-Z (y=0) düzlemindeki kolonların gösterimi 84
Şekil 4.32 Edyy'ye göre x yönündeki kesme kuvvetleri 86
Şekil 4.33 Mby'ye göre x yönündeki kesme kuvvetleri 86
Şekil 4.34 Edyy'ye göre y yönündeki kesme kuvvetleri 87
Şekil 4.35 Mby'ye göre y yönündeki kesme kuvvetleri 87
Şekil 4.36 Edyy'ye göre x yönündeki moment değerleri 88
Şekil 4.37 Mby'ye göre x yönündeki moment değerleri 88
Şekil 4.38 Edyy'ye göre y yönündeki moment değerleri 89
Şekil 4.39 Mby'ye göre y yönündeki moment değerleri 89
Şekil 4.40 X yönündeki devrilme momentleri 92
Şekil 4.41 Y yönündeki devrilme momentleri 92
Şekil 4.42 Edyy ve mby'ye göre x yönündeki kesme kuvvetleri 94
Şekil 4.43 Edyy ve mby'ye göre y yönündeki kesme kuvvetleri 95
Şekil 4.44 Edyy ve mby'ye göre x yönündeki moment değerleri 95
Şekil 4.45 Edyy ve mby'ye göre y yönündeki moment değerleri 96
Şekil 4.46 Model 1, model 2 ve model 3'e ait x yönündeki çekme gerilmeleri .. 98
Şekil 4.47 Model 1, model 2 ve model 3'e ait x yönündeki basınç gerilmeleri .. 98
Şekil 4.48 Model 1, model 2 ve model 3'e ait x yönündeki kayma gerilmeleri .. 98
Şekil 4.49 Model 1, model 2 ve model 3'e ait y yönündeki çekme gerilmeleri .. 99
Şekil 4.50 Model 1, model 2 ve model 3'e ait y yönündeki basınç gerilmeleri... 99
Şekil 4.51 Model 1, model 2 ve model 3'e ait y yönündeki kayma gerilmeleri .. 99
Şekil 4.52 X yönündeki deprem yükü azaltma katsayısı değerleri 101
Şekil 4.53 Y yönündeki deprem yükü azaltma katsayısı değerleri 101
Şekil 4.54 X yönünde azaltılmış spektral ivme değerleri 102
Şekil 4.55 Y yönünde azaltılmış spektral ivme değerleri 102
Şekil 4.56 X ve y yönünde oluşan kat kesme kuvvetleri 103
Şekil 4.57 X ve y yönünde katlarda oluşan yerdeğiştirme değerleri 104
Şekil 4.58 Kolonlarda oluşan kesme kuvveti değerleri 104
Şekil 4.59 Kolonlarda oluşan moment değerleri 105
Şekil 4.60 X ve y yönünde oluşan kesme kuvvetleri 105
Şekil 4.61 X ve y yönünde oluşan moment değerleri 106

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kısa periyot için zemin etki katsayıları (tbdy, 2018) 9
Tablo 2.2 1.0 saniye periyot için zemin etki katsayıları (tbdy, 2018) 10
Tablo 2.3 Bina kulanım sınıfları ve önem katsayıları (tbdy, 2018) 13
Tablo 2.4 Deprem tasarım sınıfları (tbdy, 2018) 14
Tablo 2.5 Bina yükseklik sınıfları (tbdy, 2018) 15
Tablo 2.6 Yeni yapılacak betonarme önüretimli betonarme ve çelik binalar (yüksek binalar hariç- bys≥2) (tbdy, 2018) 16
Tablo 2.7 Mevcut veya yeni yapılacak yüksek binalar (bys=1) (tbdy, 2018) 16
Tablo 2.8 Mevcut betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (yüksek binalar hariç- bys≥2) (tbdy, 2018) 17
Tablo 3.1 Betonarme binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı değerleri (tbdy, 2018) 24
Tablo 3.2 Etkin kesit rijitliği çarpanları (tbdy, 2018) 28
Tablo 3.3 Hareketli yük kütle katılım katsayısı (tbdy, 2018) 29
Tablo 3.4 Eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği binalar (tbdy, 2018) 30
Tablo 4.1 İncelenen binalara ait geometrik özellikler ve modelleme parametreleri 41
Tablo 4.2 Afad'ın sitesinden alınan spektral parametreler 42
Tablo 4.3 Model 1'in kütle katılım oranları 44
Tablo 4.4 Model 2'nin kütle katılım oranları 45
Tablo 4.5 Model 3'ün kütle katılım oranları 45
Tablo 4.6 Model 1'e ait taban kesme kuvveti ve eşdeğer deprem yükü kuvvetleri 46
Tablo 4.7 Model 2'ye ait taban kesme kuvveti ve eşdeğer deprem yükü kuvvetleri 46
Tablo 4.8 Model 3'e ait taban kesme kuvveti ve eşdeğer deprem yükü kuvvetleri 47
Tablo 4.9 Model 1'e ait a1 düzensizliği kontrolü 49
Tablo 4.9 Model 1'e ait a1 düzensizliği kontrolü (devamı) 50
Tablo 4.10 Model 2'ye ait a1 düzensizliği kontrolü 50
Tablo 4.10 Model 2'ye ait a1 düzensizliği kontrolü (devamı) 51
Tablo 4.11 Model 3'e ait a1 düzensizliği kontrolü 52
Tablo 4.11 Model 3'e ait a1 düzensizliği kontrolü (devamı) 53
Tablo 4.12 Model 1'e ait ek burulma momentleri 54
Tablo 4.13 Model 2'ye ait ek burulma momentleri 55
Tablo 4.14 Model 3'e ait ek burulma momentleri 55
Tablo 4.15 Model 1'e ait b2 düzensizlik kontrolü 56
Tablo 4.16 Model 2'ye ait b2 düzensizlik kontrolü 57
Tablo 4.17 Model 3'e ait b2 düzensizlik kontrolü 58
Tablo 4.18 Model 1'e ait etkin göreli kat öteleme değerleri 59
Tablo 4.19 Model 2'ye ait etkin göreli kat öteleme değerleri 59
Tablo 4.20 Model 3'e ait etkin göreli kat öteleme değerleri 60
Tablo 4.21 Model 1'e ait ikinci mertebe etkilerin kontrolü 62

Tablo 4.22 Model 2'ye ait ikinci mertebe etkilerin kontrolü 63
Tablo 4.23 Model 3'e ait ikinci mertebe etkilerin kontrolü 64
Tablo 4.24 Model 1'in üst bölümüne ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları 65
Tablo 4.25 Model 1'in alt bölümüne ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları 66
Tablo 4.26 Üst ve alt bölüm için hesaplanan azaltılmış tasarım ivme spektrum değerleri 67
Tablo 4.27 Model 1'in üst bölümüne ait kat kuvvetleri 70
Tablo 4.28 Model 1'in alt bölümüne ait kat kuvvetleri 71
Tablo 4.29 Model 2'ye ait kat kuvvetleri 71
Tablo 4.30 Model 3'e ait kat kuvvetleri 71
Tablo 4.31 Modellere ait eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayıları 72
Tablo 4.32 Üst bölüme ait kombinasyonlar 77
Tablo 4.33 Alt bölüme ait kombinasyonlar 78
Tablo 4.34 Üst ve alt bölüme ait kombinasyonlar 80
Tablo 4.35 Edyy' ye göre maksimum yerdeğiştirmeler 81
Tablo 4.36 Mby' ye göre maksimum yerdeğiştirmeler 82
Tablo 4.37 Kolonlarda oluşan kesme kuvveti değerleri 85
Tablo 4.38 Kolonlarda oluşan moment değerleri 85
Tablo 4.39 Devrilme momentlerinin değerleri 91
Tablo 4.40 Edyy'ye göre çekirdek perdede oluşan kesme kuvvetleri 93
Tablo 4.41 Mby'ye göre çekirdek perdede oluşan kesme kuvvetleri 93
Tablo 4.42 Edyy'ye göre çekirdek perdede oluşan moment değerleri 93
Tablo 4.43 Mby'ye göre çekirdek perdede oluşan moment değerleri 94

ÖZET

Bodrumlu Betonarme Binaların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre İrdelenmesi

Burak KARACA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Barış SEVİM

Dünyada ve Ülkemizde artan nüfus miktarı, inşa edilen betonarme binaların birçoğunda bodrumun varlığını gerekli kılmakta ve bodrumlu binaların sayısını arttırmaktadır. Bu durum dikkate alınarak bodrumlu betonarme binaların davranışının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla bu çalışmada, 2018'de yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin (TBDY 2018) rijit bodrumlu betonarme binalar için önerdiği analiz yaklaşımları çerçevesinde deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. TBDY 2018'de bodrumlu binalar için 2 yüklemeli analizden bahsedilmektedir. İlk yüklemede üst bölümün kütlesi dikkate alınırken alt bölümün (bodrumun) kütlesi ihmal edilmektedir. İkinci yüklemede ise alt bölümün kütlesi dikkate alınırken üst bölümün kütlesi ihmal edilmektedir. Bu analiz 2 yüklemeli olarak yapıldığından farklı modellerde çalışmayı gerektirmektedir.

Bu tez kapsamında, bodrum+5 katlı, bodrumsuz 5 katlı ve bodrumsuz 6 katlı olmak üzere tüm malzeme ve geometrik özellikleri aynı olan betonarme perde-çerçeve taşıyıcı sistemine sahip 3 bina SAP2000 yazılımında modellenerek Eşdeğer

Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi' ne göre deprem analizi yapılmıştır. Bodrumlu binada üst bölüm ve alt bölümde elde edilen etkiler TBDY 2018'de belirtildiği üzere sünek ve sünek olmayan davranış prensibiyle birleştirilmiş ve diğer 2 bina ile modal davranış, kat kesme kuvvetleri, yerdeğiştirmeler, kolon iç kuvvetleri, çekirdek perde iç kuvvetleri, döşeme gerilmeleri cinsinden karşılaştırılmıştır.

Tezin son kısmında TBDY 2018'de bodrumlu binalar için belirtilen diğer bir analiz çeşidi olan tüm yapı kütlesinin dikkate alındığı mod birleştirme yöntemi bodrumlu binada uygulanmış ve 2 yüklemeli yapılan mod birleştirme yöntemi ile kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bodrumlu Betonarme Bina, eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, mod Birleştirme Yöntemi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018

ABSTRACT

Examination of Reinforced Concrete Buildings with Basement According to Turkey Building Earthquake Regulation 2018

Burak KARACA

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. Barış SEVİM

The increasing population in the world and in our country necessitates the existence of basements in many of the reinforced concrete buildings built and increases the number of basement buildings. In order to better understand the behavior of reinforced concrete buildings with basements by taking this situation into account, earthquake analyses were carried out within the framework of the analysis approaches proposed by the Turkish Building Earthquake Regulation (TBDY 2018) for reinforced concrete buildings with rigid basements published in 2018. In TBDY 2018, 2-load analysis is mentioned for basement buildings. When taking into account the mass of the upper section in the first installation, the mass of the lower section (basement) is neglected. In the second installation, the mass of the upper section is neglected while the mass of the lower section is taken into account. Since this analysis is done with 2 loads, it requires working in different models. Within the scope of this thesis, 3 buildings with reinforced concrete curtain-frame carrier system with the same material and geometric characteristics,

including basement+5 storey, 5 storeys without basement and 6 storeys without basement, were modeled in SAP2000 software and earthquake analysis was performed according to Equivalent Earthquake Load Method and Mod Consolidation Method. The effects obtained in the upper section and lower section of the basement building were combined with the principle of perch and non-perch behavior as stated in TBDY 2018 and compared with the other 2 buildings in terms of modal behavior, floor cutting forces, displacements, column internal forces, core curtain internal forces, floor stretches.

In the last part of the thesis, the mode joining method, which is another type of analysis specified for basement buildings in TBDY 2018, was applied in the basement building and compared with the 2-load mode joining method.

Keywords: Reinforced concrete building with basement, equivalent earthquake load method, mod consolidation method, Turkey Building Earthquake Regulation 2018.

1
GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, özellikle deprem bölgesinde olan ülkemiz için önem arz etmektedir. Bu konuda diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de çeşitli yönetmelikler yayımlanmış ve son olarak 1 Ocak 2019'da Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) yürürlüğe girmiştir.

Dünyada ve Ülkemizde gerçekleşen hızlı nüfus artışı bina türü yapıların yapımını hızlandırmış ve aynı zamanda mimari olarak çeşitlendirmiştir. 1980'li yıllardan itibaren artan şehirleşme oranı özellikle binaların betonarme olarak inşaa edilmesini sağlamıştır. Şehirlerde yeni yerleşim yerleri ve imar alanları ihtiyacı doğmuş ve bu ihtiyaç artarak devam etmiştir. Son yıllarda artan ihtiyaçla birlikte artan nüfus göz önüne alındığında binalarda sığınak, otopark, depo, kömürlük gibi yerler için binalar bodrumlu olarak yapılmaktadır. Ayrıca ülkemizin eğimli bir yapısı olduğu düşünüldüğünde bodrumlu binalardaki rijit betonarme perdesinin toprak itkisini de karşılaması bina tasarımında olumlu olarak görülmektedir. Olumlu yanlarının yanında rijit bodrum perdesi binanın dinamik davranışını değiştirmektedir. Bu sebeple davranışın iyi anlaşılması ve ona göre bir yaklaşımla analiz edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada bodrumlu yapıların davranışının daha iyi anlaşılabilmesi adına TBDY 2018'de belirtilen yaklaşımlar çerçevesinde çeşitli analizler ve değerlendirmeler yapılacaktır.

1.1 Literatür Özeti

Bodrumlu betonarme binaların sayısı dünyada ve ülkemize artmasına rağmen literatürde yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Çakıroğlu (1995) rijit bodrumlu yapılarda yapmış olduğu çalışmada bodrum bölgesinin tam rijit ve yarı rijit olma hallerini modların süperpozisyonu yöntemiyle ayrı ayrı incelemiş ve yapının yalnız rijit olmayan üst bölgesiyle yalnız rijit olan alt bölgesinin ayrı ayrı alınmaları haline ait özel periyotlarının, tümüne ait özel periyotlarına ne kadar yakın olduğunu göstermiştir.

Yavuz (2007) yapmış olduğu çalışmada "çok sayıda oluşturduğu modellerde bodrum kat perde duvarlarının düzensizlikler üzerindeki etkisini incelemiştir. Buna ilaveten rijit bodrumlu binaları da çalışmaya dahil etmiş, eski ve yeni yönetmeliklerdeki kuralları karşılaştırmalı olarak vermiştir".

Giuriani ve Gubana (2007) yaptıkları çalışmada "yapısal duvarlarla çevrili sismik dayanıklı binalarda temel sorununa değinmiş ve özellikle, iç kesme duvarı için kutu tipi temel konusunu araştırmıştır. Hem kesme duvarlarının hem de kutu temelinin ciddi bir sismik etkiye maruz kaldığı yedi katlı bir bina için pratik bir uygulama sunulmuştur. Yapısal davranışı daha iyi anlamak ve kutu yapısını oluşturan her elemanın yapısal rolüne odaklanmak için analitik bir temel vermek amaçlanmıştır".

Lee ve Kim (2001) yaptıkları çalışmada "bodrum katının yüksek binaların sismik tepkisi üzerindeki etkisi ve üst yapıya uygulanan yanal kuvvetlerin bodrum katındaki kuvvetler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yüksek yapılarda bodrum kat etkisi dikkate alınmadığında yanal yerdeğiştirmelerin arttığı belirtilmiş ve bu yüzden yüksek bina yapılarının analizine bodrumun etkisinin dahil edilmesi gerektiğinden bahsedilmiştir. Ayrıca bodrum kat döşemesi için kısmi kat diyaframı içeren analiz yöntemi önerilmiştir".

Naeim vd. (2008) yaptıkları çalışmada "Bodrumlu yüksek yapılarda zemin-yapı etkileşimi bakımından temel ve bodrumların modellenme biçimlerini araştırmıştır. Yüksek yapılar için, bodrum katlar ve temellerin ayrı modellenmesinin üst bölüm doğal titreşim periyoduna olan tesiri düşük miktarda olduğu kat kesme kuvveti

değerlerinde ve göreli kat ötelenme oranlarında ise farklılıklar olduğu belirlenmiştir".

Tura ve Orakçal (2019) tarafından yapılan çalışmada iki kule ve ortak bir bodrumdan oluşan varsayımsal bir yüksek bina yapısı kuleler arasındaki etkileşimleri göz önünde bulundurularak üst sınır ve alt sınır yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Farklı doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar, tek kule modellerinin, makul ölçüde olsa da bodrum zeminlerindeki iç kuvvetleri arttırdığını göstermektedir.

Zhou vd. (2018) alt bölümde ortak bir bodrum katına sahip 4 adet yüksek betonarme binanın ve bu binalardan bir tanesinin deprem performansını belirlemek için sarsma tablasında deneysel ve parametrik bir uygulama yaparak karşılaştırmışlardır. Güvenli tarafta kalmak için hem tek hem de çok kuleli modellerin kurulması, analiz edilmesi ve bu tür binaların sismik tasarımında zarf değerinin benimsenmesi önerilmiştir.

Allen vd. (2013) iki yeni hastane ve mevcut bir hastane üzerinde yaptıkları çalışmada iki aşamalı analizin avantajlarından ve sınırlamalarından bahsetmişler ve bunlarla ilgili öneriler getirmişlerdir. Ayrıca karmaşık yapılarda iki aşamalı analizin uygulanmasının zor olduğu belirtilmiştir.

Özcan (2008) tarafından yapılan tez çalışmasında aynı kat yüksekliğine sahip 2 katlı ve 1 bodrumlu yapı ile 3 katlı yapının performansı Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü yöntemi ile tespit edilmiştir. Karşılaştırma sonucuna göre yapının performansının aynı kaldığı düzensizliklerin ise değiştiği belirtilmiştir.

Çağlar vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada bodrum katının yüzeye yakın bulunan alüvyon kökenli yumuşak topraklar üzerine inşa edilmiş betonarme yapıların deprem davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınması gerektiği ve bodrumu olmayan betonarme binanın yüksekliği arttıkça depremin olumsuz etkisinden bahsedilmiştir.

Altındağ ve Tanrıverdi (2002) yapmış oldukları çalışmada rijit bodrumlu yapılarda eşdeğer deprem yükü yöntemini kullanarak "bodrum katlara etkiyen deprem yüklerinin üst katlara oranla daha rijit olan bodrum katlardaki, kolonların uç momentlerine etkisini, kat adetlerinin ve kolon boyutlarının değişimine göre

incelemişlerdir. Kolon boyutları değiştiği halde aynı kat adedinde oluşan esas kolon uç momentlerinin üst katlarda etkisiyle bodrum katlarda oluşan kolon uç momentlerine oranı değişmemiştir".

Jeong vd. (2020) yaptıkları çalışmada düzensiz plana sahip 49 katlı yüksek bir binayı bitişik binalarla paylaşılan ortak bir derin bodrumda modellemişlerdir. Doğrusal olmayan zaman tanım analizinin kullanıldığı modelde güvenli bir tasarım için binaları çevreleyen ortak bir bodrum modeli önerilmiştir.

Yuan (2016) tarafından yapılan iki modelli analizin kullanıldığı çalışmada ASCE 7-10'un iki aşamalı analiz durumunun güvenliği için uygunsuz olabileceği görülmüştür. Üst ve alt sistemlerin farklı sönümleme oranlarına sahip olduğu varsayılarak özel bir konu incelenmiştir.

Arıkan (2010) yapmış olduğu tez çalışmasında yapı-zemin etkileşiminin önemini vurgulamak için farklı özelliklere sahip zemin tabakalarında modellenen bodrumlu ve bodrumsuz 3 katlı binaların aynı büyüklükteki deprem etkilerine verdikleri tepkileri karşılaştırmıştır. Analiz sonucunda zemin profillerine göre bodrumlu binada deprem kuvvetlerine göre meydana gelen deformasyon oranı daha az çıkmıştır.

Erdem (2018) tarafından yapılan tez çalışmasında perdeli, çerçeveli ve perde-çerçeveli betonarme taşıyıcı sisteme sahip çeşitli sayıdaki binanın farklı adette bodrum katlarla modellemesi yapılmış ve birbirleriyle periyot, davranış, rijitlik gibi parametrelerle kıyaslanmıştır.

Özuygur ve Dilsiz (2021) yapmış oldukları çalışmada rijit bodrumlu binaların sayısal analiz sonuçlarına bakarak tasarımda ayrı ayrı yapılan analize alternatif olarak üst bölüm ve alt bölümün gerçek kütlelerinin dikkate alındığı birleşik model üzerinden analizini önermişlerdir.

Abediasl (2019) tarafından yapılan tez çalışmasında bodrum katları yanal olarak rijit olan örnek bir binanın TBDY 2018, TBDY 2007, ASCE 7-10 ve Eurocode-8 yönetmelikleri dikkate alınarak deprem analizleri gerçekleştirilmiş ve kat kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Devamında TBDY 2018'deki elde edilen sonuçların güvenilirliğini kıyaslamak amacıyla doğrusal olmayan modelde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'de bodrumlu betonarme binalarla ilgili yeni getirilen düzenlemeler dikkate alınarak sayısal bir uygulama üzerinde analiz, tasarım ve davranışın daha iyi anlaşılması sebebiyle hem teoride hem de pratikte literatüre katkı sağlama amacıyla yapılmıştır. Yapılan çalışmada modelleme, analiz, karşılaştırmalı olarak verilen değerlerin ileriki zamanlarda yapılacak araştırmalara yol göstermesi amaçlanmıştır. Analizden çıkan sonuçların yorumlanması temel ölçü alınmıştır.

Bu çalışmada bodrum katının etkisinin daha iyi belirlenebilmesi için 1 bodrum+5 katlı, bodrumsuz 5 katlı ve bodrumsuz 6 katlı binanın davranışına ait çeşitli parametreler karşılaştırmalı olarak verilmiş ve yorumlanmıştır.

Beş bölümden oluşan çalışmanın;

İkinci bölümünde, TBDY 2018'de belirtilen deprem yer hareketi düzeyleri, deprem spektrumları, tasarım yaklaşımları, bina performans düzeyleri, düzensizlik durumlarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde bodrumlu binalarda eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yönteminin analiz yaklaşımlarından söz edilmiştir.

Dördüncü bölümde sayısal uygulama olarak 2 adet bodrumsuz ve 1 adet bodrumlu bina aynı geometri ve malzeme özelliklerine göre SAP2000 v21.0.2 sonlu eleman yazılımında modellenmiş ve eşdeğer deprem yükü yöntemi ile mod birleştirme yöntemine göre çeşitli parametrelerde karşılaştırılmıştır. Devamında TBDY 2018'de bodrumlu binalar için getirilen yeni bir yaklaşım olan bodrumlu binanın tüm kütlesinin dikkate alındığı mod birleştirme yöntemi uygulanmış ve 2 yüklemeli mod birleştirme yöntemiyle kıyaslanmıştır.

Beşinci bölüm sonuçlar ve önerilerden oluşmaktadır.

1.3 Orijinal Katkı

İnşa edilen binalarda bodrumun varlığı yapının depreme karşı davranışını değiştirmektedir. Bunun daha iyi anlaşılabilmesi için TBDY 2018'de bodrumlu binalar için çeşitli analiz yaklaşımları getirilmiştir. Bu analizler iki yüklemeli veya tek yüklemeli analiz durumudur. İki yüklemeli analizde üst bölüm ve alt bölüm(bodrum) ayrı ayrı çözümlenerek daha sonra elde edilen kuvvetler

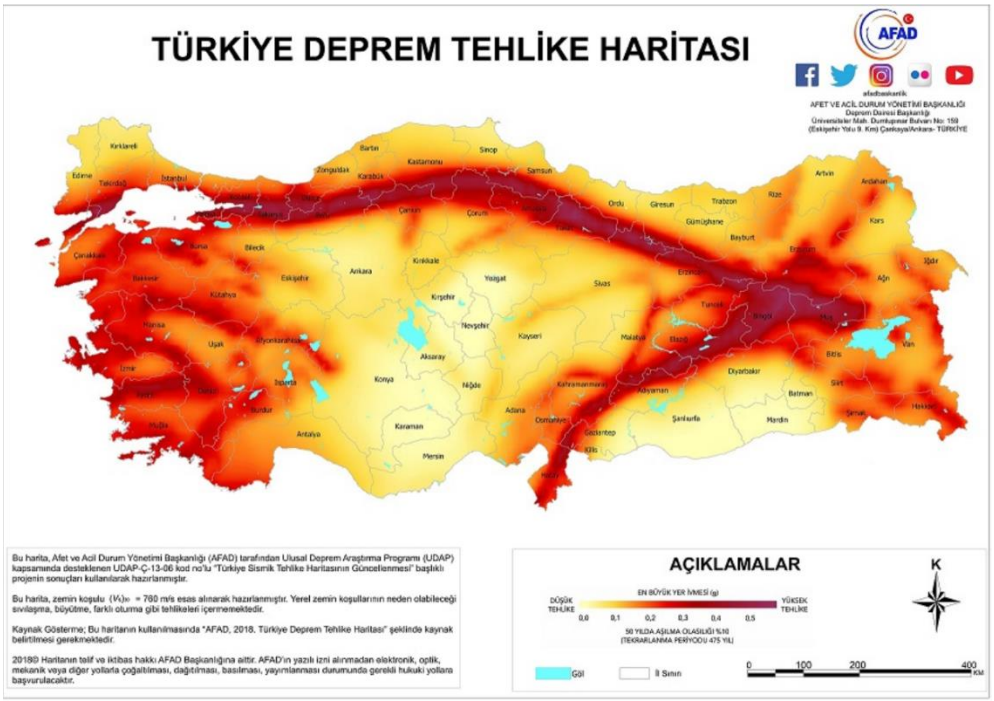
birleştirilmektedir. Tek yüklemeli analizde ise binanın tümü (üst bölüm+ alt bölüm) ortak sistemde modellenerek analizi yapılmaktadır. Bu yaklaşımların örnek modeller üzerinde uygulanabilirliği kontrol edilmelidir. Buna istinaden bu çalışmada TBDY 2018'de verilen yaklaşımlar örnek modeller üzerinde uygulanarak çeşitli parametrelerce karşılaştırılmıştır. Çalışma bodrumlu yapılar hakkında literatüre katkı sağlamaktadır.

2
TBDY 2018'E GÖRE DEPREM ETKİSİ VE BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİNDEKİ ESASLAR

2.1 Giriş

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre deprem etkisi altındaki binalar için yeni kurallar getirmiştir. Ülkemizin deprem bölgesinde olduğunu düşünürsek binalar için getirilen kuralların daha iyi kavranması adına bu bölümde TBDY Bölüm 2 ve 3'teki değerlendirme esasları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

TBDY 2018'de yeni düzenleme olarak Türkiye Deprem Tehlike Haritası getirilmiştir (Şekil 2.1). Haritadaki açık sarıdan başlayıp koyulaşan renkler en büyük yer ivmesinin şiddet olarak değerini göstermektedir. Bu haritada 4 farklı yer hareketi düzeyinde, çeşitli zemin koşullarına göre konum bilgisi girilerek yatay ve düşey elastik tasarım spektrumu ve beraberinde birçok parametre elde edilmektedir. Aşağıda bu parametrelerden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.



Şekil 2.1 Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018)

2.2 Deprem Yer Hareketi

2.2.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

TBDY 2018'e göre 4 farklı deprem yer hareketi düzeyi açıklanmıştır.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

2.2.2 Deprem Yer Hareketi Spektrumları

Deprem yer hareketi spektrumları, Bölüm 2.2.1'de açıklanan yer hareketi düzeylerinde %5 sönüm oranı için harita spektral ivme ve yerel zemin etki katsayıları dikkate alınarak tanımlanmaktadır.

2.2.2.1 Harita Spektral İvme ve Tasarım Spektral İvme Katsayıları

Deprem kuvveti etkisinde yatay ve düşey elastik tasarım spektrumu TBDY 2018'de tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} ile ifade edilmektedir. Bu değerler Denklem 2.1 ve 2.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$S_{DS}=S_S.F_S \tag{2.1}$$

$$S_{D1}=S_1.F_1 \tag{2.2}$$

Bu denklemlerdeki F_S ve F_1 değerleri yerel zemin etki katsayılarını, S_S değeri kısa periyot harita spektral ivme katsayısını, S_1 değeri 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. Harita spektral ivme katsayıları, coğrafi koordinatlara ve deprem yer hareketi düzeyine göre Türkiye Deprem Tehlike Haritasında değişirken zemin etki katsayıları Bölüm 2.2.2.2'de belirtilen zemin sınıflarına göre değişmektedir.

2.2.2.2 Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1, yerel zemin sınıfına göre Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de verilmiştir. Ara değerler için enterpolasyon önerilmiştir.

Tablo 2.1 Kısa periyot için zemin etki katsayıları (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1	1
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin analizi yapılacaktır.					

Tablo 2.2 1.0 saniye periyot için zemin etki katsayıları (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2
ZF	Sahaya özel zemin analizi yapılacaktır.					

2.2.2.3 Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Ele alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyinde yatay elastik tasarım ivme spektrum değeri $S_{ae}(T)$ (Şekil 2.2), doğal titreşim periyoduna göre yerçekimi ivmesi cinsinden (m/s^2) Denklem 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6'daki gibi bulunmaktadır.

$$S_{ae}(T) = (0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_A})S_{DS} \qquad (0 \leq T < T_A) \qquad (2.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \qquad (T_A \leq T \leq T_B) \qquad (2.4)$$

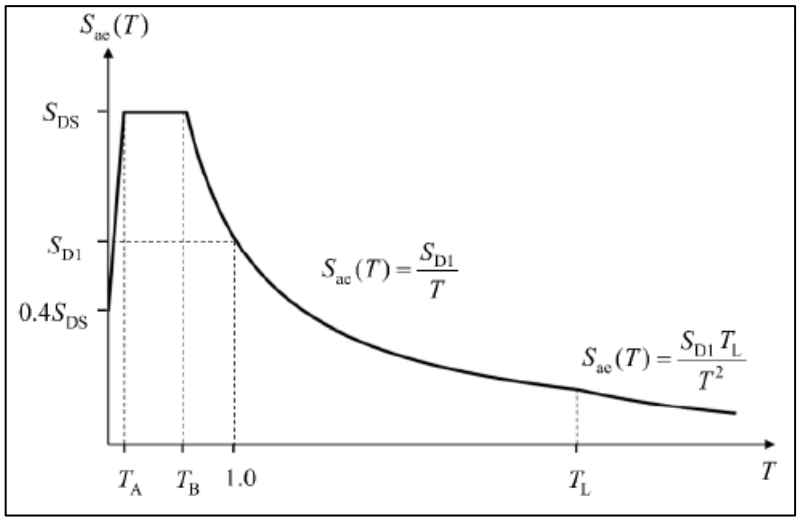
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \qquad (T_B < T \leq T_L) \qquad (2.5)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}\ T_L}{T^2} \qquad (T_L < T) \qquad (2.6)$$

Bu denklemdeki T doğal titreşim periyodunu, T_A ve T_B ise S_{D1} ve S_{DS} ye bağlı değişen spektrum köşe periyotlarını belirtmektedir. T_L= 6s olarak alınmaktadır. T_A ve T_B Denklem 2.7 ve 2.8'teki gibi bulunmaktadır.

$$T_A = 0{,}2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \qquad (2.7)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \qquad (2.8)$$



Şekil 2.2 Yatay elastik tasarım spektrumu (TBDY, 2018)

2.2.2.4 Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

TBDY 2018'de yeni getirilen bir spektrum olan düşey elastik tasarım spektrumunun ordinat değeri $S_{aeD}(T)$ (Şekil 2.3), ele alınan deprem yer hareketi düzeyi için S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve T doğal titreşim periyoduna göre yerçekimi ivmesi(m/s^2) cinsinden Denklem 2.9, 2.10 ve 2.11'de ifade edilmiştir.

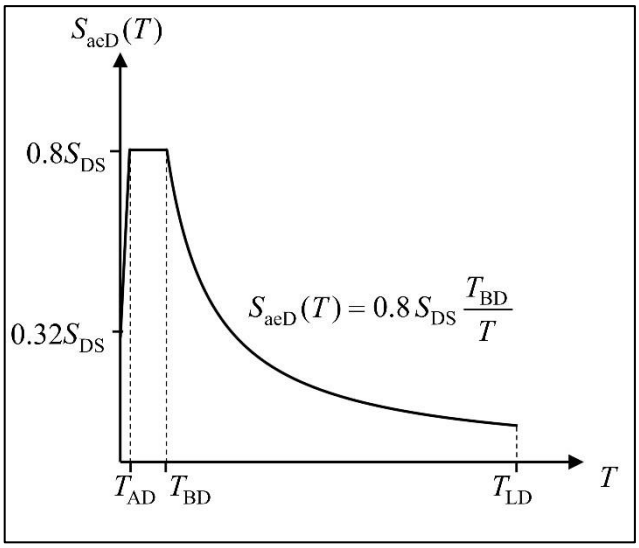
$$S_{aeD}(T) = \left(0{,}32 + 0{,}48\frac{T}{T_{AD}}\right)S_{DS} \qquad (0 \le T < T_{AD}) \qquad (2.9)$$

$$S_{aeD}(T) = 0{,}8S_{DS} \qquad (T_{AD} \le T \le T_{BD}) \qquad (2.10)$$

$$S_{aeD}(T) = 0{,}8S_{DS}\frac{T_{BD}}{T} \qquad (T_{BD} < T \le T_{LD}) \qquad (2.11)$$

Denklem 2.9, 2.10 ve 2.11de ifade edilen T_{AD}, T_{BD} ve T_{LD} değerleri yatay spektrum değerlerine göre Denklem 2.12'deki gibi bulunmaktadır.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3}, \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3}, \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \qquad (2.12)$$



Şekil 2.3 Düşey elastik tasarım spektrumu (TBDY, 2018)

2.3 Deprem Etkisi Altındaki Binaların Değerlendirilmesindeki Esaslar

2.3.1 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina kullanım sınıfı (BKS), binanın yapılış amacına göre belirlenen bir parametredir. Bu parametre aynı zamanda binanın deprem hesabında kullanılacak olan bina önem katsayısını(I) belirlemektedir. Binalar için bu değerler Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3 Bina kulanım sınıfları ve önem katsayıları (TBDY, 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS=1	**Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar**	1.5
	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	
BKS=2	**İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar**	1.2
	Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	
BKS=3	**Diğer binalar**	1
	BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	

2.3.2 Deprem Tasarım Sınıfları

Bölüm 2.3.1'de verilen bina kullanım sınıfı ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde hesaplanan kısa periyot tasarım spektral ivmesi dikkate alınarak deprem etkisindeki binaların deprem tasarım sınıfları (DTS) Tablo 2.4'e göre belirlenmektedir.

Tablo 2.4 Deprem tasarım sınıfları (TBDY, 2018)

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

2.3.3 Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları

TBDY 2018'de H_N, bina yüksekliği olarak bina tabanından ölçülen yükseklik baz alınmıştır. Bodrumlu binalarda ise bina tabanı için aşağıda verilen her iki koşulun sağlanması durumunda bodrum perdelerinin üstündeki döşeme seviyesinden alınması belirtilmiştir.

- Bodrum perdelerinin binanın çevresinde en az 3 tarafında olması
- Binada bodrum katlar dahil hesaplanan doğal titreşim periyodunun bodrum katlar hariç hesaplanan doğal titreşim periyoduna oranının 1.1'den küçük olması

Bu şartların herhangi birini sağlamayan bodrumlu binaların ve tüm bodrumsuz binaların bina yüksekliği temel üst noktasından hesaplanacaktır.

Binaların yükseklikleri ve deprem tasarım sınıflarına göre bulunan bina yükseklik sınıfları (BYS) Tablo 2.5'te gösterilmiştir.

Tablo 2.5 Bina yükseklik sınıfları (TBDY, 2018)

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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

2.3.4 Bina Performans Düzeyleri

TBDY 2018'e göre binalar için performans düzeyleri belirtilmiştir (Şekil 2.4). Bu düzeyler aşağıda açıklanmıştır.

- Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Binalardaki yapısal elemanlarda hasarın oluşmadığı ya da çok küçük değerlerde meydana gelen hasarın olduğu durumdur.

- Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

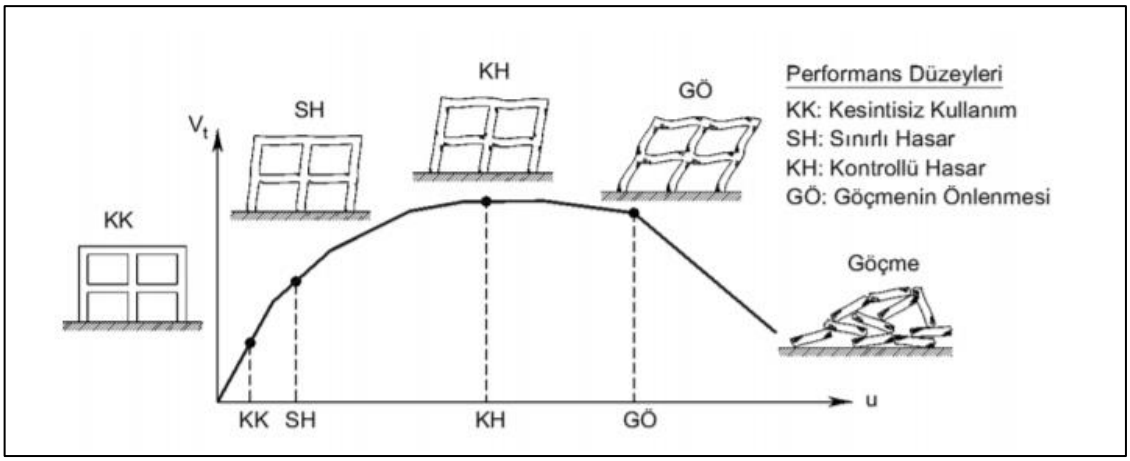
Taşıyıcı elemanlarda hasarın sınırlı seviyede oluşması durumudur.

- Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Can güvenliğinin sağlanması adına bina yapısal elemanlarında çok ciddi olmayan ve düzeltilebilir oranda olan hasar düzeyinin olduğu durumdur.

- Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Binada ciddi hasarın oluştuğu ve göçme öncesi durumun ifade edildiği performans düzeyidir.



Şekil 2.4 Bina performans düzeyleri (Darılmaz, 2019)

2.3.5 Bina Performans Hedefleri ve Tasarım Yaklaşımları

TBDY 2018'de çeşitli deprem yer hareketleri dikkate alınarak binaların türüne göre performans hedefleri belirlenmiş ve değerlendirme ölçütü sunulmuştur. Deprem tasarım sınıfı dikkate alınarak sunulan performans hedefleri normal ve ileri olarak Tablo 2.6, 2.7 ve 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.6 Yeni yapılacak betonarme önüretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek binalar hariç- BYS≥2) (TBDY, 2018)

Deprem Yer Hareketi 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

Tablo 2.7 Mevcut veya yeni yapılacak yüksek binalar (BYS=1) (TBDY, 2018)

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

Tablo 2.8 Mevcut betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek binalar hariç- BYS≥2) (TBDY, 2018)

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 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	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

Tablolarda belirtilmeyen yığma, ahşap ve hafif çelik yapılar, DD-2 deprem hareketine göre kontrollü hasar performans hedefine uymalıdır.

2.3.6 Binalarda Düzensizlik Durumları

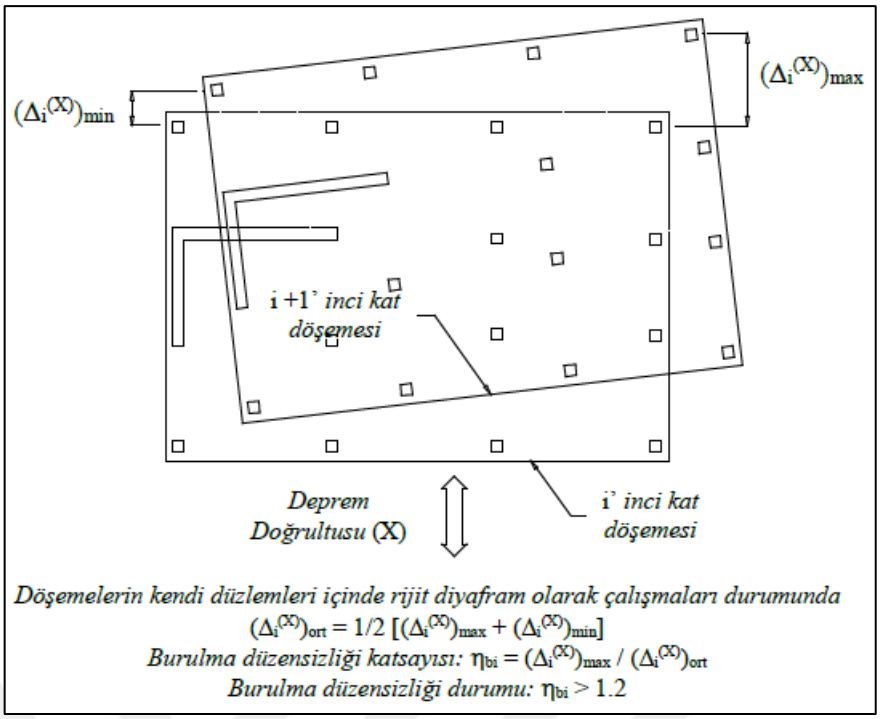
Depremin yıkıcı etkisi ve belirsizliği sebebiyle dayanım kayıplarını en aza indirmek ve güvenli yapılar inşaa etmek için binalarda planda ve düşeyde uzak durulması gereken düzensizlikler TBDY 2018'de olduğu gibi anlatılmıştır.

2.3.6.1 Planda Düzensizlik- A1 Burulma Düzensizliği

TBDY 2018'de ifade edilen burulma düzensizliği, deprem kuvveti etkisinde herhangi bir katta oluşan maksimum göreli kat ötelemesinin o kattaki ortalama göreli ötelemeye oranının 1.2'den olması durumudur (Şekil 2.5). Bu ifade η_{bi}, Denklem 2.13'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{max}}{(\Delta_i^{(X)})_{ort}} > 1.2 \qquad (2.13)$$

Katlarda hesaplanan göreli kat öteleme değerleri, TBDY Bölüm 4.7'de ifade edilen eşdeğer deprem yükü yöntemine göre ±%5 ek dış merkezliğe de dikkat edilerek hesaplanacaktır.



Şekil 2.5 A1 burulma düzensizliği durumu (TBDY, 2018)

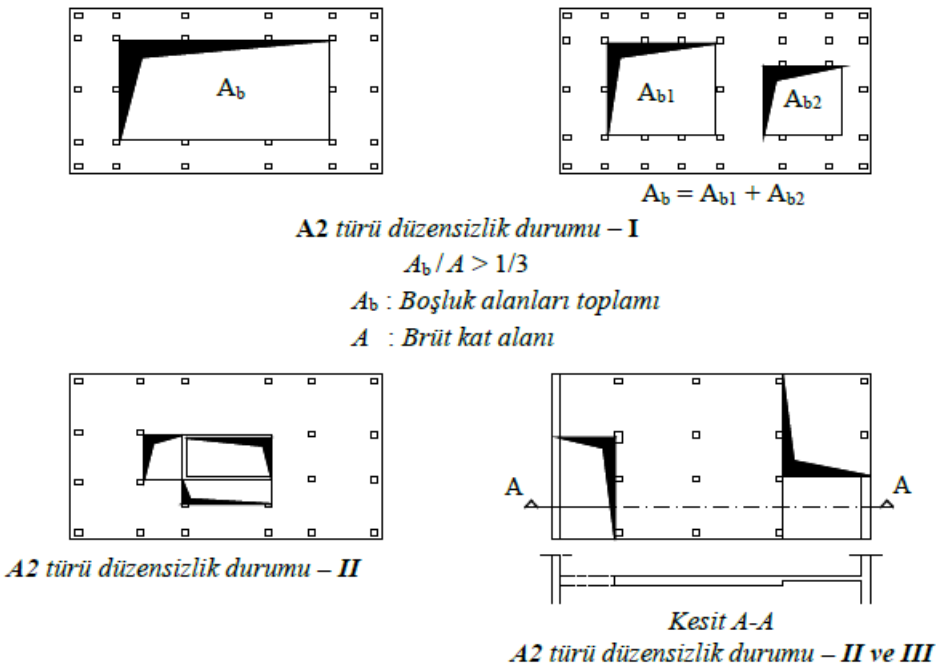
TBDY 2018'e göre herhangi bir katta A1 düzensizliğinin çıkması ve bu değerin 1.2 ile 2.0 arasında olması durumunda ±%5 ek dışmerkezlik değerleri her iki deprem doğrultusunda Denklem 2.14'te verilen D_{bi} katsayısı ile çarpılarak arttırılacaktır.

$$D_{bi} = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2}\right)^2 \tag{2.14}$$

2.3.6.2 Planda Düzensizlik- A2 Döşeme Süreksizliği

Döşeme süreksizliği, aşağıda verilen şartların olduğu durumda (Şekil 2.6) A2 düzensizliği olarak ifade edilir.

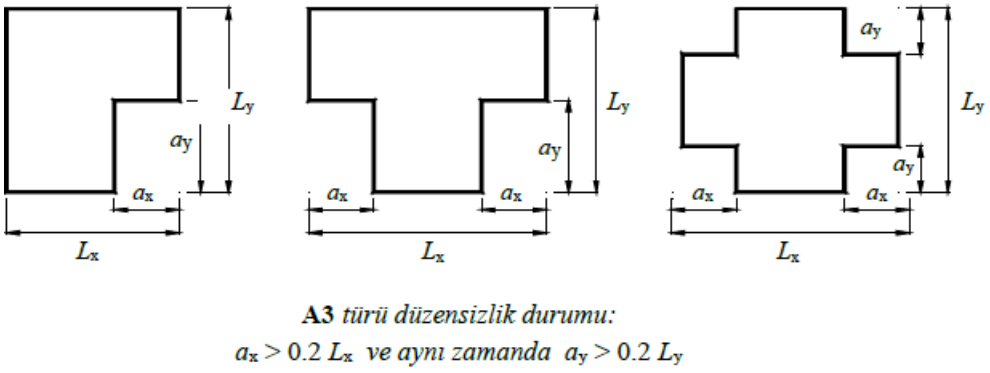
I. Merdiven, asansör vb. boşluk alanlarının kat brüt alanından 1/3'ünden yüksek olması
II. Deprem kuvvetlerinin taşıyıcı elemanlara aktarımını azaltan döşeme boşlukları olması
III. Döşeme kesitindeki ani rijitlik ve dayanım azalmalarının olması



Şekil 2.6 A2 düzensizlik durumu (TBDY, 2018)

2.3.6.3 Planda Düzensizlik- A3 Planda Çıkıntıların Olması

TBDY 2018'e göre A3 düzensizliği bina planındaki her iki doğrultuda bulunan çıkıntıların toplam plan boyutuna oranının %20'den büyük olma durumu olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 A3 düzensizlik durumu (TBDY, 2018)

2.3.6.4 Düşeyde Düzensizlik- B1 Dayanım Düzensizliği

Zayıf kat düzensizliği olarak da geçen B1 dayanım düzensizliği, betonarme binalarda herhangi bir kattaki etkili kesme alanının bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına oranının 0.8'den küçük olma durumu olarak ifade edilmiştir. Bu

ifade η_{ci} Denklem 2.15'teki gibi bulunmaktadır. Herhangi bir kattaki etkili kesme alanı ise Denklem 2.16'da verilmiştir.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0.80 \tag{2.15}$$

$$(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + \left(\sum A_g\right)_i + (0.15 \sum A_k)_i \tag{2.16}$$

2.3.6.5 Düşeyde Düzensizlik- B2 Rijitlik Düzensizliği

Yumuşak kat düzensizliği olarak da geçen rijitlik düzensizliği, herhangi bir deprem doğrultusunda bodrum katlar hariç herhangi bir kattaki ortalama göreli kat öteleme değerinin bir alt veya bir üst kattaki ortalama göreli kat öteleme değerine oranının 2.0'dan büyük olma durumudur. Bu değer η_{ki} Denklem 2.17 ve 2.18'de verilmiştir.

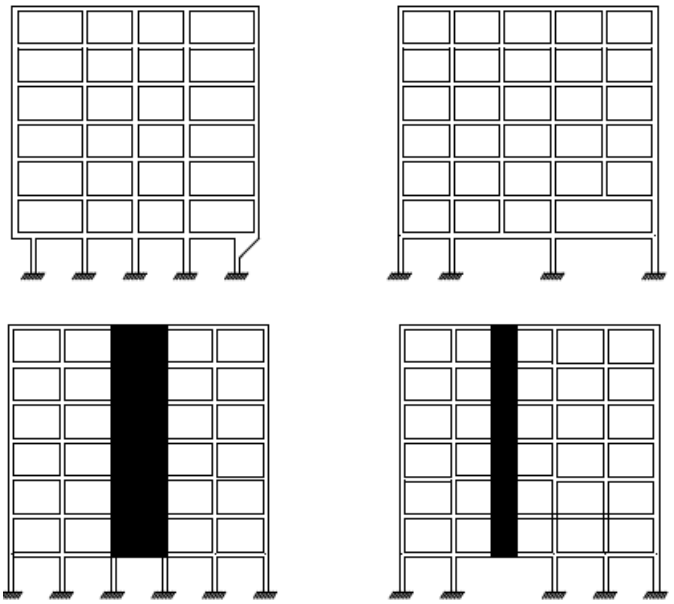
$$\eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i^{(X)}}{h_i}\right)_{ort}}{\left(\frac{\Delta_{i+1}^{(X)}}{h_{i+1}}\right)_{ort}} > 2.0 \tag{2.17}$$

$$\eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i^{(X)}}{h_i}\right)_{ort}}{\left(\frac{\Delta_{i-1}^{(X)}}{h_{i-1}}\right)_{ort}} > 2.0 \tag{2.18}$$

Göreli kat öteleme değerleri TBDY 2018 Bölüm 4.7'deki eşdeğer deprem yükü yöntemine göre ek dış merkezlik değerleri de dikkate alınarak yapılmalıdır.

2.3.6.6 Düşeyde Düzensizlik- B3 Düşey Elemanların Süreksizliği

Binalarda taşıyıcı yapı elemanlarından perde ve kolonların katlarda devam etmemesi, kiriş veya guseli kolonların ucuna veya üstüne bindirilmesi, üst kattaki perdelerin altta devam etmeyip kolonlara oturtulması durumları düşey eleman süreksizliği olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Düşey eleman süreksizlik durumları (TBDY, 2018)

3
TBDY 2018'E GÖRE BODRUMLU BİNALARIN HESAP ESASLARI

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de bodrumlu binalar için yeni kurallar getirilmiştir. Ülkemizin deprem bölgesinde olduğunu düşünürsek bodrumlu binalar için getirilen kuralların daha iyi kavranması adına bu bölümde TBDY Bölüm 4'teki hesap adımları ve bodrumlu binalar için getirilen yeni düzenlemeler ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

3.1 Dayanıma Göre Tasarım Esasları

3.1.1 Tanım ve Kapsamı

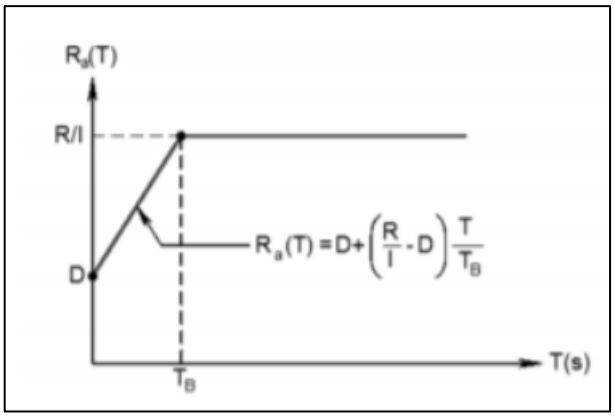
TBDY 2018'de verilen bina taşıyıcı sistemlerin değerlendirilmesindeki iki ana yaklaşımdan biri olan Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımında ilk olarak seçilen performans hedefi için taşıyıcı sistemin süneklik kapasitesine ait azaltılmış deprem kuvvetleri bulunmaktadır. Bulunan azaltılmış iç kuvvetlere öngörülen durumda dayanım fazlalığı da eklenip diğer etkilerden oluşan değerlerle birleştirilerek dayanım talepleri hesaplanmaktadır. Eleman dayanım talepleri istenilen performans hedefine ait dayanım kapasiteleri ile kıyaslanmaktadır. Dayanım taleplerinin dayanım kapasitelerinden az olduğu ve deprem kuvvetleri için bulunan göreli kat öteleme değerlerinin sınır değerlerin altında kaldığı durumda tasarım tamamlanmaktadır. Bu sınır değerler sağlanmadığı taktirde eleman boyutları değiştirilip hesaplar tekrarlanmaktadır.

3.1.2 Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

TBDY 2018'de doğrusal elastik deprem hesabı için kullanılacak deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ Denklem 3.1 ve 3.2' teki gibi bulunmaktadır. (Şekil 3.1)

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \qquad T > T_B \tag{3.1}$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right)\frac{T}{T_B} \qquad T \leq T_B \tag{3.2}$$



Şekil 3.1 Deprem yükü azaltma katsayısı (Darılmaz, 2019)

Bu denklemdeki R taşıyıcı sistem davranış katsayısını, D dayanım fazlalığı Katsayısını, I bina önem katsayısını, T doğal titreşim periyodunu, T_B spektrum köşe periyodunu ifade etmektedir.

3.1.3 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Binalar yapısal malzeme olarak elastik olmayan davranış sergilerler. Süneklik, genel tabirle bir yapının plastik deformasyon yapabilme kapasitesidir. Sünekliğin sayısal bir ifadesi olarak TBDY 2018'de taşıyıcı sistem davranış katsayı değerleri (R) tanımlanmıştır. Bu değerler doğrusal olmayan davranışın azaltma katsayısı olarak da ifade edilebilir.

Binaların gerçek dayanımı tasarımda dikkate alınan dayanımdan fazladır. Bunun bazı sebepleri;

- ✓ Kombinasyonlarda tanımlanan yüklerin arttırılması
- ✓ Taşıyıcı olmayan elemanların varlığı
- ✓ Yüksek derecedeki hiperstatiklik ve kesitlerin birbirine yardım etmesi
- ✓ Malzemelerde kullanılan güvenlik katsayıları (Darılmaz, 2019)

Bu fazlalığa sebep olan durumlar deprem durumunda ilave kapasite oluşturmaktadır. Dayanım fazlalığı katsayısı D, bunun bir ifade değeridir. R ve D katsayıları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Betonarme binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı değerleri (TBDY, 2018)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3.0	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 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	2.0	–

Celep (2019) yazmış olduğu kitapta ülkemizdeki binaların depremden dolayı hasar görme sebeplerini önemiyle birlikte şöyle sıralamıştır:

1- Taşıyıcı sistemin iyi düzenlenmemiş olması

2-Malzeme (özellikle beton) dayanımının az olması

3-Konstrüktif kurallara önem verilmemesi

4-Taşıyıcı sistem ve betonarme kesit tasarım hesaplarının yeterli olmaması

Bu sebeple taşıyıcı sistemin seçimi hayati önem taşımaktadır ve taşıyıcı sistem uygulanabilir olmalıdır.

3.2 Deprem Etkilerinin Tanımlanması

3.2.1 Yatay Deprem Etkisi İçin Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu

TBDY 2018'de verilen eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemiyle yapılan hesaplarda azaltılmış deprem yüklerinin bulunması adına kullanılacak azaltılmış tasarım ivme spektrum değeri denklem 3.3'te verilmiştir.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \tag{3.3}$$

Bu denklemdeki $S_{ae}(T)$ DD-2 deprem yer hareketi için yatay elastik spektral ivme değerini, $R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısını ifade etmektedir.

3.2.2 Yatay Deprem Etkisi ve Birleşimi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi veya mod birleştirme yöntemi kullanılarak hesaplanan yatay deprem etkisi $E_d^{(H)}$, x ve y yönlerinde denklem 3.4'teki gibi bulunmaktadır.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3 E_d^{(Y)} \tag{3.4}$$
$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(Y)} \pm 0.3 E_d^{(X)}$$

3.2.3 Düşey Deprem Etkisi

TBDY 2018 ile düşey deprem etkisi ilk defa tanımlanmıştır. DTS=1, 1a, 2, 2a olan ve aşağıdaki özellikleri içeren binalarda düşey deprem etkisi mod birleştirme yöntemine göre düşey elastik ivme spektrumu kullanılarak yapılacaktır.

- ✓ Binalardaki yatay izdüşümü 20 metre veya fazlası olan kirişler, yatay izdüşümü 5 metre veya fazlası olan konsollar
- ✓ Kirişlere oturan kolonları olan yapılar
- ✓ Kolonları eğimli olan binalar

Bu özellikler dışında kalan binalar için düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ denklem 3.5'te ifade edilmiştir. Buradaki G ölü yük, S_{DS} kısa periyot spektral ivme değeridir.

$$E_d(Z) \simeq \frac{2}{3} S_{DS} G \tag{3.5}$$

3.2.4 Deprem Etkilerinin Kombinasyonlarla Birleştirilmesi

TBDY 2018'de deprem etkilerinin birleştirilme işlemi denklem 3.6 ve 3.7'de ifade edilmiştir.

$$G+Q+0.2S+E_d^{(H)}+0.3E_d^{(Z)} \quad (3.6)$$

$$0.9G+H+E_d^{(H)}- 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.7)$$

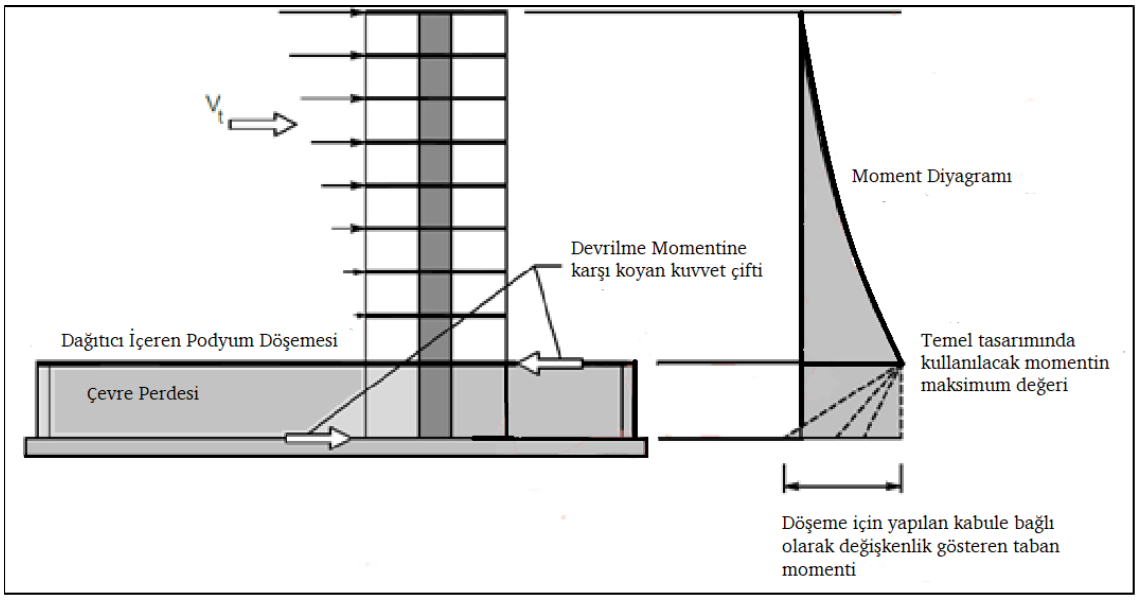
Bu denklemlerdeki Q hareketli yükü, S kar yükü, H ise yatay zemin itkisini ifade etmektedir.

3.3 Yapısal Elemanların Modellenmesi

Doğrusal hesap yapabilmek için yapıların modellenmesine ait kurallar burada bahsedilmektedir.

3.3.1 Geçiş Katlarında Döşemelerin Modellenmesi

Deprem yüklerinin oluşturduğu devrilme momenti, bodrum katlarında rijitliği üst katlara göre çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu binalarda, üst katlardan bodrum katlarına geçişte yer alan ve üst katlarda oluşan deprem kuvvetlerinin büyük kısmını bodrum perdelerine aktaran geçiş döşemelerinde düzlem içi etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler karşısında döşemenin düzlem içi rijitliğinin ve dayanımının yeterli olması gerekmektedir (Darılmaz, 2019). Devrilme momentinin geçiş döşemesinde oluşturduğu etkiler Şekil 3.2 gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Devrilme momentinin geçiş döşemesindeki etkileri (Darılmaz, 2019)

Celep (2019) yazmış olduğu kitapta döşemelerdeki rijit diyafram kabulünü "Boşluksuz döşemelerin düşey doğrultudaki eğilme rijitliği düşük olmasına rağmen düzlem içi gerilmeler altında rijitliği çok büyüktür. Buna bağlı olarak döşemeye mesnetlik yapan kirişlerde döşeme düzlemi içinde eğilme çok küçük kaldığı için ihmal edilir. Ancak bu kirişlerde döşeme gibi, düzlem dışı eğilme meydana gelir. Bu tür düzlem içi rijitliği büyük olan ve düzlem içi şekil değiştirmeleri küçük olduğu için ihmal edilen döşemeler Rijit Diyafram olarak isimlendirilir." olarak tanımlamıştır.

Bu tez kapsamında modellenen binaların döşemelerin planı düzenli olduğu için rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

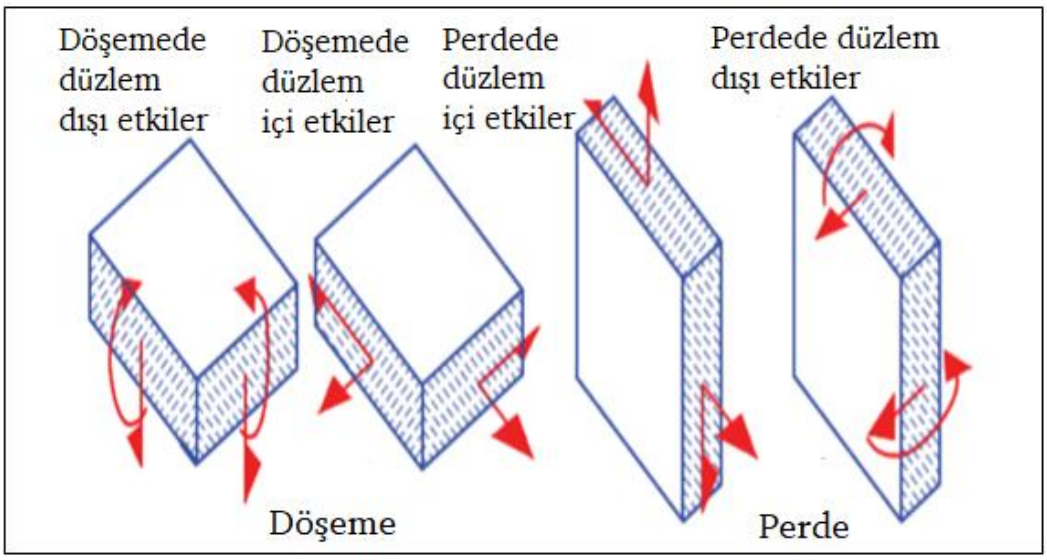
3.3.2 Yapısal Elemanların Etkin Kesit Rijitliklerinin Modellenmesi

Betonarme elemanlar düşük eğilme etkisi altında dahi belirgin olmayan miktarlarda çatlarlar ve bu çatlaklar kılcal mertebede de olsa eleman kesitlerinde önemli oranda rijitlik azalmasına neden olur. Eğer çatlamış kesit özellikleri doğrusal elastik hesaplarda etkin kesit rijitlikleri kullanarak dikkate alınırsa iç kuvvet dağılımları daha gerçekçi olarak hesaplanır. Bunun yanında etkin kesit rijitliklerinin kullanımı, doğrusal hesap ile elde edilen şekil değiştirmelerin çok daha gerçekçi olarak kestirilmesini sağlar (Sucuoğlu, 2019).

TBDY 2018'de verilen taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitlikleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Perde-döşeme elemanlarının düzlem içi ve düzlem dışı etkileri Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Etkin kesit rijitliği çarpanları (TBDY, 2018)

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	**Eksenel**	**Kayma**
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	**Eğilme**	**Kesme**
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk eleman	**Eğilme**	**Kesme**
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



Şekil 3.3 Döşeme ve perdelerde düzlem içi ve dışı etkilerin gösterimi (Url-1)

3.3.3 Kütlelerin Modellenmesi

Düğüm noktalarına etkiyen tekil kütleler denklem 3.8'deki gibi bulunmaktadır. $w^{(S)}_{G,j}$ ve $w^{(S)}_{Q,j}$, düğüm noktası j'ye etkiyen bileşke ölü yük ve hareketli yükü ifade etmektedir. Denklemdeki n katsayısı bina kullanım amacına göre değişen hareketli yük kütle katılım katsayısıdır (Tablo 3.3).

$$w_j^{(S)} = w_{G,j}^{(S)} + n w_{Q,j}^{(S)} \quad ; \quad m_j^{(S)} = \frac{w_j^{(S)}}{g} \tag{3.8}$$

Tablo 3.3 Hareketli yük kütle katılım Katsayısı (TBDY, 2018)

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

3.3.4 Ek Dış Merkezliğin Modellenmesi

TBDY 2018'de deprem etkilerinin binaya tesirinde ve taşıyıcı sistemde oluşan kütle-rijitlik arasındaki ilişkinin belirsizlikleri sebebiyle ek dışmerkezlik etkisinden söz edilmiştir. Yapılan deprem hesabında kuvvetler kat kütle merkezine ve kat planının ±%5'i kadar kaydırılmış noktada uygulanacaktır.

3.3.5 Betonarme Boşluksuz Perdelerin ve Bodrum Perdelerinin Modellenmesi

TBDY 2018'de perdeler, kesitteki uzunluğunun kalınlığına oranı en az altı olan ve çoğunlukla konsol olarak davranış gösteren düşey eleman olarak ifade edilmiştir. TBDY 2018'de perdelerin ve bodrum perdelerinin modellenmesiyle ilgili birtakım koşullar verilmiştir. Bunlardan bazıları;

- Perde enkesit biçimi C, U, L veya T olanların perde kolları ayrı ayrı olarak modellenmeyip birlikte modellenecektir.
- Düzlem içi ve düzlem dışı etkilere ait etkin kesit rijitlikleri dikkate alınacaktır.
- Enkesiti I, L, C, U, T veya dikdörtgen olan betonarme perdeler; düzlem içi ve dışı etkilerin sonucunda oluşan yerdeğiştirmelerde eleman birleşim

noktalarındaki 6 adet serbestlik derecesinin tümünün dikkate alındığı kabuk sonlu elemanlarla modellenecektir.

Verilen şartlar, yapılan sayısal çalışmada uygulanarak karşılaştırma yapılmıştır.

3.4 Hesap Yönteminin Seçilmesi

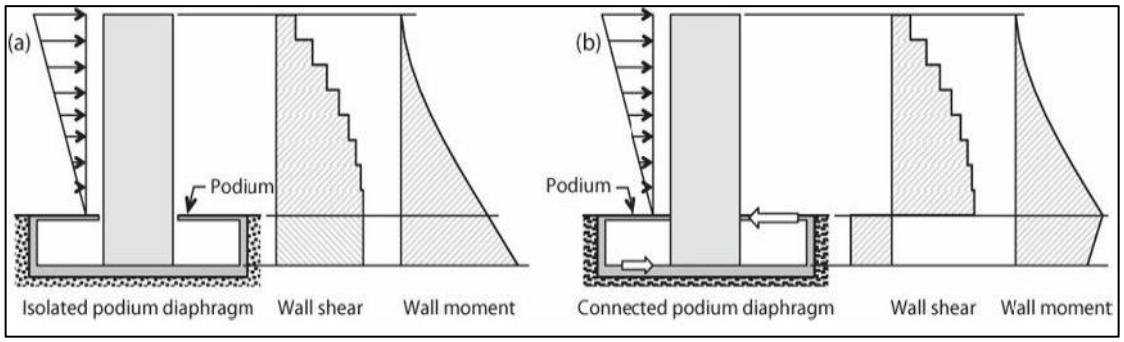
TBDY 2018'e dayanıma göre tasarım anlayışı içinde kullanılacak yöntemler eşdeğer deprem yükü yöntemi ve modal hesap yöntemleridir. Modal hesap yöntemi bu kapsamdaki tüm binalarda kullanılabilirken eşdeğer deprem yükü için bu durum geçerli olmayıp belirli binalarda kullanılmaktadır. Bu şartlar Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4 Eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği binalar (TBDY, 2018)

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca **B2** türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS ≥ 4	BYS ≥ 5
Diğer tüm binalar	BYS ≥ 5	BYS ≥ 6

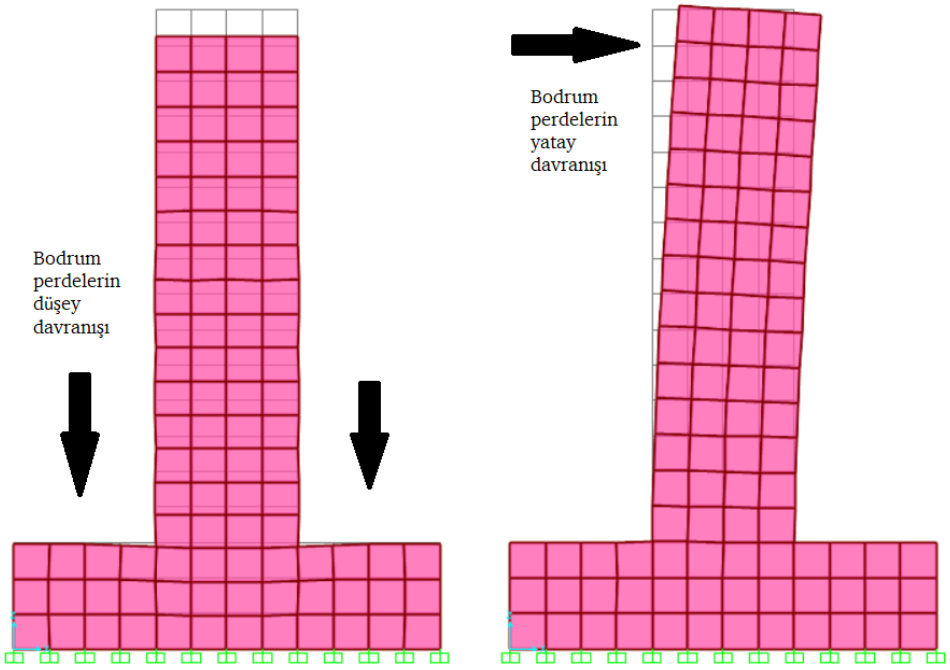
3.4.1 Rijit Bodrumlu Binaların Davranışı

Moehle (2015) yazmış olduğu kitapta bodrum perdelerinin çekirdek perdeyle bağlantı durumlarını karşılaştırmıştır (Şekil 3.4). Şekil 3.4 (a) da bodrum perdeleri çekirdek perdeye bağlı değilken Şekil 3.4 (b) de bodrum perdeleri çekirdek perdeye bağlı değildir. Bağlı durumun kuvvetleri azaltıcı olması ve perde ile podyum döşemesinin uyumlu yerdeğiştirme yapması sebebiyle tercih edildiğinden; bağlı olmama durumunun ise temelde kuvvetlerin çok artması, ilk kat kolonlarının fazla zorlanması ve podyum döşemesi ile perdenin uyumsuz yerdeğiştirme yapması sebebiyle tercih edilmediğinden bahsetmiştir.



Şekil 3.4 Perdenin podyum döşemesine bağlantısının karşılaştırılması (Moehle, 2015)

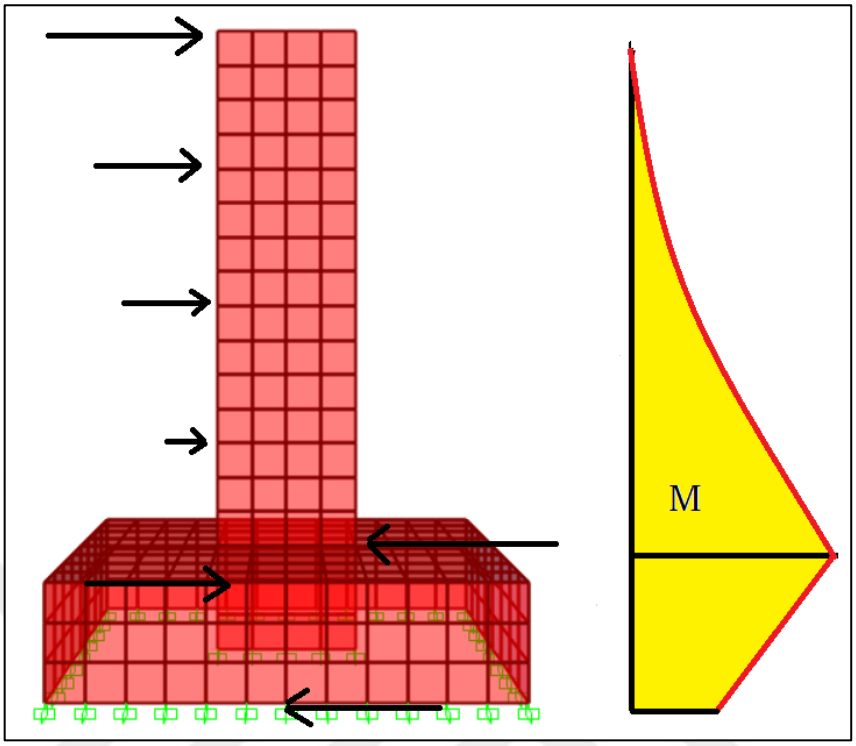
Bodrum katlarda modellenen rijit bodrum perdeleri binanın statik ve dinamik davranışında önemli etkilere sahiptir. Bu yapı elemanları zemin etkileri, deprem kuvvetleri, düşey yükler gibi etkilere göre farklı davranışlarda bulunmaktadır. Bodrum perdelerinin düşey ve yatay yüklere ait davranışı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



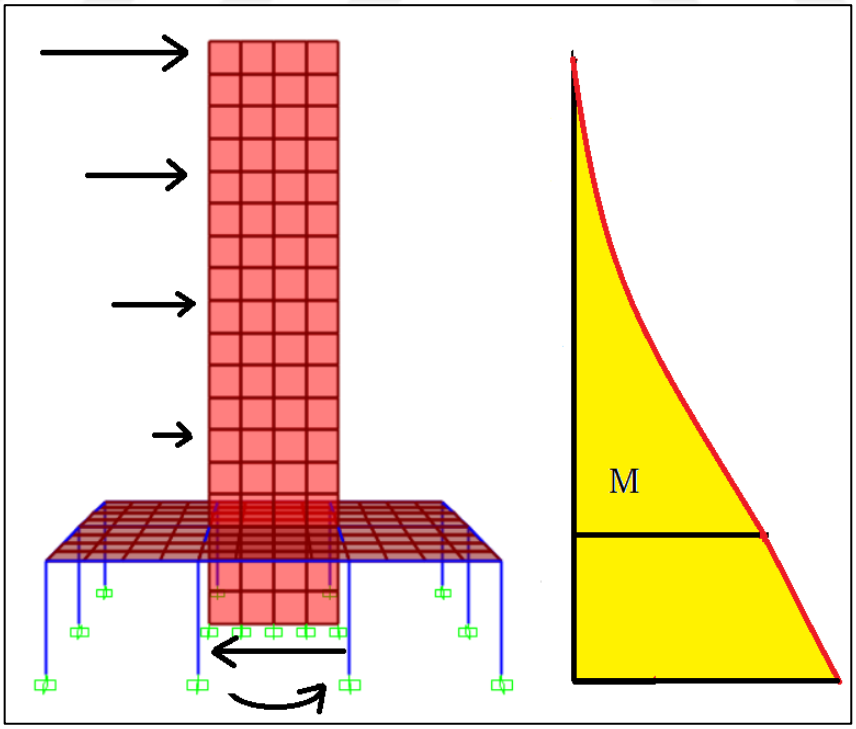
Şekil 3.5 Bodrum perdelerinin düşey ve yatay yüklere göre davranışı

Bodrum perdeleri temellerle bodrum kat döşemesi arasında sürekli olmaları sebebiyle temellerdeki yük dağılımında önemli ölçüde rol oynamaktadır. Özellikle deprem anında bodrum perdeleri temelde normal perdelerin devrilme

momentlerine karşı koyan kuvvet çiftleri oluşturarak moment değerinin azalmasında etkili olmaktadır (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7).



Şekil 3.6 Perde devrilme momentinin bodrum perdeleri ve temelle karşılanması



Şekil 3.7 Perde devrilme momentinin temelle karşılanması

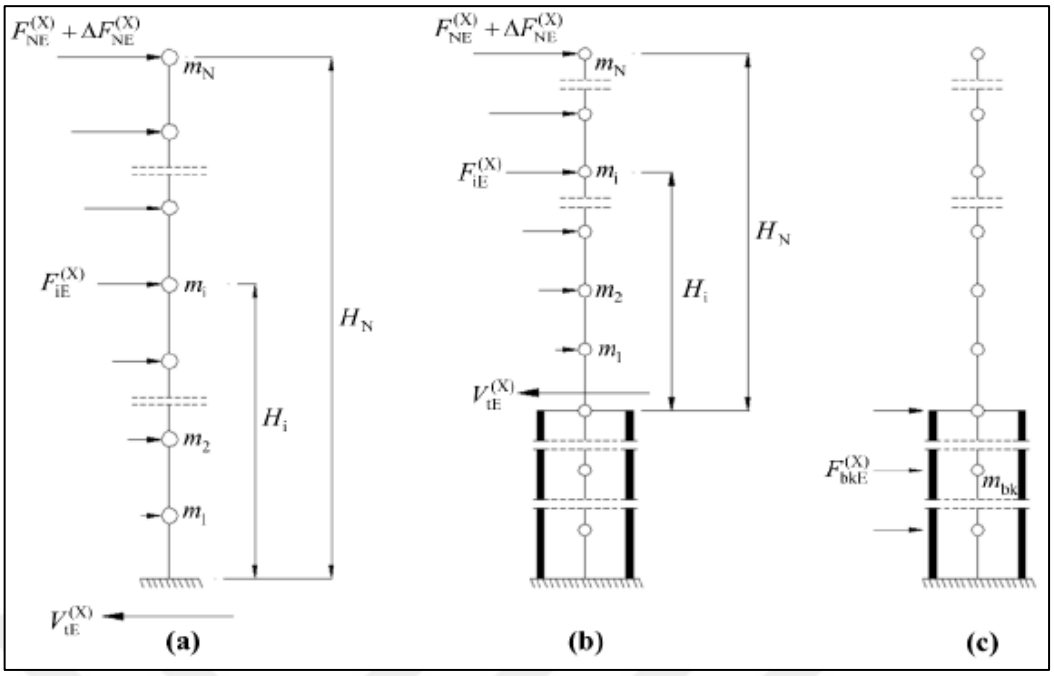
Bodrumlu betonarme binalarda özellikle alt bölümün (bodrumun) çok rijit olması bodrum katın sünek davranış göstermesini engellemektedir. Üst bölüm ise alt bölüme göre daha sünek bir yapıda olup deprem kuvvetlerinin enerjisini yutma kapasitesi daha fazladır. Bu sebeple üst ve alt bölüme ait deprem yükü azaltma katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı TBDY 2018'de farklı değerlerde verilmiştir.

TBDY 2018'e göre bodrumlu binaların deprem hesabı 2 yüklemeli adımda gerçekleşmektedir. İlk adımda hesaplamalarda üst bölümün kütlesi dikkate alınırken alt bölümün (bodrum) kütlesi dikkate alınmamaktadır. İkinci adımda ise alt bölümün kütlesi dikkate alınırken üst bölümün kütlesi dikkate alınmamaktadır. Bu durum bodrumlu binalarda farklı modellerde çalışma ortamını sağlamaktadır. Bu tez kapsamında farklı modellerde yapılan deprem hesabı aşağıda tanımlanan kriterlere göre hesaplanmıştır.

3.4.2 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Bodrumlu Binaların Hesabı

Dıştan rijit perdelerle oluşturulmuş bodrumlu binaların deprem hesabında üst bölüm ve alt bölümün (bodrum katların) dayanımı, dinamik davranışı gibi birçok parametresi farklılık göstermektedir. Bu sebeple doğrusal deprem hesabı için iki yükleme durumlu hesaplama yapılırken binanın üst ve alt bölümü tek bir yapı olarak modellenir fakat alt ve üst bölümün arasındaki modal davranış farkından dolayı iki yükleme durumunda ayrı ayrı uygulanır (Şekil 3.8).

- İlk yükleme için ortak modelde hesaplanan eşdeğer deprem yükleri yalnızca üst bölüme uygulanır. Hesaplamalarda üst bölüm için seçilen $R_{üst}$ ve $D_{üst}$ değerleri ve hakim deprem yönündeki $T_p(X)$ değerine göre hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı $(R_a)_{üst}$ kullanılmaktadır. İlk yüklemede bulunan hesaplama sonuçlarında hem alt hem de üst bölümde azaltılmış iç kuvvetler bulunur (Şekil 3.8b)
- İkinci yükleme için ortak modelde yalnızca bodrum kat kütleleri, $T=0$ alınarak hesaplanan azaltılmış spektral ivme değeri $S_{aR}(0)$ ile çarpılıp bodrum katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri bulunmaktadır (Şekil 3.8c). Hesaplamalarda bodrum için $(R_a)_{alt}=D_{alt}=1.5$ alınmaktadır. İkinci yüklemenin sonucunda sadece alt bölümde azaltılmış iç kuvvetler bulunur.



Şekil 3.8 Bodrumlu binalarda iki yükleme durumlu hesap yöntemi (TBDY, 2018)

Şekil 3.8'de verilen $V_{tE}^{(X)}$, $\Delta F_{NE}^{(X)}$, $F_{iE}^{(X)}$, $F_{bkE}^{(X)}$ değerleri denklem 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12'de ifade edilmiştir.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}\left(T_p^{(X)}\right) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \tag{3.9}$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075\ N\ V_{tE}^{(X)} \tag{3.10}$$

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j} \tag{3.11}$$

$$F_{bkE}^{(X)} = m_{bk}.S_{aR}(0) \tag{3.12}$$

3.4.3 Mod Birleştirme Yöntemi ile Bodrumlu Binaların Hesabı

Bu hesap yönteminde de eşdeğer deprem yükü yöntemine benzer şekilde doğrusal deprem hesabında iki yüklemeli hesap durumu için üst bölüm ve bodrum katları içeren alt bölüm ortak modelde oluşturulur fakat farklı modlarda titreşmeleri sebebiyle deprem hesabı ayrı olarak uygulanır.

- İlk yükleme durumu için ortak modelde yalnızca üst bölümün kütlesi dikkate alınarak modal hesap uygulanır. Üst bölümdeki yeterli titreşim modu sayısı, TBDY 2018'de verilen etkin kütle katılım oranı en az %95 olacak şekilde alınarak belirlenmektedir. Üst bölümde $R_{üst}$ ve $D_{üst}$ katsayılarına göre her m'inci modu için bulunan $(R_a)_{m,üst}$ kullanılmaktadır.

Bu yüklemede hem üst hem de alt bölümde azaltılmış iç kuvvetler bulunmaktadır.

- İkinci yükleme durumu için ortak modelde yalnızca alt bölümün kütlesi dikkate alınarak modal hesap uygulanır. Alt bölümdeki yeterli titreşim modu sayısı, TBDY 2018'de verilen etkin kütle katılım oranı en az %95 olacak şekilde alınarak belirlenmektedir. Alt bölüm için $(R_{alt}/I) = 2.5$ ve $D_{alt} = 1.5$ değerleri kullanılarak her n'inci mod için hesaplanan $(R_a)_{n,alt}$ kullanılmaktadır.

3.4.4 Tüm Taşıyıcı Sistemde Modal Hesap Yönteminin Uygulanması

Bu hesap yönteminde iki yüklemeli mod birleştirme yönteminden farklı olarak üst bölüm ve alt bölüm beraber dikkate alınarak analiz yapılmaktadır. Modelin her bir n'inci titreşim modunda hesaplanan T_n doğal titreşim periyodu göz önünde bulundurularak her bir n'inci modda binanın alt bölümüne uygulanan Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı, $(\bar{R}_a)_{n,alt}$ hesaplanmaktadır (Denklem 3.13, 3.14, 3.15, 3.16).

$$(\bar{R}_a)_{n,alt} = \frac{(R_a)_{n,üst}}{v^{(X)}} \tag{3.13}$$

$$v_n^{(X)} = v_{n.üst}^{(X)} + v_{n,alt}^{(X)} \tag{3.14}$$

$$v_{n,üst}^{(X)} = \frac{V_{x,n,üst}^{(X)}}{V_{x,n,tüm}^{(X)}} \tag{3.15}$$

$$v_{n,alt}^{(X)} = (1 - v_{n.üst}^{(X)}) \frac{(R_a)_{n,üst}}{(R_a)_{n,alt}} \tag{3.16}$$

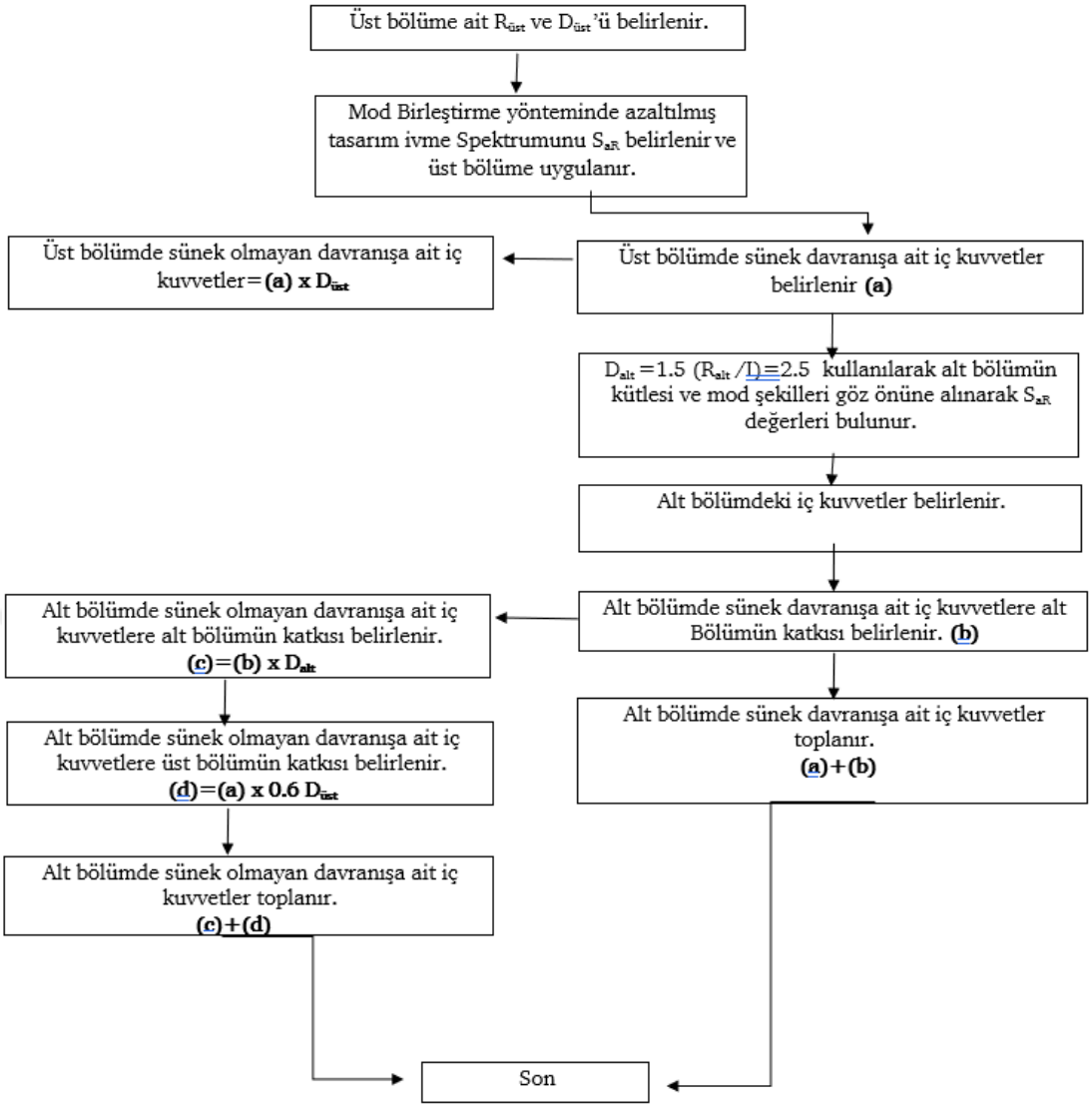
(3.15)'te verilen her moddaki üst modelin tüm modele göre taban kesme kuvvetleri oranı yerine o moddaki modal etkin kütlelerin oranı $(v^{(X)}_{n,üst})$da kullanılabilir. Denklem (3.16)'daki $(R_a)_n$ katsayısı n'inci modda binanın üst ve alt bölümde uygulanan deprem yükü azaltma katsayısını ifade etmektedir.

3.4.5 Bodrumlu Binalarda Hesaplanan İç Kuvvetler

TBDY 2018'de eşdeğer deprem yükü yöntemi veya mod birleştirme yöntemi ile hesabı yapılan bodrumlu binalarda üst bölüm ve alt bölüm için sünek ve sünek olmayan davranışa ait iç kuvvetler tanımlanmıştır. Bu iç kuvvetler aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

- Üst bölümün sünek davranışa ait iç kuvvetleri ilk yüklemede üst bölümde oluşan iç kuvvetlerdir.
- Üst bölümün sünek olmayan davranışa ait iç kuvvetleri ilk yüklemede üst bölümde oluşan iç kuvvetlerin $D_{üst}$ ile çarpımıyla elde edilmektedir.
- Alt bölümün sünek davranışa ait iç kuvvetleri ilk yüklemede alt bölümde oluşan iç kuvvetlerle ikinci yüklemede alt bölümde oluşan iç kuvvetlerin toplamıyla bulunmaktadır.
- Alt bölümün sünek olmayan davranışa ait iç kuvvetleri ilk yüklemede alt bölümde oluşan iç kuvvetlerin $0.6D_{üst}$ ile çarpımının ikinci yüklemede oluşan iç kuvvetlerin D_{alt} ile çarpımına eklenmesiyle bulunmaktadır.

Bu ifadeler Şekil 3.9' da Mod birleştirme yöntemi için verilmiştir.



Şekil 3.9 Bodrumlu binaların mod birleştirme yöntemi ile iki yükleme durumlu hesabı

4
YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER

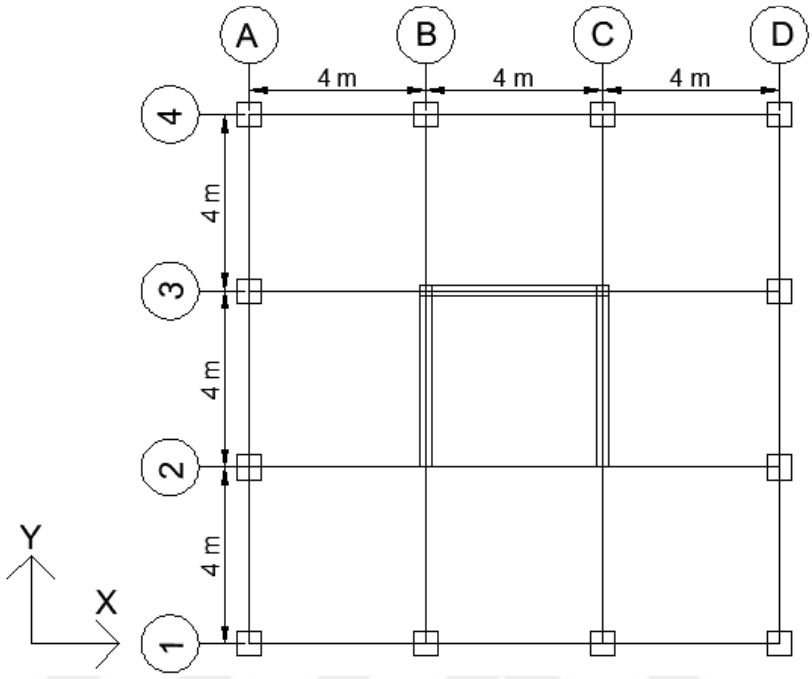
Bu tez kapsamında sayısal uygulamalar için günümüzde yapılan binalarla uyumlu olması ve konut türü yapıların genelde 5 katlı veya 6 katlı yapılması sebebiyle kat planında asansör boşluğu olan modeller seçilmiştir. Bodrumlu binalardaki bodrum katın davranışının daha iyi anlaşılması için 1 bodrum +5 katlı, bodrumsuz 5 katlı ve bodrumsuz 6 katlı binalar, aynı geometrik ve malzeme özellikleriyle modellenmişlerdir. Tez kapsamında bu binalar kolaylık açısından sırasıyla model 1, model 2, model 3 olarak isimlendirilmiştir.

Bu bölümde binalarla ilgili genel bilgiler verilmiştir. 3 binanın deprem hesabı doğrusal yöntemler kullanılarak SAP2000 yazılımında (SAP2000, 2021) yapılmıştır. Bodrumlu binanın üst bölüm ve alt bölümünde sünek ve sünek olmayan davranışına ait iç kuvvetler Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre birleştirilmiş ve diğer 2 bina ile modal davranış, taban kesme ve kat kesme kuvvetleri, düzensizlikler, katlardaki maksimum yerdeğiştirmeler, göreli kat ötelemeleri, 2. mertebe etkiler, yapısal elemanlardaki iç kuvvetler, ilk kat döşemelerindeki gerilmeler cinsinden kıyaslanmıştır. Devamında TBDY 2018'de bodrumlu binaların analizinde yeni bir yaklaşım olan tek yüklemeli analiz yöntemi bodrumlu binada uygulanmış ve iki yüklemeli analizle karşılaştırılmıştır.

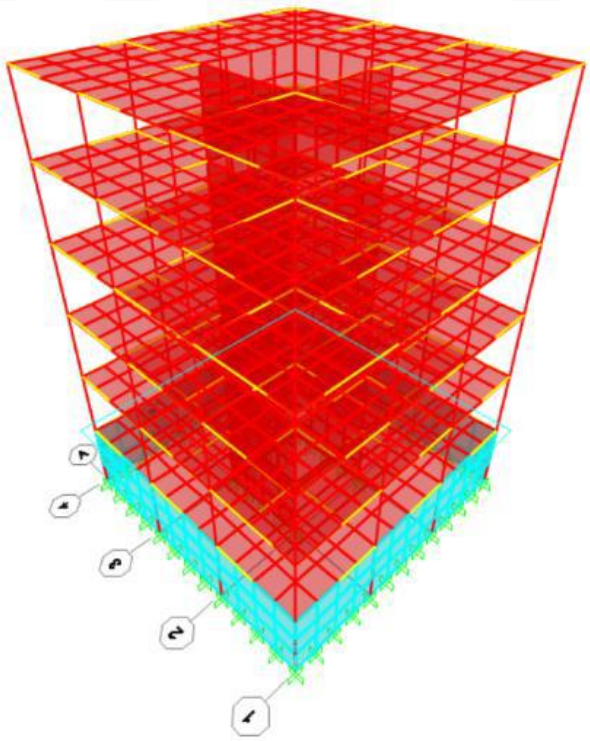
4.1 Binaların Sonlu Eleman Modelleri

Tüm binalar aynı geometride betonarme perde-çerçeve taşıyıcı sistemine ve malzeme özelliklerine sahiptir. Kat planı x ve y yönünde iki aks arası 4m olacak şekilde 12m x 12m olarak seçilmiş ve orta kısmı asansör boşluğu olarak bırakılmıştır (Şekil 4.1). Kat yüksekliği her katta 3m'dir. Kolonlar 0.55m x 0.55m, kirişler 0.55m x 0.35m, çekirdek perde kalınlığı 0.25m, döşeme kalınlığı (bodrumlu binada bodrum kat döşemesi dahil) 0.15m, bodrum kat perde kalınlığı 0.25m olarak seçilmiştir. Beton sınıfı C25, donatı sınıfı B420C'dir. Tüm binalarda kirişlere 2 kN/m duvar yükü, döşemelere sabit yük 2 kN/m^2, döşemelere hareketli yük 2 kN/m^2 uygulanmıştır. Modellenen binaların geometrik özellikleri,

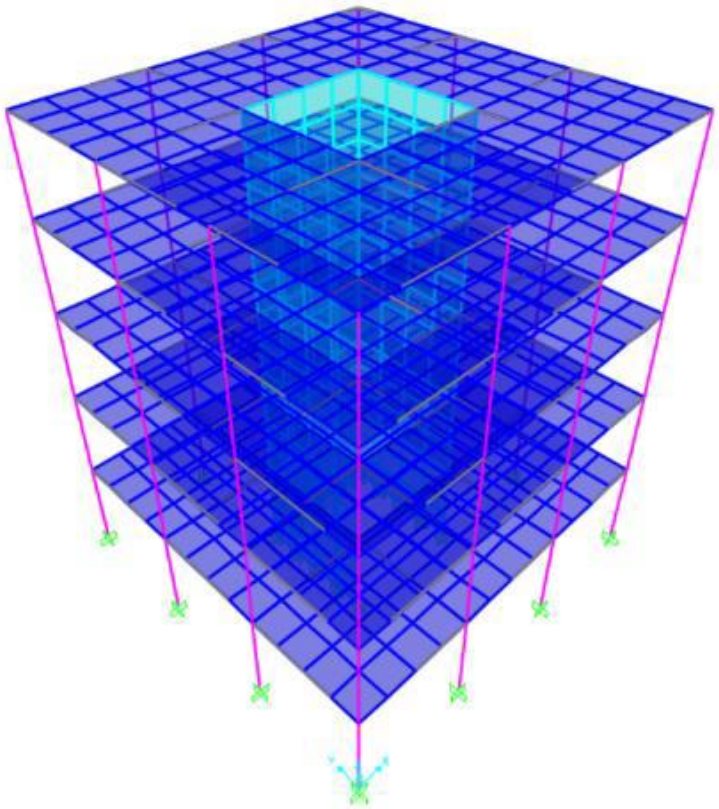
modelleme parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir. SAP2000 yazılımında oluşturulan sonlu eleman modelleri model 1, model 2, model 3 için sırasıyla Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



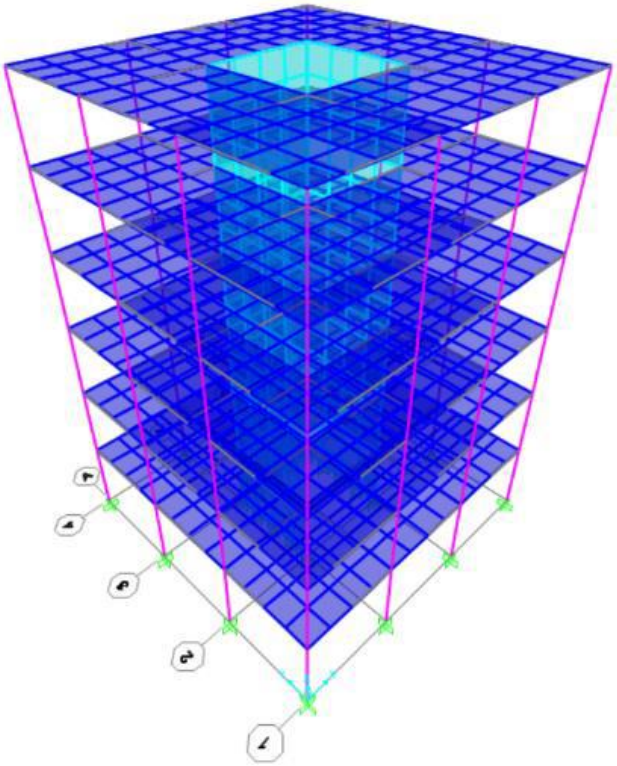
Şekil 4.1 Binaların normal kat kalıp planı



Şekil 4.2 Model 1'in üç boyutlu sonlu eleman modeli



Şekil 4.3 Model 2'nin üç boyutlu sonlu eleman modeli



Şekil 4.4 Model 3'ün üç boyutlu sonlu eleman modeli

Tablo 4.1 İncelenen binalara ait geometrik özellikler ve modelleme parametreleri

Kesit Özellikleri (cm)	
Kolon	55x55
Kiriş	55x35
Perde	25
Döşeme	15
Bodrum perdesi	25
Malzeme Özellikleri	
Beton	C25/30
Donatı Çeliği	B420c
Bina Özellikleri	
Kat yüksekliği (m)	3
Kat planı (m)	12x12
Bina kullanım türü	Konut
Hareketli yük katılım katsayısı (n)	0.3
Bina önem katsayısı (I)	1
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	7
Dayanım fazlalığı katsayısı (D)	2.50
Deprem yer hareketi düzeyi	DD-2
Yerel zemin sınıfı	ZB
Katlara uygulanan yükler	
Duvar yükü	2 kN/m
Döşeme ölü yükü	2 kN/m^2
Döşeme hareketli yükü	2 kN/m^2

TBDY 2018 bölüm 4.5.8'e göre binaların yapısal elemanları olan kiriş, kolon, döşeme, perde ve bodrum perdesi için tanımlanan etkin kesit rijitlik çarpanları, tüm modellerde düzlem içi ve düzlem dışı etkiler göz önüne alınarak uygulanmıştır.

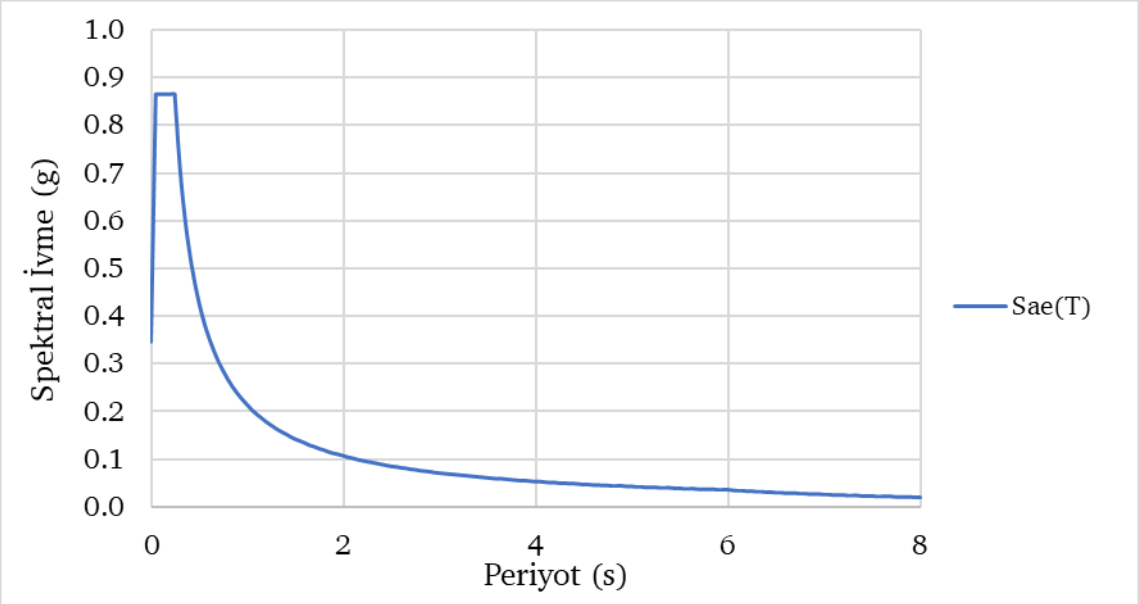
4.2 Sonlu Eleman Analizleri

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının (AFAD) sitesinde yer alan Türkiye Deprem Tehlike Haritasından DD-2 deprem yer hareketi için konumu Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü ve zemin sınıfı ZB olarak kabul edilen binalar için çeşitli deprem parametrelerinin verileri alınmıştır. Bu değerler Tablo 4.2'de verilmiştir. Bu değerlere göre yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları hesaplanmıştır. Yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 4.5'te verilmiştir. Düşey

deprem etkisi için binaların bölüm 3.2.3'teki şartları sağlaması sebebiyle Denklem 3.5'te verilen $E_d^{(Z)}$ hesabı yapılarak dikkate alınmıştır.

Tablo 4.2 AFAD'ın sitesinden alınan spektral parametreler

Konum Bilgisi	
Yıldız Teknik Üniversitesi Davupaşa Kampüsü	
Spektral Parametreler	**DD-2 Deprem Yer hareketi Düzeyi**
S_S	0.960
S_1	0.267
F_S	0.9
F_1	0.8
PGA	0.395
PGV	24.39
S_{DS}	0.864
S_{D1}	0.214
T_A	0.049
T_B	0.247

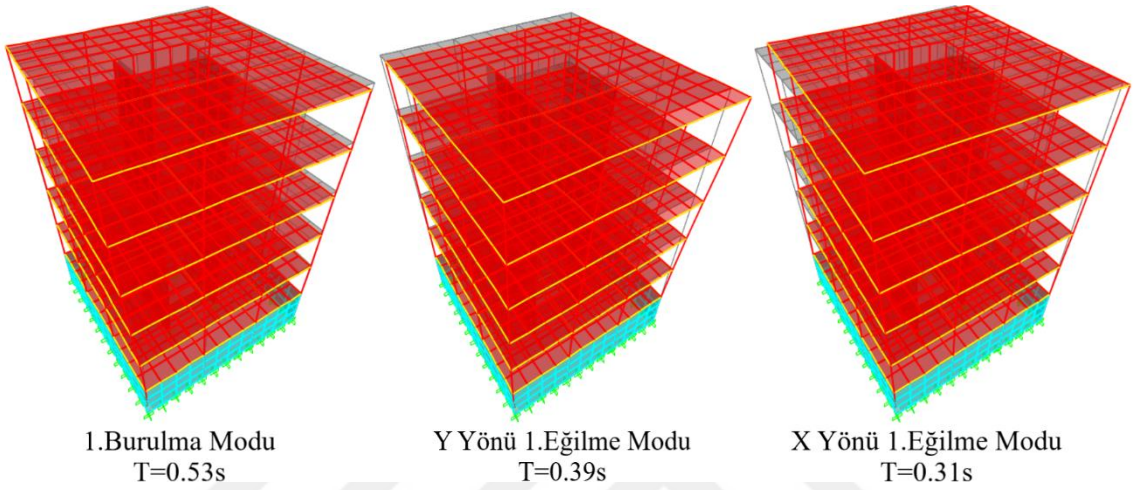


Şekil 4.5 Yatay elastik ivme spektrumu, $S_{ae}(T)$

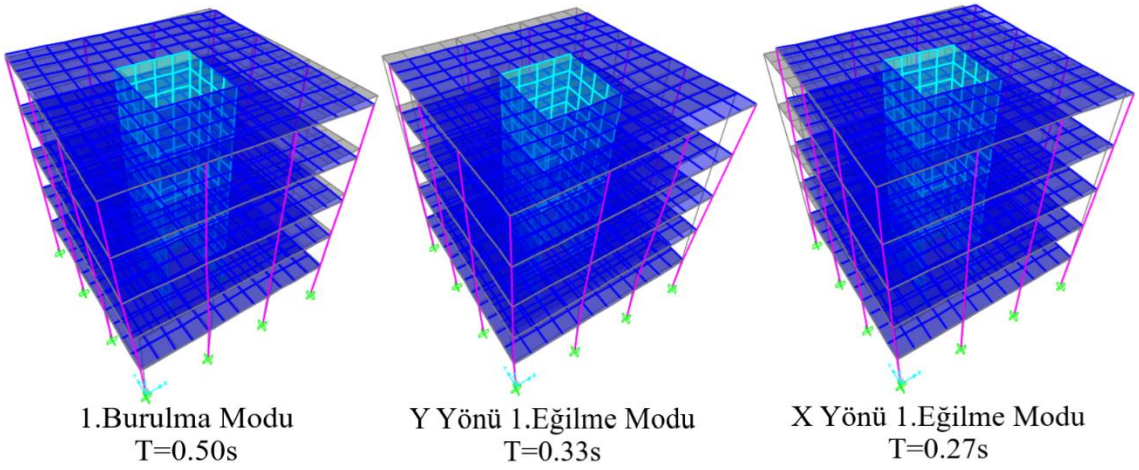
4.2.1 Binaların Modal Davranışı

Binaların modal analizi sonucunda tüm modellerde ilk mod burulma çıkmıştır. Bu durumun sebebinin binanın orta kısmında bulunan asansör perdesi de denilen çekirdek perdeden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın amacı bodrum

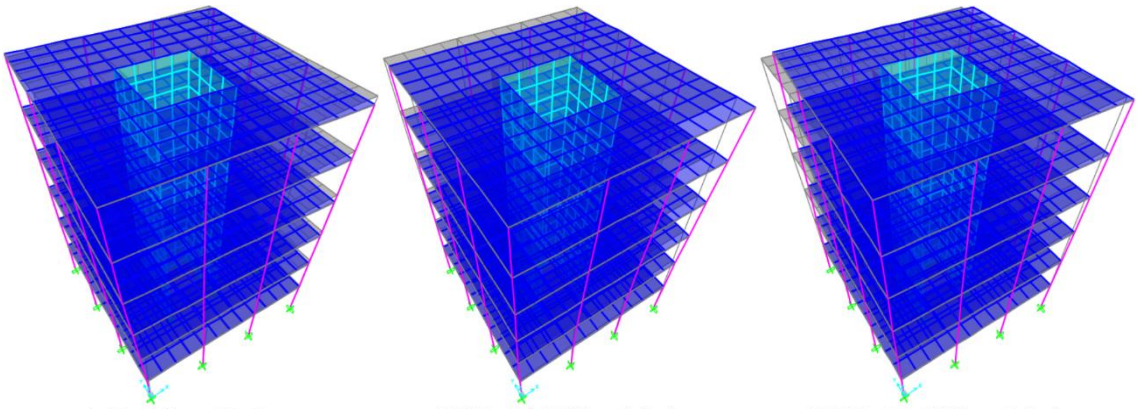
katın davranışını incelemek olduğu için taşıyıcı sistemde burulmanın etkisini giderecek değişiklikler yapılmamıştır. Model 1, model 2 ve model 3'ün ilk 3 mod şekli ve periyot değerleri sırasıyla Şekil 4.6-8'de verilmiştir. TBDY 2018'de verilen kütle katılım oranı, bina toplam kütlesinin %95'inden az olmama kuralına uyularak modellerin kütle katılım oranları Tablo 4.3-5'te verilmiştir.



Şekil 4.6 Model 1'e ait mod şekilleri ve periyot değerleri



Şekil 4.7 Model 2'ye ait mod şekilleri ve periyot değerleri



Şekil 4.8 Model 3'e ait mod şekilleri ve periyot değerleri

Tablo 4.3 Model 1'in kütle katılım oranları

Mod	Periyot (s)	Kütle Katılım Oranları (%)						Davranış Modu
		UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY	ΣRZ	
1	0.53086	26.86	0.00	34.77	26.86	0.00	34.77	1. Burulma
2	0.38848	0.00	60.67	0.00	26.86	60.67	34.77	Y yönü 1. Eğilme
3	0.31519	35.34	0.00	26.04	62.20	60.67	60.81	X yönü 1. Eğilme
4	0.15489	4.29	0.00	5.37	66.48	60.67	66.18	2. Burulma
5	0.0942	0.00	15.24	0.00	66.48	75.92	66.18	Y yönü 2. Eğilme
6	0.08634	9.47	0.00	4.34	75.95	75.92	70.52	X yönü 2. Eğilme
7	0.07861	1.27	0.00	2.51	77.22	75.92	73.02	
8	0.06564	0.00	0.04	0.00	77.22	75.95	73.02	
9	0.06088	0.00	0.10	0.00	77.22	76.05	73.02	
10	0.05982	0.13	0.00	0.02	77.36	76.05	73.04	
11	0.05506	0.00	0.30	0.00	77.36	76.35	73.04	
12	0.0476	2.79	0.00	0.01	80.15	76.35	73.05	
13	0.0448	0.00	4.87	0.00	80.15	81.22	73.05	
14	0.04123	0.00	0.61	0.00	80.15	81.82	73.05	
15	0.03921	1.92	0.00	1.48	82.06	81.82	74.53	
16	0.02986	0.00	4.05	0.00	82.06	85.87	74.53	
17	0.02495	13.29	0.00	0.35	95.35	85.87	74.88	
18	0.02172	0.00	11.54	0.00	95.35	97.42	74.88	
19	0.01689	3.27	0.00	0.35	98.62	97.42	75.23	
20	0.0087	0.00	1.77	0.00	98.62	99.19	75.23	

Tablo 4.4 Model 2'nin kütle katılım oranları

Mod	Periyot (s)	Kütle Katılım Oranları (%)						Davranış Modu
		UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY	ΣRZ	
1	0.50173	29.92	0.00	48.77	29.92	0.00	48.77	1. Burulma
2	0.33186	0.00	72.17	0.00	29.92	72.17	48.77	Y yönü 1. Eğilme
3	0.27546	45.83	0.00	31.00	75.75	72.17	79.77	X yönü 1. Eğilme
4	0.14805	5.67	0.00	7.34	81.42	72.17	87.10	2. Burulma
5	0.0858	0.00	18.93	0.00	81.42	91.10	87.10	Y yönü 2. Eğilme
6	0.084	10.29	0.00	6.24	91.71	91.10	93.34	X yönü 2. Eğilme
7	0.07663	2.51	0.00	2.59	94.22	91.10	95.94	
8	0.06296	0.00	0.09	0.00	94.22	91.18	95.94	
9	0.06006	0.00	0.14	0.00	94.22	91.33	95.94	
10	0.05911	0.14	0.00	0.03	94.36	91.33	95.96	
11	0.05487	0.00	0.27	0.00	94.36	91.59	95.96	
12	0.04812	2.97	0.00	0.00	97.33	91.59	95.96	
13	0.04436	0.00	1.48	0.00	97.33	93.07	95.96	
14	0.04283	0.00	3.72	0.00	97.33	96.80	95.96	
15	0.04087	1.06	0.00	1.26	98.38	96.80	97.22	
16	0.03187	1.11	0.00	0.04	99.49	96.80	97.26	
17	0.03101	0.00	2.13	0.00	99.49	98.92	97.26	
18	0.02423	0.00	0.44	0.00	99.49	99.36	97.26	
19	0.0142	0.30	0.00	0.14	99.78	99.36	97.40	
20	0.00854	0.00	0.42	0.00	99.78	99.78	97.40	

Tablo 4.5 Model 3'ün kütle katılım oranları

Mod	Periyot (s)	Kütle Katılım Oranları (%)						Davranış Modu
		UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY	ΣRZ	
1	0.61595	31.00	0.00	47.38	31.00	0.00	47.38	1. Burulma
2	0.42584	0.00	71.35	0.00	31.00	71.35	47.38	Y yönü 1. Eğilme
3	0.34899	43.53	0.00	31.70	74.53	71.35	79.08	X yönü 1. Eğilme
4	0.18438	5.62	0.00	6.66	80.15	71.35	85.74	2. Burulma
5	0.10844	0.00	18.48	0.00	80.15	89.83	85.74	Y yönü 2. Eğilme
6	0.10283	9.59	0.00	7.26	89.74	89.83	92.99	X yönü 2. Eğilme
7	0.09577	3.47	0.00	1.88	93.21	89.83	94.87	
8	0.06702	0.00	0.04	0.00	93.21	89.86	94.87	
9	0.06248	0.74	0.00	1.20	93.95	89.86	96.08	
10	0.06215	0.00	0.16	0.00	93.95	90.02	96.08	
11	0.05602	0.00	1.45	0.00	93.95	91.47	96.08	
12	0.05529	3.11	0.00	0.90	97.06	91.47	96.97	
13	0.05195	0.00	4.33	0.00	97.06	95.80	96.97	
14	0.04213	1.49	0.00	0.01	98.55	95.80	96.98	
15	0.03768	0.00	1.27	0.00	98.55	97.07	96.98	
16	0.03371	0.00	1.53	0.00	98.55	98.60	96.98	
17	0.03292	0.99	0.00	0.78	99.54	98.60	97.76	
18	0.02665	0.00	0.86	0.00	99.54	99.46	97.76	
19	0.0158	0.26	0.00	0.07	99.81	99.46	97.83	
20	0.00918	0.00	0.34	0.00	99.81	99.79	97.83	

4.2.2 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle Deprem Hesabının Yapılması

Binaların eşdeğer deprem yükü hesabı yapılmadan önce AFAD'ın sitesinden çeşitli parametreler belirlenmiş ve ona göre hesaplamalar yapılmıştır. AFAD'ın sitesinden alınan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_{DS}=0.864 değeri ve bina kullanım sınıfı, BKS=3 değeri dikkate alınarak Tablo 2.4'ten deprem tasarım sınıfı DTS=1 alınmıştır. Model 2'nin bina yükseklik sınıfı, BYS=6(H_N=15m), model 3'ün BYS=5(H_N=18m) alınmıştır. Model 1 bodrum kata sahip olduğu için TBDY 2018'deki madde 3.3.1.1 kontrol edilmiştir. Bodrum katlar dahil tüm binanın x yönündeki periyodu 0.31519 s, y yönünde 0.38848 s; bodrum katlar hariç binanın x yönündeki periyodu 0.31514 s, y yönündeki periyot 0.3884 s hesaplanmıştır. Periyotların oranı 1.1'den küçük çıkmıştır. Bu nedenle bina yüksekliği bodrum katın üst kotundaki döşemeden alınmıştır. Model 1'e ait BYS=6(H_N=15m) alınmıştır.

Eşdeğer deprem yükü hesabında binalarda taban kesme kuvveti ve katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü değerleri denklem 3.9'a göre hesaplanmıştır. Bu değerler model 1, model 2 ve model 3 için sırasıyla Tablo 4.6-8'de verilmiştir. Binalara ait kat kesme kuvvetleri ise x ve y yönü için Şekil 4.9 ve 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Model 1'e ait taban kesme kuvveti ve eşdeğer deprem yükü kuvvetleri

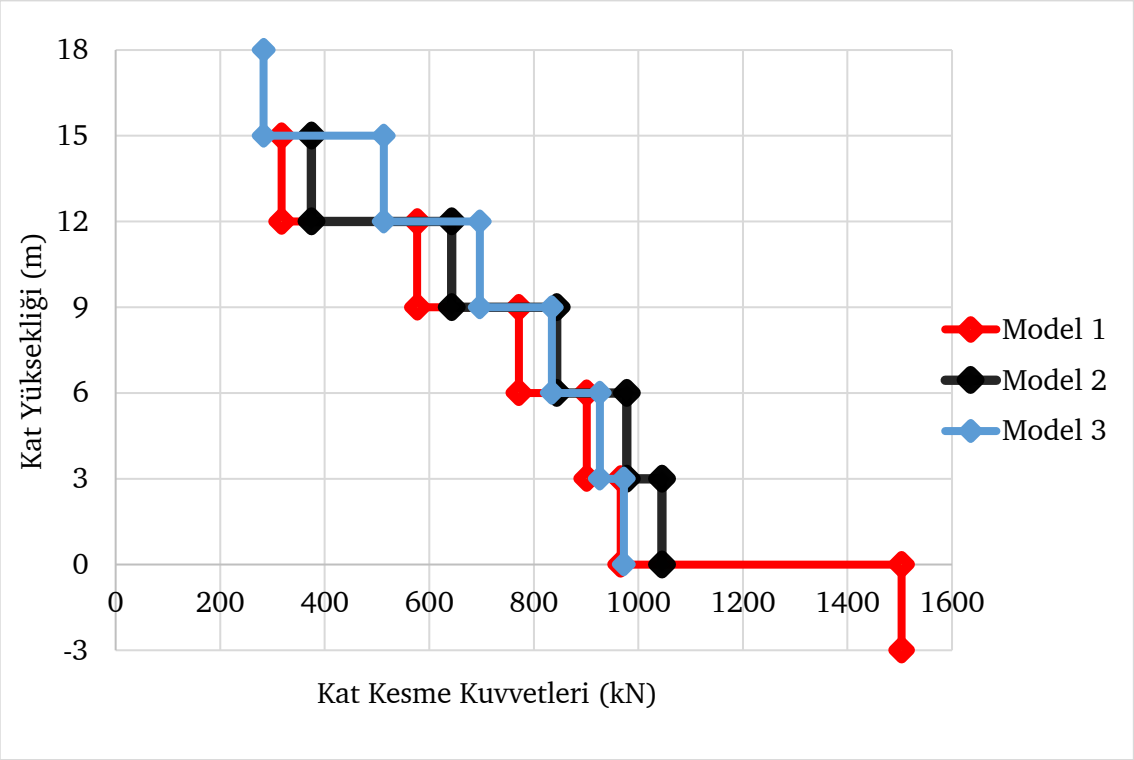
kat	h_i	H_i	m_i	m_i x H_i	$F_{iE}^{(x)}$	$F_{iE}^{(y)}$
5	3	15	166.76	2501.4	317.51	252.71
4	3	12	192.2	2306.4	259.36	206.43
3	3	9	192.2	1729.8	194.52	154.82
2	3	6	192.2	1153.2	129.68	103.22
1	3	3	192.2	576.6	64.84	51.61
bodrum	3	3	238.28		537.63	537.63
					V_X=965.91	V_Y=768.79

Tablo 4.7 Model 2'ye ait taban kesme kuvveti ve eşdeğer deprem yükü kuvvetleri

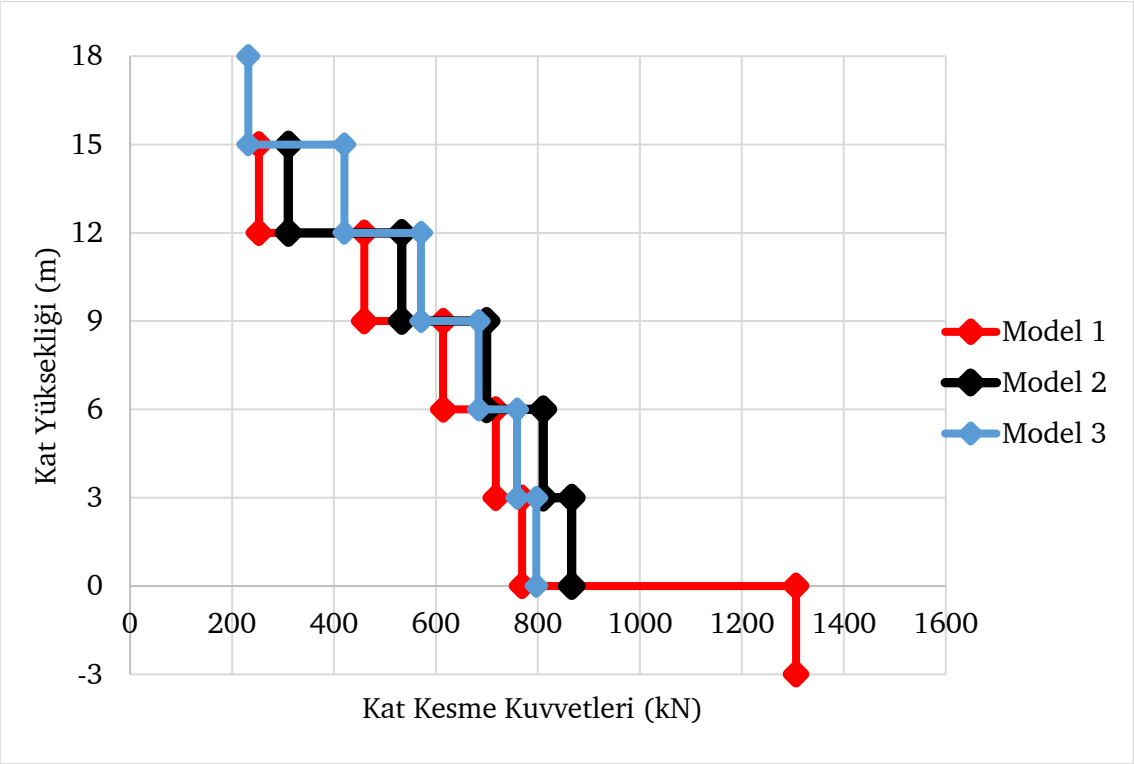
kat	h_i	H_i	m_i	m_i x H_i	$F_{iE}^{(x)}$	$F_{iE}^{(y)}$
5	3	15	192.2	2883	374.47	310.37
4	3	12	192.2	2306.4	268.23	222.31
3	3	9	192.2	1729.8	201.17	166.73
2	3	6	192.2	1153.2	134.11	111.16
1	3	3	192.2	576.6	67.06	55.58
					V_X=1045.04	V_Y=866.15

Tablo 4.8 Model 3'e ait taban kesme kuvveti ve eşdeğer deprem yükü kuvvetleri

kat	h_i	H_i	m_i	m_i x H_i	$F_{iE}^{(X)}$	$F_{iE}^{(Y)}$
6	3	18	166.76	3001.68	282.99	231.92
5	3	15	192.2	2883	229.77	188.31
4	3	12	192.2	2306.4	183.82	150.65
3	3	9	192.2	1729.8	137.86	112.98
2	3	6	192.2	1153.2	91.91	75.32
1	3	3	192.2	576.6	45.95	37.66
					V_X=972.31	V_Y=796.84



Şekil 4.9 X yönündeki kat kesme kuvvetleri



Şekil 4.10 Y yönündeki kat kesme kuvvetleri

Kat kesme kuvvetleri kıyaslandığında binaların geometrisinden dolayı x yönünün y'ye göre daha rijit olması, x yönündeki kuvvetlerin y yönündekilere göre daha fazla çıkmasına sebep olmuştur. Model 1'de(bodrumlu bina) oluşan x ve y yönündeki kat kesme kuvvetleri bodrum kat haricinde diğer 2 modelde oluşan kat kesme kuvvetlerinden daha az çıkmıştır. Bu durumun oluşmasında bodrum katın varlığı etkili olmuştur.

4.2.2.1 Düzensizlik Durumları

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile TBDY 2018'de belirtilmiş olan plandaki ve düşeydeki düzensizlikler model 1, model 2 ve model 3 için kontrol edilmiştir.

- *A1 Düzensizliği*

Burulma düzensizliğinin kontrolü için binaların ortak kat planındaki köşe noktaları C1, C2, C3, C4 olarak seçilmiş ve bu noktalardaki x ve y yönünde uygulanan eşdeğer deprem yüklemeleri için yerdeğiştirmeler okunmuştur. Daha sonra maksimum ve ortalama yerdeğiştirme değerleri oranlanarak A1 düzensizliğinin olup olmadığı Tablo 4.9-11'de kontrol edilmiştir. Verilen yüklemeler içindeki en elverişsiz değerler Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Model 1'e ait A1 düzensizliği kontrolü

Plan Köşe Noktaları	Yüklem e	kat 5		kat 4		kat 3		kat 2		kat 1	
		u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$	u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$	u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$	u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$	u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$
C1	ExÜ	0.012	0.002	0.010	0.002	0.008	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002
	ExÜP	0.011	0.002	0.009	0.002	0.007	0.002	0.004	0.002	0.002	0.002
	ExÜN	0.013	0.002	0.011	0.003	0.009	0.003	0.006	0.003	0.002	0.002
	EyÜ	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	EyÜP	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	EyÜN	0.006	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
C2	ExÜ	0.012	0.002	0.010	0.002	0.008	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002
	ExÜP	0.011	0.002	0.009	0.002	0.007	0.002	0.004	0.002	0.002	0.002
	ExÜN	0.013	0.002	0.011	0.003	0.009	0.003	0.006	0.003	0.002	0.002
	EyÜ	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	EyÜP	0.006	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	EyÜN	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
C3	ExÜ	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	ExÜP	0.004	0.001	0.003	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	ExÜN	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	EyÜ	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	EyÜP	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	EyÜN	0.006	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
C4	ExÜ	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	ExÜP	0.004	0.001	0.003	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	ExÜN	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	EyÜ	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	EyÜP	0.006	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001

Tablo 4.9 Model 1'e ait A1 düzensizliği kontrolü (devamı)

	EyÜN	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
$\Delta_{i,max}$	ExÜ		0.002		0.002		0.003		0.003		0.002
	ExÜP		0.002		0.002		0.002		0.002		0.002
	ExÜN		0.002		0.003		0.003		0.003		0.002
	EyÜ		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
	EyÜP		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
	EyÜN		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
$\Delta_{i,ort}$	ExÜ		0.001		0.002		0.002		0.002		0.001
	ExÜP		0.001		0.002		0.002		0.002		0.001
	ExÜN		0.001		0.002		0.002		0.002		0.001
	EyÜ		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
	EyÜP		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
	EyÜN		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
η_{bi}	ExÜ		1.400		1.498		1.570		1.609		1.500
	ExÜP		1.304		1.393		1.459		1.495		1.389
	ExÜN		1.488		1.593		1.667		1.710		1.600
	EyÜ		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
	EyÜP		1.103		1.133		1.161		1.185		1.164
	EyÜN		1.103		1.133		1.161		1.185		1.164

Tablo 4.10 Model 2'ye ait A1 düzensizliği kontrolü

Plan Köşe Noktaları	**Yükleme**	**kat 5**		**kat 4**		**kat 3**		**kat 2**		**kat 1**	
		u_i (m)	**Δ_i (m) ($u_i - u_{i-1}$)**	**u_i (m)**	**Δ_i (m) ($u_i - u_{i-1}$)**	**u_i (m)**	**Δ_i (m) ($u_i - u_{i-1}$)**	**u_i (m)**	**Δ_i (m) ($u_i - u_{i-1}$)**	**u_i (m)**	**Δ_i (m) ($u_i - u_{i-1}$)**
C1	Ex	0.012	0.002	0.010	0.003	0.007	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002
	ExP	0.010	0.002	0.009	0.002	0.006	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001
	ExN	0.013	0.002	0.011	0.003	0.008	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002
	Ey	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyP	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyN	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
C2	Ex	0.012	0.002	0.010	0.003	0.007	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002
	ExP	0.010	0.002	0.009	0.002	0.006	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001
	ExN	0.013	0.002	0.011	0.003	0.008	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002
	Ey	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyP	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	EyN	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
C3	Ex	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
	ExP	0.003	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	ExN	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

Tablo 4.10 Model 2'ye ait A1 düzensizliği kontrolü (devamı)

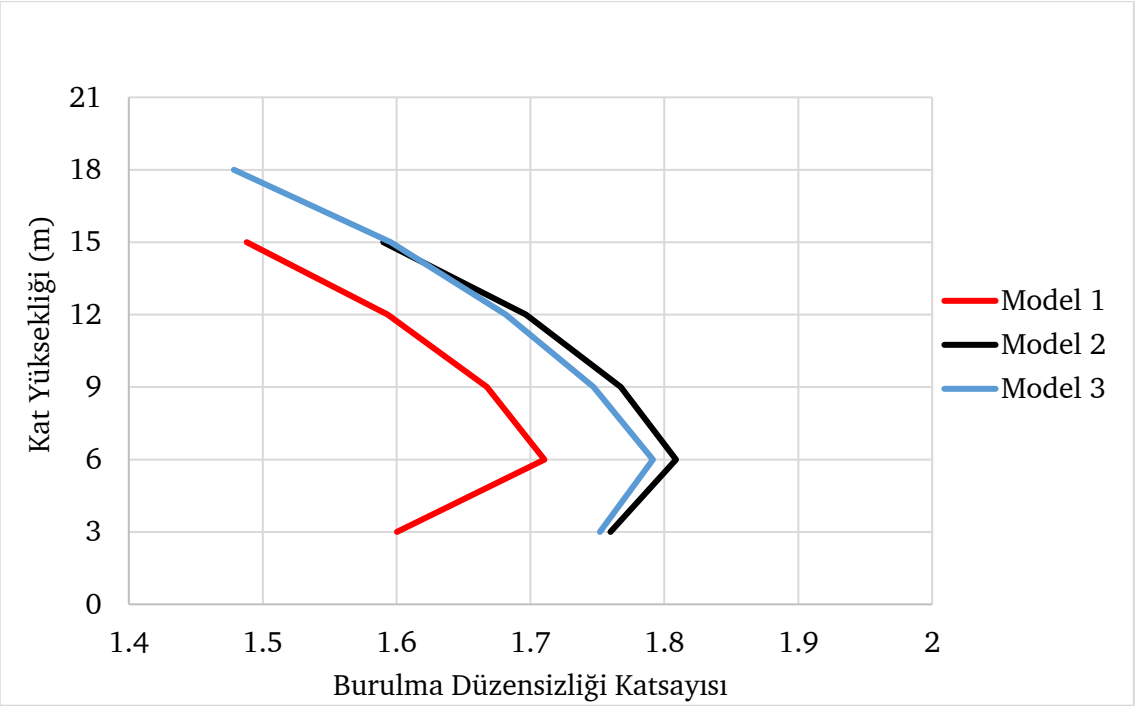
	Ey	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyP	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyN	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
C4	Ex	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
	ExP	0.003	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	ExN	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	Ey	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyP	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
	EyN	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
$\Delta_{i,max}$	Ex		0.002		0.003		0.003		0.003		0.002
	ExP		0.002		0.002		0.003		0.002		0.001
	ExN		0.002		0.003		0.003		0.003		0.002
	Ey		0.001		0.001		0.001		0.001		0.000
	EyP		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
	EyN		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
$\Delta_{i,ort}$	Ex		0.001		0.002		0.002		0.002		0.001
	ExP		0.001		0.002		0.002		0.001		0.001
	ExN		0.001		0.002		0.002		0.002		0.001
	Ey		0.001		0.001		0.001		0.001		0.000
	EyP		0.001		0.001		0.001		0.001		0.000
	EyN		0.001		0.001		0.001		0.001		0.000
η_{bi}	Ex		1.502		1.603		1.671		1.707		1.649
	ExP		1.404		1.498		1.561		1.590		1.523
	ExN		1.590		1.697		1.767		1.809		1.760
	Ey		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
	EyP		1.121		1.156		1.192		1.230		1.255
	EyN		1.121		1.156		1.192		1.230		1.255

Tablo 4.11 Model 3'e ait A1 düzensizliği kontrolü

Plan Köşe Noktaları	Yükleme	kat 6		kat 5		kat 4		kat 3		kat 2		kat 1	
		u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$	u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$	u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$	u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$	u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$	u_i (m)	Δ_i (m) $(u_i - u_{i-1})$
C1	Ex	0.014	0.002	0.012	0.002	0.010	0.003	0.007	0.003	0.004	0.003	0.001	0.001
	ExP	0.012	0.002	0.011	0.002	0.009	0.002	0.006	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001
	ExN	0.016	0.002	0.014	0.003	0.011	0.003	0.008	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002
	Ey	0.006	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyP	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	EyN	0.007	0.001	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
C2	Ex	0.014	0.002	0.012	0.002	0.010	0.003	0.007	0.003	0.004	0.003	0.001	0.001
	ExP	0.012	0.002	0.011	0.002	0.009	0.002	0.006	0.003	0.004	0.002	0.001	0.001
	ExN	0.016	0.002	0.014	0.003	0.011	0.003	0.008	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002
	Ey	0.006	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyP	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	EyN	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
C3	Ex	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
	ExP	0.004	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	ExN	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	Ey	0.006	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyP	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	EyN	0.007	0.001	0.006	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
C4	Ex	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
	ExP	0.004	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	ExN	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
	Ey	0.006	0.001	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
	EyP	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

Tablo 4.11 Model 3'e ait A1 düzensizliği kontrolü (devamı)

	Ey N	0.005	0.001	0.004	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
$\Delta_{i,max}$	Ex		0.002		0.002		0.003		0.003		0.003		0.001
	ExP		0.002		0.002		0.002		0.003		0.002		0.001
	Ex N		0.002		0.003		0.003		0.003		0.003		0.002
	Ey		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.000
	EyP		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000
	Ey N		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001
$\Delta_{i,ort}$	Ex		0.001		0.002		0.002		0.002		0.002		0.001
	ExP		0.001		0.001		0.002		0.002		0.001		0.001
	Ex N		0.001		0.002		0.002		0.002		0.002		0.001
	Ey		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.000
	EyP		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000
	Ey N		0.001		0.001		0.001		0.001		0.001		0.000
η_{bi}	Ex		1.393		1.503		1.587		1.651		1.691		1.641
	ExP		1.300		1.401		1.480		1.541		1.576		1.516
	Ex N		1.478		1.596		1.682		1.747		1.791		1.752
	Ey		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
	EyP		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
	Ey N		1.097		1.128		1.156		1.186		1.222		1.248



Şekil 4.11 Binaların A1 düzensizliği katsayıları

İncelenen tüm binalarda A1 burulma düzensizliği çıkmıştır. Ancak bu değerler 1.2 ile 2 arasında kaldığı için TBDY Bölüm 4.7.4'e göre katlarda uygulanan ±%5 ek dış merkezlik değerleri denklem 2.14'e göre hesaplanan D_{bi} katsayıları ile çarpılarak arttırılmıştır. Dış merkezliğin arttırılmasıyla oluşan ek burulma momentleri x ve y yönünde Tablo 4.12-14'te model 1, model 2 ve model 3 için verilmiştir.

Tablo 4.12 Model 1'e ait ek burulma momentleri

Kat	$F_{iE}^{(X)}$	$F_{iE}^{(Y)}$	D_{bi}	e	X doğ.(m)	Y doğ.(m)	$M_{ib}^{(X)}$	$M_{ib}^{(Y)}$
5	317.51	252.713	1.53774	0.05	12	12	102.443	81.537
4	259.36	206.431	1.76312	0.05	12	12	118.754	94.5188
3	194.52	154.823	1.93086	0.05	12	12	108.643	86.4711
2	129.68	103.215	2.0316	0.05	12	12	80.2671	63.8864
1	64.84	51.6077	1.77867	0.05	12	12	30.2936	24.1114

Tablo 4.13 Model 2'ye ait ek burulma momentleri

Kat	$F_{iE}^{(X)}$	$F_{iE}^{(Y)}$	D_{bi}	e	X doğ.(m)	Y doğ.(m)	$M_{ib}^{(X)}$	$M_{ib}^{(Y)}$
5	374.472	310.37	1.75583	0.05	12	12	169.822	140.753
4	268.226	222.312	1.99896	0.05	12	12	160.769	133.249
3	201.17	166.734	2.16894	0.05	12	12	141.093	116.941
2	134.113	111.156	2.27186	0.05	12	12	102.343	84.8245
1	67.0565	55.578	2.15073	0.05	12	12	46.2982	38.373

Tablo 4.14 Model 3'e ait ek burulma momentleri

Kat	$F_{iE}^{(X)}$	$F_{iE}^{(Y)}$	D_{bi}	e	X doğ.(m)	Y doğ.(m)	$M_{ib}^{(X)}$	$M_{ib}^{(Y)}$
6	282.988	231.917	1.51802	0.05	12	12	87.9557	72.0824
5	229.775	188.308	1.76847	0.05	12	12	105.944	86.8247
4	183.82	150.646	1.96352	0.05	12	12	106.268	87.0903
3	137.865	112.985	2.11949	0.05	12	12	92.6031	75.8911
2	91.9099	75.323	2.22872	0.05	12	12	67.7591	55.5307
1	45.955	37.6615	2.13112	0.05	12	12	31.1883	25.5598

- *A2 Düzensizliği*

Binaların ortak modelindeki normal kat planında 4 x 4 m^2 lik asansör boşluğu bulunmaktadır. Bu oranın tüm alana oranı 1/3'ten küçük olduğu binalarda A2 döşeme süreksizliği durumu söz konusu değildir.

- *A3 Düzensizliği*

Yapılan sayısal çalışmadaki binalarda planda herhangi bir çıkıntı söz konusu değildir. Bu sebeple A3 düzensizliği durumu yoktur.

- *B1 Düzensizliği*

TBDY 2018'e göre zayıf kat düzensizliği olarak da geçen B1 düzensizliği, herhangi bir kattaki perde, kolon gibi taşıyıcı elemanların veya dolgu duvarların etkili kesme alanlarının bir üst kattaki etkili kesme alanlarıyla kıyaslanma durumudur. Yapılan çalışmada her katta aynı yapı elemanları kullanıldığı için bu düzensizlik yoktur.

- *B2 Düzensizliği*

TBDY 2018'e göre yumuşak kat düzensizliği olarak da adlandırılan B2 düzensizliği, herhangi bir kattaki ortalama göreli ötelemenin bir üst veya alt kata

oranının 2.0'den büyük olma durumu olarak tanımlanmaktadır. İncelenen binalarda B2 düzensizliği oluşmamıştır. Model 1, model 2 ve model 3'e ait değerler Tablo 4.15-17 arasında gösterilmiştir.

Tablo 4.15 Model 1'e ait B2 düzensizlik kontrolü

	Yükleme	kat 5	kat 4	kat 3	kat 2	kat 1
$\Delta_{i,ort}$ (m)	ExÜ	0.00133	0.00161	0.00178	0.00174	0.00141
	ExÜP	0.00127	0.00153	0.00167	0.00163	0.00134
	ExÜN	0.00138	0.00169	0.00188	0.00184	0.00149
	EyÜ	0.00112	0.00121	0.00120	0.00109	0.00090
	EyÜP	0.00112	0.00120	0.00120	0.00109	0.00090
	EyÜN	0.00112	0.00120	0.00120	0.00109	0.00090
$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	ExÜ	0.00044	0.00054	0.00059	0.00058	0.00047
	ExÜP	0.00042	0.00051	0.00056	0.00054	0.00045
	ExÜN	0.00046	0.00056	0.00063	0.00061	0.00050
	EyÜ	0.00037	0.00040	0.00040	0.00036	0.00030
	EyÜP	0.00037	0.00040	0.00040	0.00036	0.00030
	EyÜN	0.00037	0.00040	0.00040	0.00036	0.00030
η_{ki} $(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	ExÜ		1.21560	1.10109	0.97775	0.81279
	ExÜP		1.20338	1.09317	0.97309	0.82114
	ExÜN		1.22523	1.10918	0.98111	0.80613
	EyÜ		1.07589	0.99917	0.90282	0.83165
	EyÜP		1.07497	0.99917	0.90320	0.83211
	EyÜN		1.07497	0.99917	0.90320	0.83211
η_{ki} $(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	ExÜ	0.82264	0.90819	1.02275	1.23033	
	ExÜP	0.83099	0.91477	1.02766	1.21781	
	ExÜN	0.81617	0.90157	1.01925	1.24050	
	EyÜ	0.92946	1.00083	1.10764	1.20243	
	EyÜP	0.93026	1.00083	1.10718	1.20177	
	EyÜN	0.93026	1.00083	1.10718	1.20177	

Tablo 4.16 Model 2'ye ait B2 düzensizlik kontrolü

	Yükleme	kat 5	kat 4	kat 3	kat 2	kat 1
$\Delta_{i,ort}$ (m)	Ex	0.00132	0.00162	0.00174	0.00161	0.00095
	ExP	0.00126	0.00152	0.00162	0.00149	0.00089
	ExN	0.00139	0.00171	0.00185	0.00172	0.00102
	Ey	0.00108	0.00116	0.00111	0.00091	0.00050
	EyP	0.00108	0.00116	0.00111	0.00091	0.00050
	EyN	0.00108	0.00116	0.00111	0.00091	0.00050
$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	Ex	0.00044	0.00054	0.00058	0.00054	0.00032
	ExP	0.00042	0.00051	0.00054	0.00050	0.00030
	ExN	0.00046	0.00057	0.00062	0.00057	0.00034
	Ey	0.00036	0.00039	0.00037	0.00030	0.00017
	EyP	0.00036	0.00039	0.00037	0.00030	0.00017
	EyN	0.00036	0.00039	0.00037	0.00030	0.00017
η_{ki} $(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	Ex		1.22084	1.07359	0.92598	0.59378
	ExP		1.21059	1.06544	0.92253	0.59752
	ExN		1.23044	1.08051	0.92873	0.59070
	Ey		1.07116	0.95686	0.82417	0.54267
	EyP		1.07258	0.95560	0.82409	0.54351
	EyN		1.07258	0.95560	0.82409	0.54351
η_{ki} $(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	Ex	0.81911	0.93145	1.07994	1.68413	
	ExP	0.82604	0.93858	1.08397	1.67357	
	ExN	0.81272	0.92549	1.07674	1.69291	
	Ey	0.93356	1.04509	1.21335	1.84274	
	EyP	0.93233	1.04646	1.21346	1.83988	
	EyN	0.93233	1.04646	1.21346	1.83988	

Tablo 4.17 Model 3'e ait B2 düzensizlik kontrolü

	Yükleme	kat 6	kat 5	kat 4	kat 3	kat 2	kat 1
$\Delta_{i,ort}$ (m)	Ex	0.00125	0.00154	0.00173	0.00177	0.00158	0.00091
	ExP	0.00120	0.00147	0.00163	0.00166	0.00147	0.00086
	ExN	0.00130	0.00162	0.00183	0.00189	0.00169	0.00097
	Ey	0.00111	0.00121	0.00122	0.00113	0.00090	0.00048
	EyP	0.00018	0.00026	0.00032	0.00035	0.00034	0.00020
	EyN	0.00111	0.00121	0.00122	0.00113	0.00090	0.00048
$(\Delta_i/h_i)_{ort}$	Ex	0.00042	0.00051	0.00058	0.00059	0.00053	0.00030
	ExP	0.00040	0.00049	0.00054	0.00055	0.00049	0.00029
	ExN	0.00043	0.00054	0.00061	0.00063	0.00056	0.00032
	Ey	0.00037	0.00040	0.00041	0.00038	0.00030	0.00016
	EyP	0.00006	0.00009	0.00011	0.00012	0.00011	0.00007
	EyN	0.00037	0.00040	0.00041	0.00038	0.00030	0.00016
η_{ki}	Ex		1.23381	1.12051	1.02428	0.89105	0.57840
	ExP		1.22167	1.11153	1.01626	0.88768	0.58163
	ExN		1.24462	1.12959	1.03005	0.89525	0.57524
	Ey		1.09231	1.00911	0.92857	0.79929	0.52765
$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	EyP		1.42778	1.23735	1.10063	0.95714	0.58806
	EyN		1.09136	1.00995	0.92778	0.79920	0.52850
η_{ki}	Ex	0.81050	0.89245	0.97629	1.12227	1.72892	
	ExP	0.81855	0.89966	0.98400	1.12653	1.71930	
	ExN	0.80346	0.88528	0.97083	1.11700	1.73841	
	Ey	0.91549	0.99097	1.07692	1.25111	1.89518	
$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	EyP	0.70039	0.80818	0.90857	1.04478	1.70051	
	EyN	0.91629	0.99015	1.07784	1.25125	1.89215	

- *B3 Düzensizliği*

Tez kapsamındaki sayısal çalışmada düşey elemanların süreksizlik durumu yoktur.

4.2.2.2 Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması

TBDY Bölüm 4.9'a göre binalarda etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması denklem 4.1'e göre yapılmaktadır.

$$\lambda \frac{\bar{\delta}_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\,\kappa \qquad (4.1)$$

Bu formüldeki λ katsayısı, AFAD'ın sitesinde tanımlanan DD-3 deprem yer hareketine ait elastik tasarım spektral ivmesinin DD-2 deprem yer hareketine ait elastik tasarım spektral ivmesine oranı olarak ifade edilmektedir. Bu değer yapılan sayısal çalışmada x yönü için 0.389, y yönü için 0.387 hesaplanmıştır. Denklemdeki κ katsayısı betonarme binalar için 1 alınmıştır. Sayısal çalışmadaki modellere ait etkin göreli kat öteleme değerleri x ve y yönü Tablo 4.18-20'de

verilmiştir. Hesaplanan değerlerde en kritik değerler x yönündeki negatif ek dış merkezliğin olduğu yüklemede oluşmuştur ancak sınır değerleri geçmemiştir.

Model 1; x yönü için 0.389 x 0.00736 ≤ 0.008 x 1 √

Model 2; x yönü için 0.389 x 0.00764 ≤ 0.008 x 1 √

Model 3; x yönü için 0.389 x 0.00769 ≤ 0.008 x 1 √

Tablo 4.18 Model 1'e ait etkin göreli kat öteleme değerleri

	Yükleme	kat 5	kat 4	kat 3	kat 2	kat 1
$(\Delta_i)_{max}$	ExÜ	0.00186	0.00242	0.00279	0.00279	0.00212
	ExÜP	0.00166	0.00213	0.00244	0.00243	0.00186
	ExÜN	0.00206	0.0027	0.00313	0.00315	0.00238
	EyÜ	0.00112	0.00121	0.0012	0.00109	0.0009
	EyÜP	0.00124	0.00137	0.0014	0.00129	0.00105
	EyÜN	0.00124	0.00137	0.0014	0.00129	0.00105
$\delta_{i,max} / h_i$	ExÜ	0.00433	0.00564	0.0065	0.00652	0.00494
	ExÜP	0.00387	0.00497	0.00569	0.00567	0.00433
	ExÜN	0.0048	0.0063	0.00731	0.00736	0.00555
	EyÜ	0.00261	0.00281	0.00281	0.00254	0.00211
	EyÜP	0.00288	0.00319	0.00326	0.00301	0.00246
	EyÜN	0.00288	0.00319	0.00326	0.00301	0.00246

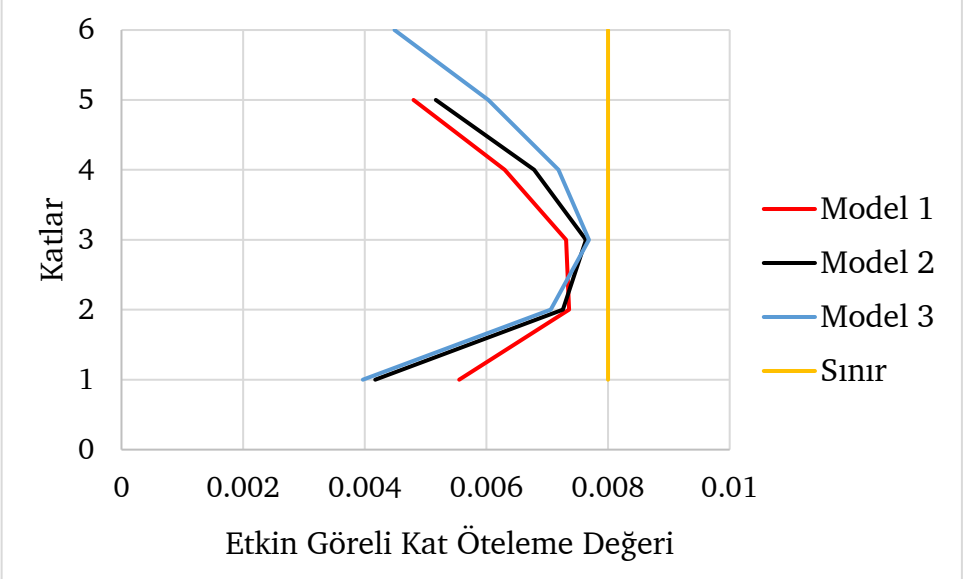
Tablo 4.19 Model 2'ye ait etkin göreli kat öteleme değerleri

	Yükleme	kat 5	kat 4	kat3	kat 2	kat 1
$(\Delta_i)_{max}$	Ex	0.00199	0.00259	0.0029	0.00274	0.00157
	ExP	0.00176	0.00228	0.00253	0.00238	0.00136
	ExN	0.00222	0.00291	0.00327	0.00311	0.00179
	Ey	0.00108	0.00116	0.00111	0.00091	0.0005
	EyP	0.00121	0.00134	0.00132	0.00112	0.00062
	EyN	0.00121	0.00134	0.00132	0.00112	0.00062
$\delta_{i,max} / h_i$	Ex	0.00464	0.00605	0.00677	0.0064	0.00367
	ExP	0.00411	0.00531	0.0059	0.00555	0.00317
	ExN	0.00517	0.00679	0.00764	0.00726	0.00417
	Ey	0.00252	0.0027	0.00259	0.00213	0.00116
	EyP	0.00283	0.00313	0.00308	0.00262	0.00145
	EyN	0.00283	0.00313	0.00308	0.00262	0.00145

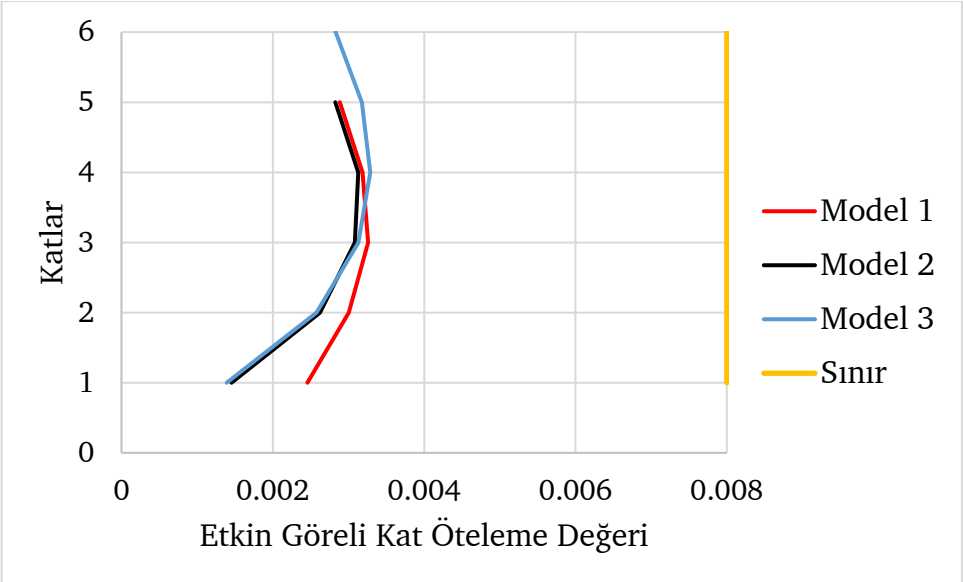
Tablo 4.20 Model 3'e ait etkin göreli kat öteleme değerleri

	Yükleme	kat 6	kat 5	kat 4	kat3	kat 2	kat 1
$(\Delta_i)_{max}$	Ex	0.00174	0.00232	0.00274	0.00292	0.00267	0.0015
	ExP	0.00156	0.00205	0.00241	0.00255	0.00232	0.0013
	ExN	0.00193	0.00259	0.00308	0.00329	0.00302	0.0017
	Ey	0.00111	0.00121	0.00122	0.00113	0.0009	0.00048
	EyP	0.00018	0.00026	0.00032	0.00035	0.00034	0.0002
	EyN	0.00121	0.00136	0.00141	0.00134	0.0011	0.0006
$\delta_{i,max} / h_i$	Ex	0.00407	0.00541	0.0064	0.00682	0.00623	0.0035
	ExP	0.00364	0.00479	0.00563	0.00595	0.0054	0.00302
	ExN	0.00449	0.00603	0.00718	0.00769	0.00706	0.00397
	Ey	0.00258	0.00282	0.00284	0.00264	0.00211	0.00111
	EyP	0.00042	0.0006	0.00074	0.00082	0.00078	0.00046
	EyN	0.00283	0.00318	0.00329	0.00313	0.00258	0.00139

Modellerdeki en kritik göreli kat öteleme yüklemesine ait x ve y yönündeki değerler model 1, model 2 ve model 3 için Şekil 4.12-13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.12 X yönündeki etkin göreli kat öteleme değerleri



Şekil 4.13 Y yönündeki etkin göreli kat öteleme değerleri

4.2.2.3 İkinci Mertebe Etkilerin Hesaplanması

TBDY Bölüm 4.9'da da ifade edildiği gibi yapıdaki yerdeğiştirmelerin mertebesinin bir ölçüsü olan ikinci mertebe etkiler binalardaki her bir katta dikkate alınan deprem doğrultusunda denklem 4.2'ye göre hesaplanmaktadır.

$$\theta_{\mathrm{II,i}}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(x)})_{ort} \ \Sigma_{k=i}^{N} w_k}{V_i^{(X)} \ h_i} \tag{4.2}$$

Her kat için hesaplanan değerler, denklem 4.3'te verilen sınır şartını sağlamalıdır. Bu şart sağlanmadığı taktirde iç kuvvetler ikinci mertebe büyütme katsayısı ile çarpılarak büyütülmelidir. Denklem 4.3'te verilen taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışını ifade eden C_h değeri betonarme binalar için 0.5 alınmaktadır (TBDY, 2018).

$$\theta_{\mathrm{II,max}}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \tag{4.3}$$

Modellere ait ikinci mertebe etki değerleri x ve y yönleri için Tablo 21-23'te gösterilmiştir. Binaların y yönündeki ortalama yerdeğiştirme değerleri aynı hesaplandığı için (simetriden dolayı) y yönünde tek yükleme için gösterilmiştir. Sonuçlar, maksimum değerleri aşmamıştır.

Tablo 4.21 Model 1'e ait ikinci mertebe etkilerin kontrolü

ExÜ								
Kat	h_i	$w_{k,i}$	Σw_k	$\Delta_{i,ort\ (m)}$	$F_{iE}^{(X)}$	$V_i^{(X)}$	$\theta_{II,i}^{(X)}$	$\leq 0.12\ (D/C_hR)$
5	3	166.76	166.76	0.00133	317.51	317.51	0.00228	0.0857
4	3	192.2	358.96	0.00161	259.36	576.87	0.00328	0.0857
3	3	192.2	551.16	0.00178	194.52	771.39	0.00415	0.0857
2	3	192.2	743.36	0.00174	129.68	901.07	0.00468	0.0857
1	3	192.2	935.56	0.00141	64.84	965.91	0.00447	0.0857
ExÜP								
Kat	h_i	$w_{k,i}$	Σw_k	$\Delta_{i,ort\ (m)}$	$F_{iE}^{(X)}$	$V_i^{(X)}$	$\theta_{II,i}^{(X)}$	$\leq 0.12\ (D/C_hR)$
5	3	166.76	166.76	0.00127	317.51	317.51	0.00218	0.0857
4	3	192.2	358.96	0.00153	259.36	576.87	0.00311	0.0857
3	3	192.2	551.16	0.00167	194.52	771.39	0.00391	0.0857
2	3	192.2	743.36	0.00163	129.68	901.07	0.00439	0.0857
1	3	192.2	935.56	0.00134	64.84	965.91	0.00423	0.0857
ExÜN								
Kat	h_i	$w_{k,i}$	Σw_k	$\Delta_{i,ort\ (m)}$	$F_{iE}^{(X)}$	$V_i^{(X)}$	$\theta_{II,i}^{(X)}$	$\leq 0.12\ (D/C_hR)$
5	3	166.76	166.76	0.00138	317.51	317.51	0.00238	0.0857
4	3	192.2	358.96	0.00169	259.36	576.87	0.00345	0.0857
3	3	192.2	551.16	0.00188	194.52	771.39	0.00439	0.0857
2	3	192.2	743.36	0.00184	129.68	901.07	0.00497	0.0857
1	3	192.2	935.56	0.00149	64.84	965.91	0.00471	0.0857
EyÜ								
Kat	h_i	$w_{k,i}$	Σw_k	$\Delta_{i,ort\ (m)}$	$F_{iE}^{(Y)}$	$V_i^{(Y)}$	$\theta_{II,i}^{(Y)}$	$\leq 0.12\ (D/C_hR)$
5	3	166.76	166.76	0.00112	252.713	252.713	0.00242	0.0857
4	3	192.2	358.96	0.00121	206.431	459.144	0.00308	0.0857
3	3	192.2	551.16	0.0012	154.823	613.967	0.00353	0.0857
2	3	192.2	743.36	0.00109	103.215	717.182	0.00368	0.0857
1	3	192.2	935.56	0.0009	51.6077	768.79	0.0036	0.0857

Tablo 4.22 Model 2'ye ait ikinci mertebe etkilerin kontrolü

Ex								
Kat	**h_i**	**$w_{k,i}$**	**Σw_k**	**$\Delta_{i,ort\ (m)}$**	**$F_{iE}^{(X)}$**	**$V_i^{(X)}$**	**$\theta_{II,i}^{(X)}$**	**$\leq 0.12\ (D/C_hR)$**
5	3	166.76	166.76	0.00132	374.472	374.472	0.00193	0.0857
4	3	192.2	358.96	0.00162	268.226	642.698	0.00295	0.0857
3	3	192.2	551.16	0.00174	201.17	843.867	0.00371	0.0857
2	3	192.2	743.36	0.00161	134.113	977.98	0.004	0.0857
1	3	192.2	935.56	0.00095	67.0565	1045.04	0.00279	0.0857
ExP								
Kat	**h_i**	**$w_{k,i}$**	**Σw_k**	**$\Delta_{i,ort\ (m)}$**	**$F_{iE}^{(X)}$**	**$V_i^{(X)}$**	**$\theta_{II,i}^{(X)}$**	**$\leq 0.12\ (D/C_hR)$**
5	3	166.76	166.76	0.00126	374.472	374.472	0.00183	0.0857
4	3	192.2	358.96	0.00152	268.226	642.698	0.00278	0.0857
3	3	192.2	551.16	0.00162	201.17	843.867	0.00346	0.0857
2	3	192.2	743.36	0.00149	134.113	977.98	0.00371	0.0857
1	3	192.2	935.56	0.00089	67.0565	1045.04	0.00261	0.0857
ExN								
Kat	**h_i**	**$w_{k,i}$**	**Σw_k**	**$\Delta_{i,ort\ (m)}$**	**$F_{iE}^{(X)}$**	**$V_i^{(X)}$**	**$\theta_{II,i}^{(X)}$**	**$\leq 0.12\ (D/C_hR)$**
5	3	166.76	166.76	0.00139	374.472	374.472	0.00203	0.0857
4	3	192.2	358.96	0.00171	268.226	642.698	0.00313	0.0857
3	3	192.2	551.16	0.00185	201.17	843.867	0.00396	0.0857
2	3	192.2	743.36	0.00172	134.113	977.98	0.00428	0.0857
1	3	192.2	935.56	0.00102	67.0565	1045.04	0.00297	0.0857
Ey								
Kat	**h_i**	**$w_{k,i}$**	**Σw_k**	**$\Delta_{i,ort\ (m)}$**	**$F_{iE}^{(Y)}$**	**$V_i^{(Y)}$**	**$\theta_{II,i}^{(Y)}$**	**$\leq 0.12\ (D/C_hR)$**
5	3	166.76	166.76	0.00108	310.37	310.37	0.0019	0.0857
4	3	192.2	358.96	0.00116	222.312	532.682	0.00255	0.0857
3	3	192.2	551.16	0.00111	166.734	699.416	0.00286	0.0857
2	3	192.2	743.36	0.00091	111.156	810.572	0.00274	0.0857
1	3	192.2	935.56	0.0005	55.578	866.15	0.00175	0.0857

Tablo 4.23 Model 3'e ait ikinci mertebe etkilerin kontrolü

Ex								
Kat	h_i	$w_{k,i}$	Σw_k	$\Delta_{i,ort\ (m)}$	$F_{iE}^{(X)}$	$V_i^{(X)}$	$\theta_{II,i}^{(X)}$	$\leq 0.12\ (D/C_hR)$
6	3	166.76	166.76	0.00125	282.988	282.988	0.00241	0.0857
5	3	192.2	358.96	0.00154	229.775	512.762	0.00353	0.0857
4	3	192.2	551.16	0.00173	183.82	696.582	0.00447	0.0857
3	3	192.2	743.36	0.00177	137.865	834.447	0.00516	0.0857
2	3	192.2	935.56	0.00158	91.9099	926.357	0.00521	0.0857
1	3	192.2	1127.76	0.00091	45.955	972.312	0.00346	0.0857
ExP								
Kat	h_i	$w_{k,i}$	Σw_k	$\Delta_{i,ort\ (m)}$	$F_{iE}^{(X)}$	$V_i^{(X)}$	$\theta_{II,i}^{(X)}$	$\leq 0.12\ (D/C_hR)$
6	3	166.76	166.76	0.0012	282.988	282.988	0.00231	0.0857
5	3	192.2	358.96	0.00147	229.775	512.762	0.00336	0.0857
4	3	192.2	551.16	0.00163	183.82	696.582	0.00422	0.0857
3	3	192.2	743.36	0.00166	137.865	834.447	0.00482	0.0857
2	3	192.2	935.56	0.00147	91.9099	926.357	0.00485	0.0857
1	3	192.2	1127.76	0.00086	45.955	972.312	0.00324	0.0857
ExN								
Kat	h_i	$w_{k,i}$	Σw_k	$\Delta_{i,ort\ (m)}$	$F_{iE}^{(X)}$	$V_i^{(X)}$	$\theta_{II,i}^{(X)}$	$\leq 0.12\ (D/C_hR)$
6	3	166.76	166.76	0.0013	282.988	282.988	0.00251	0.0857
5	3	192.2	358.96	0.00162	229.775	512.762	0.00371	0.0857
4	3	192.2	551.16	0.00183	183.82	696.582	0.00474	0.0857
3	3	192.2	743.36	0.00189	137.865	834.447	0.00549	0.0857
2	3	192.2	935.56	0.00169	91.9099	926.357	0.00557	0.0857
1	3	192.2	1127.76	0.00097	45.955	972.312	0.00368	0.0857
Ey								
Kat	h_i	$w_{k,i}$	Σw_k	$\Delta_{i,ort\ (m)}$	$F_{iE}^{(Y)}$	$V_i^{(Y)}$	$\theta_{II,i}^{(Y)}$	$\leq 0.12\ (D/C_hR)$
6	3	166.76	166.76	0.00111	231.917	231.917	0.0026	0.0857
5	3	192.2	358.96	0.00121	188.308	420.225	0.00337	0.0857
4	3	192.2	551.16	0.00122	150.646	570.871	0.00385	0.0857
3	3	192.2	743.36	0.00113	112.985	683.855	0.00402	0.0857
2	3	192.2	935.56	0.0009	75.323	759.178	0.00364	0.0857
1	3	192.2	1127.76	0.00048	37.6615	796.84	0.00221	0.0857

4.2.3 Mod Birleştirme Yöntemiyle Deprem Hesabının Yapılması

TBDY 2018'e göre mod birleştirme yönteminin hesabı için bodrumlu binalar ile bodrumu olmayan binalar arasında farklılıklar vardır. Bodrumu olmayan binalarda tek yüklemeli hesap uygulanırken bodrumlu binalarda iki yüklemeli hesap uygulanmaktadır. Bu sebeple sayısal çalışmamızdaki bodrumlu binanın mod birleştirme yöntemiyle deprem hesabında 2 farklı modelde ayrı ayrı deprem hesabı yapılarak ortak sistemde birleştirilmiştir.

Birinci yükleme durumunda, ortak sistem modelinde yalnızca üst bölüme ait kütle ve yükler dikkate alınarak hesap yapılmıştır. Bu hesapta yeterli titreşim modu sayısı, yalnızca üst bölümün kütleleri dikkate alınarak hesaplanan etkin kütle katılım oranlarına göre belirlenmiştir. Hesapta üst bölüm için seçilen $R_{üst}$ ve $D_{üst}$ katsayılarına göre hesaplanan $(R_a)_{m,üst}$ katsayısı kullanılmıştır. Model 1'in üst bölümüne ait periyot ve kütle katılım oranları Tablo 4.24'te gösterilmiştir.

Tablo 4.24 Model 1'in üst bölümüne ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot (s)	Kütle Katılım Oranları (%)				
		UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY
1	0.53085	33.89	0.00	45.71	33.89	0.00
2	0.3884	0.00	76.10	0.00	33.89	76.10
3	0.31514	44.22	0.00	34.00	78.11	76.10
4	0.15485	5.11	0.00	6.86	83.22	76.10
5	0.09392	0.00	16.78	0.00	83.22	92.88
6	0.08618	10.17	0.00	5.35	93.39	92.88
7	0.07854	1.33	0.00	2.88	94.72	92.88
8	0.06555	0.00	0.04	0.00	94.72	92.92
9	0.06091	0.00	0.08	0.00	94.72	93.00
10	0.06009	0.09	0.00	0.00	94.81	93.00
11	0.0552	0.00	0.25	0.00	94.81	93.25
12	0.04885	1.08	0.00	0.29	95.89	93.25
13	0.04658	0.00	0.33	0.00	95.89	93.58
14	0.04387	0.00	3.41	0.00	95.89	96.98
15	0.04373	1.62	0.00	1.13	97.51	96.98
16	0.03042	0.88	0.00	0.10	98.39	96.98
17	0.03015	0.00	1.13	0.00	98.39	98.11
18	0.02306	0.00	0.34	0.00	98.39	98.46
19	0.0095	1.15	0.00	0.03	99.54	98.46
20	0.00779	0.00	1.35	0.00	99.54	99.81

İkinci yükleme durumunda, ortak sistem modelinde yalnızca alt bölüme ait kütle ve yükler dikkate alınarak hesap yapılmıştır. Bu hesapta yeterli titreşim modu sayısı, yalnızca alt bölümün kütleleri dikkate alınarak hesaplanan etkin kütle katılım oranlarına göre belirlenmiştir. Hesapta alt bölüm için $R_{alt}/I=2.5$ ve $D_{alt}=1.5$ alınarak $(R_a)_{n,alt}$ katsayısı kullanılmıştır. Model 1'in alt bölümüne ait periyot ve kütle katılım oranları Tablo 4.25'te gösterilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere en büyük kütle katılım x doğrultusunda 17. modda, y doğrultusunda 21.

modda olmuştur. Buna göre hakim titreşim periyodu, x yönü için 0.024 s, y yönü için 0.023 s olarak hesaplanmıştır.

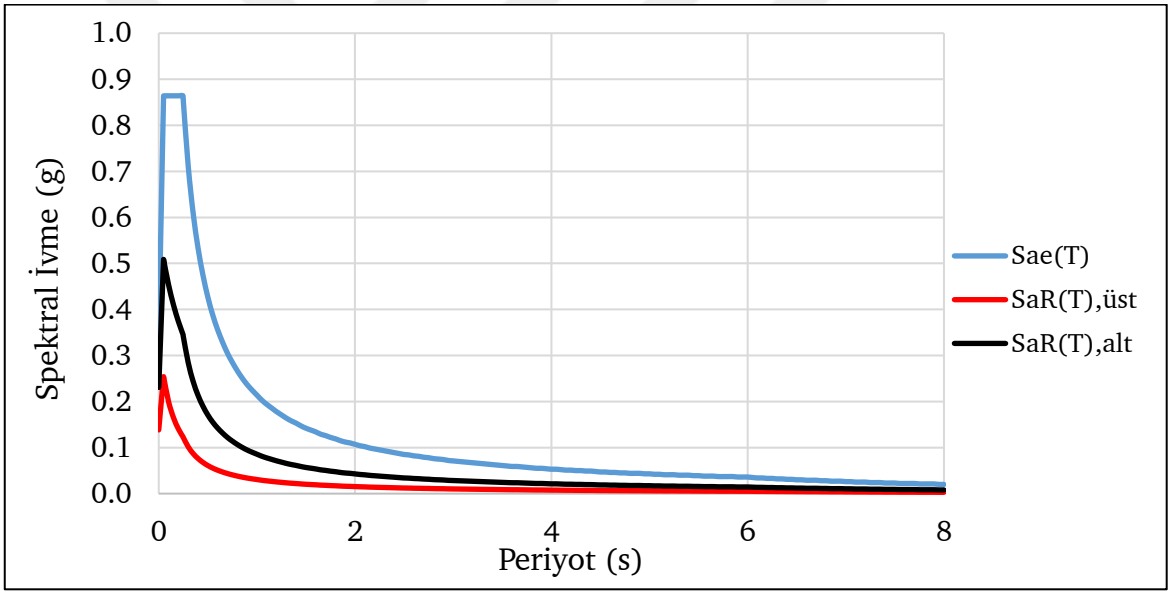
Tablo 4.25 Model 1'in alt bölümüne ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot	Kütle Katılım Oranları (%)				
	(s)	UX	UY	RZ	ΣUX	ΣUY
1	0.05375	0	0.014	0	0	0.014
....	....	....	....	....	....	....
17	0.02455	79.789	0	0.225	80.024	2.176
18	0.02428	7.859	0	0.041	87.883	2.176
19	0.02417	0	5.301	0	87.883	7.476
20	0.02375	0.718	0	0.00151	88.601	7.476
21	0.02368	0	78.484	0	88.601	85.961
22	0.02277	0	0.576	0	88.601	86.537
23	0.02127	0.027	0	0.043	88.628	86.537
24	0.02065	0	0.743	0	88.628	87.279
25	0.01933	0.232	0	1.07	88.861	87.279
26	0.01845	0	0.233	0	88.861	87.512
27	0.01808	0.212	0	69.653	89.072	87.512
28	0.01561	0.086	0	0.602	89.158	87.512
29	0.0156	0	0.329	0	89.158	87.841
30	0.01354	0.578	0	0.128	89.737	87.841
31	0.01333	0	0.714	0	89.737	88.555
32	0.01088	0.338	0	0.058	90.075	88.555
33	0.00994	0	1.149	0	90.075	89.704
34	0.0087	2.335	0	0.11	92.41	89.704
35	0.0079	0	3.901	0	92.41	93.604
36	0.00733	2.074	0	0.027	94.484	93.604
37	0.00518	0	3.815	0	94.484	97.42
38	0.00482	3.948	0	0.015	98.431	97.42

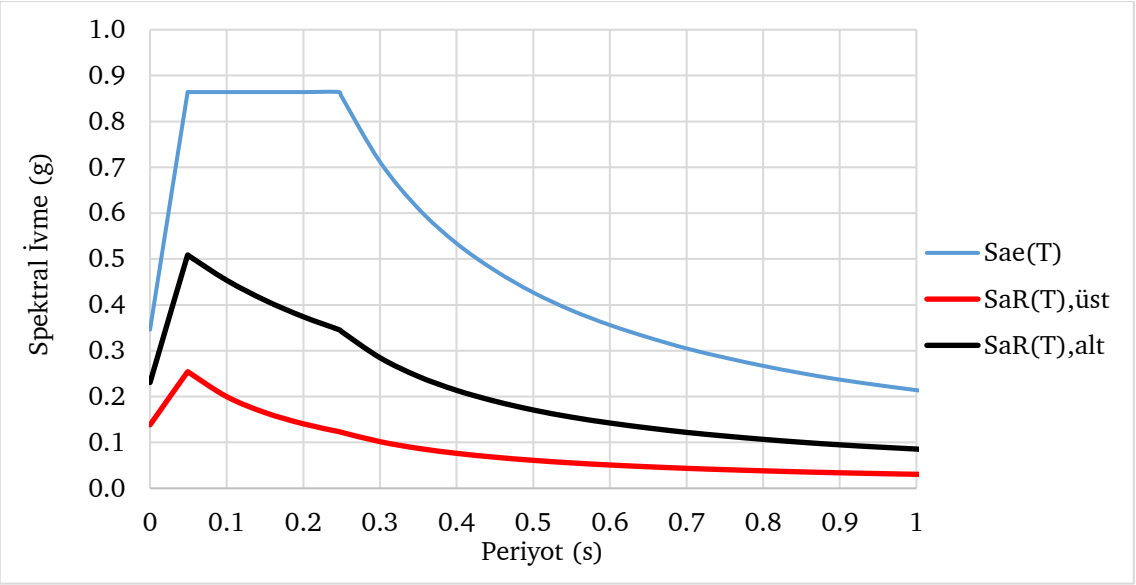
Model 1'de üst bölüm ve alt bölümde DD-2 deprem yer hareketi için 2 farklı azaltılmış tasarım ivme spektrumu ilgili modellerde uygulanmıştır. Model 1'in üst bölümüne uygulanan spektrum, parametrelerin aynı olması sebebiyle model 2 (bodrumsuz 5 katlı) ve model 3'te de (bodrumsuz 6 katlı) kullanılmıştır. AFAD'ın sitesinden alınan elastik tasarım ivme spektrumu, $S_{ae}(T)$ ve üst ile alt bölüm için bulunan azaltılmış tasarım ivme spektrumu, $S_{aR}(T)$ değerleri Tablo 4.26'da verilmiş ve Şekil 4.14 ile 4.15'te birlikte gösterilmiştir.

Tablo 4.26 Üst ve alt bölüm için hesaplanan azaltılmış tasarım ivme spektrum değerleri

T (s)	S_{ae}(g)	Üst Bölüm		Alt Bölüm	
		R_a	S_{aR}(g)	R_a	S_{aR}(g)
0.000	0.346	2.5	0.1384	1.5	0.23067
0.049	0.864	3.4008	0.25406	1.69838	0.50872
0.050	0.864	3.41093	0.2533	1.70243	0.50751
0.100	0.864	4.32186	0.19991	1.90486	0.45358
0.150	0.864	5.23279	0.16511	2.10729	0.41001
0.200	0.864	6.14373	0.14063	2.30972	0.37407
0.247	0.864	7.00405	0.12336	2.5	0.3456
0.250	0.854	7	0.122	2.5	0.3416
0.300	0.712	7	0.10171	2.5	0.2848
….	….	….	….	….	….
8.000	0.020	7	0.00286	2.5	0.008

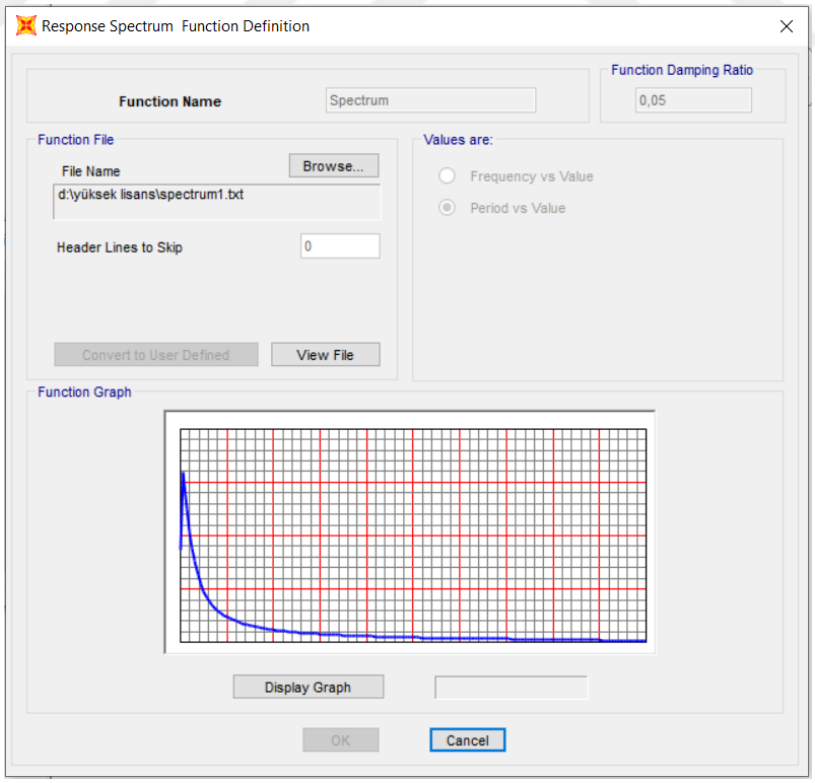


Şekil 4.14 Modellerde uygulanan spektrumlar

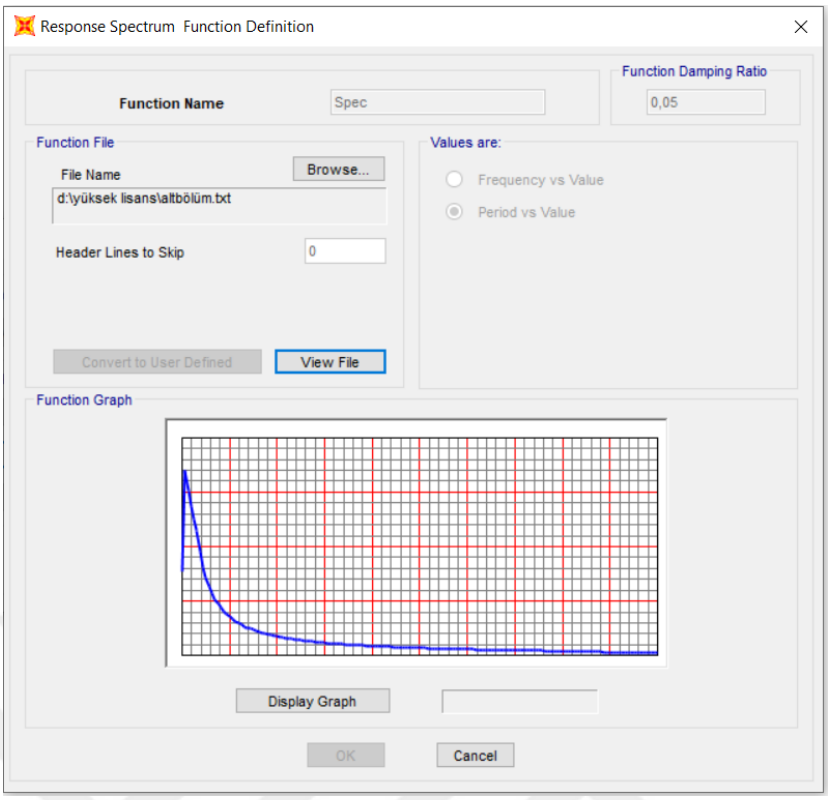


Şekil 4.15 0-1 saniye arası spektrum grafikleri

SAP2000 yazılımında oluşturulan binalar için model 1'in üst bölümü, model 2 ve model 3'te $S_{aR}(T)$, üst spektral ivme değerleri, model 1'in alt bölümünde ise $S_{aR}(T)$, alt spektral ivme değerleri uygulanmıştır. Uygulanan spektrum değerleri Şekil 4.16-17'de gösterilmiştir.

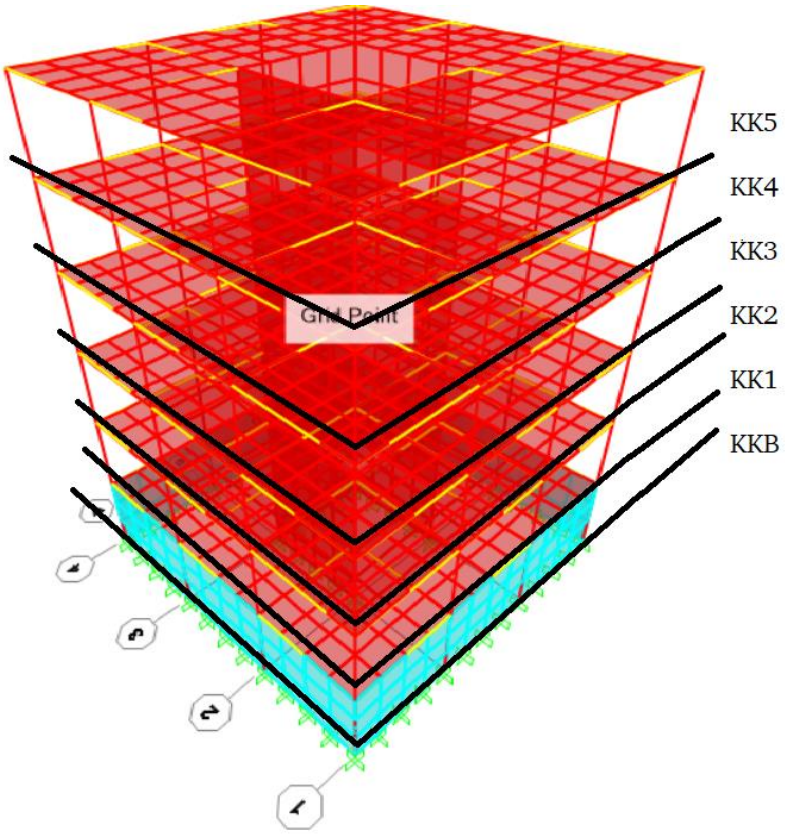


Şekil 4.16 Model 1'in üst bölümü, model 2 ve model 3'te uygulanan spektrum



Şekil 4.17 Model 1'in alt bölümünde uygulanan spektrum

Model 1'in birinci yükleme durumunda, üst bölüme ait spektrum yalnızca üst bölümün kütlesi dikkate alınarak uygulanmıştır. Bunun sonucunda hem üstte hem de alt bölümde kat kesme kuvvetleri, burulma ve devrilme momentleri bulunmuştur. KK1, KK2 vb. ifadeler, SAP2000 yazılımında oluşturulan katların seviyesindeki değerleri ifade etmektedir. Kat seviyelerine ait görsel Şekil 4.18'de gösterilmektedir. Elde edilen değerler, Tablo 4.27'de verilmektedir.



Şekil 4.18 Kat seviyelerinde tanımlanan kesitlerin yerleri

Tablo 4.27 Model 1'in üst bölümüne ait kat kuvvetleri

Kat	Yükleme	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
KKB	ExSpec	516.27	0	0	0	5921.82	2581.55
KKB	EySpec	0	660.389	52.21	7486.77	0	194.56
KK1	ExSpec	514	0	0	0	4156.25	2531.94
KK1	EySpec	0	658.36	52.15	5230.16	0	184.33
KK2	ExSpec	441.29	0	0	0	2980.5	2266.75
KK2	EySpec	0	566.62	51.83	3763.22	0	148.9
KK3	ExSpec	370.68	0	0	0	1918.8	1884.46
KK3	EySpec	0	469.75	47.58	2480.46	0	107.75
KK4	ExSpec	300.42	0	0	0	961.73	1508.07
KK4	EySpec	0	385.7	36.96	1300.93	0	69.9
KK5	ExSpec	183.96	0	0	0	252.95	981.3
KK5	EySpec	0	259.68	20.12	348.95	0	36.93

Model 1'in ikinci yükleme durumunda, alt bölüme ait spektrum yalnızca alt bölümün kütlesi dikkate alınarak uygulanmıştır. Bunun sonucunda sadece alt bölümde kat kesme kuvvetleri, burulma ve devrilme momentleri bulunmuştur. Bu değerler Tablo 4.28'de verilmiştir.

Tablo 4.28 Model 1'in alt bölümüne ait kat kuvvetleri

Kat	Yükleme	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
KKB	ExSpec	834.410	238.202	4.696	430.273	1466.208	438.006
KKB	EySpec	250.323	794.006	15.652	1434.243	439.862	177.890
KK1	ExSpec	0	0	0	0	0	0
KK1	EySpec	0	0	0	0	0	0
KK2	ExSpec	0	0	0	0	0	0
KK2	EySpec	0	0	0	0	0	0
KK3	ExSpec	0	0	0	0	0	0
KK3	EySpec	0	0	0	0	0	0
KK4	ExSpec	0	0	0	0	0	0
KK4	EySpec	0	0	0	0	0	0
KK5	ExSpec	0	0	0	0	0	0
KK5	EySpec	0	0	0	0	0	0

Uygulanan spektrumlara göre model 2 ve model 3'e ait kat kesme kuvvetleri, burulma ve devrilme momentleri ise Tablo 4.29-30'da belirtilmiştir.

Tablo 4.29 Model 2'ye ait kat kuvvetleri

Kat	Yükleme	F1(kN)	F2 (kN)	F3 (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
KK1	ExSpec	577.89	0	0	0	4771.26	2686.36
KK1	EySpec	0	736.21	59.56	5900.41	0	177.7
KK2	ExSpec	508.63	0	0	0	3396.11	2431.32
KK2	EySpec	0	648.23	60.23	4217.57	0	146.28
KK3	ExSpec	428.5	0	0	0	2161.4	2030.09
KK3	EySpec	0	534.54	56.59	2770.96	0	106.52
KK4	ExSpec	342.37	0	0	0	1074.01	1604.98
KK4	EySpec	0	431.21	44.73	1466	0	68.72
KK5	ExSpec	209.12	0	0	0	279.7	1064.31
KK5	EySpec	0	291.37	25.05	405.91	0	35.71

Tablo 4.30 Model 3'e ait kat kuvvetleri

Kat	Yükleme	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
KK1	ExSpec	560.11	0	0	0	5323.57	2609.5
KK1	EySpec	0	720.64	51.13	6661.24	0	194.63
KK2	ExSpec	494.44	0	0	0	4064.99	2414.84
KK2	EySpec	0	642.32	50.4	5076.23	0	165.52
KK3	ExSpec	423.65	0	0	0	2928.94	2102.94
KK3	EySpec	0	542.26	46.97	3717.39	0	128.73
KK4	ExSpec	365.12	0	0	0	1870.55	1764.23
KK4	EySpec	0	457.56	43.64	2483.45	0	92.8
KK5	ExSpec	294.29	0	0	0	925.62	1456.16
KK5	EySpec	0	384.54	37.07	1312.36	0	60.23
KK6	ExSpec	183.32	0	0	0	235.64	988.01
KK6	EySpec	0	264.87	20.43	353.35	0	32.44

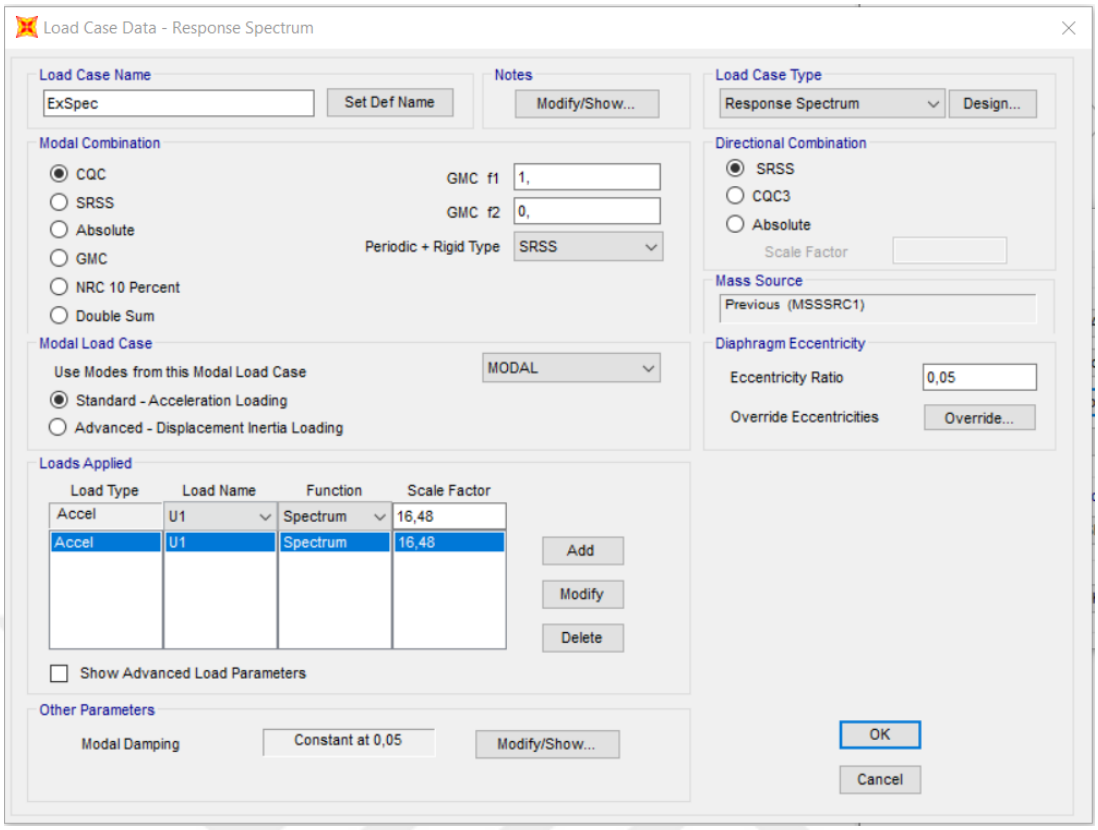
TBDY bölüm 4.8.4 ‘e göre herhangi bir yöndeki mod birleştirme yöntemi ile bulunan toplam taban kesme kuvveti, Eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan kuvvetten daha az olursa mod birleştirme ile bulunan kuvvet, eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı $ß_{tE}^{(X)}$ ile arttırılacaktır (Denklem 4.4).

$$\beta_{\mathrm{tE}}^{(X)} = \frac{\gamma_e \, V_{\mathrm{tE}}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} \geq 1 \qquad (4.4)$$

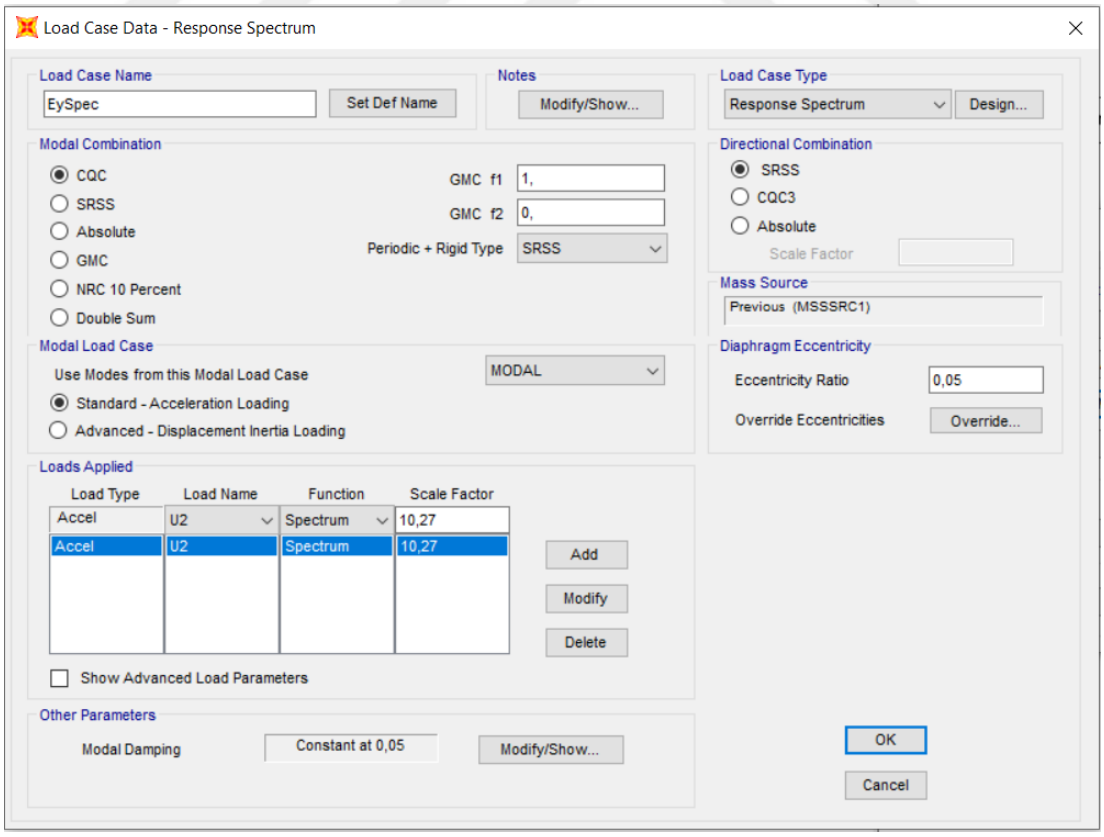
Tez kapsamında modellenen binalarda A1 düzensizliği bulunduğu için γ_E katsayısı 0.9 alınmıştır. Bodrumlu modelde TBDY 2018 gereğince eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı, yalnızca üst bölüm için hesaplanmıştır. Modellere ait eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayı değerleri Tablo 4.31’de gösterilmiştir. Model 3’ün y yönündeki büyütme katsayısı 1’den büyük çıkmadığı için bu yönde düzeltme yapılmamıştır. Bulunan katsayı değerleri SAP2000 sonlu eleman yazılımında mod birleştirme yönteminin uygulandığı ölçek faktörü olan 9,81 ile çarpılarak yeni taban kesme kuvvetleri ve kat kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Modellerde ölçek faktörü arttırılarak tanımlanan yeni spektrumlar Şekil 4.19-23 oluşan kat kesme kuvvetleri ise Şekil 4.24-25’te gösterilmiştir.

Tablo 4.31 Modellere ait eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayıları

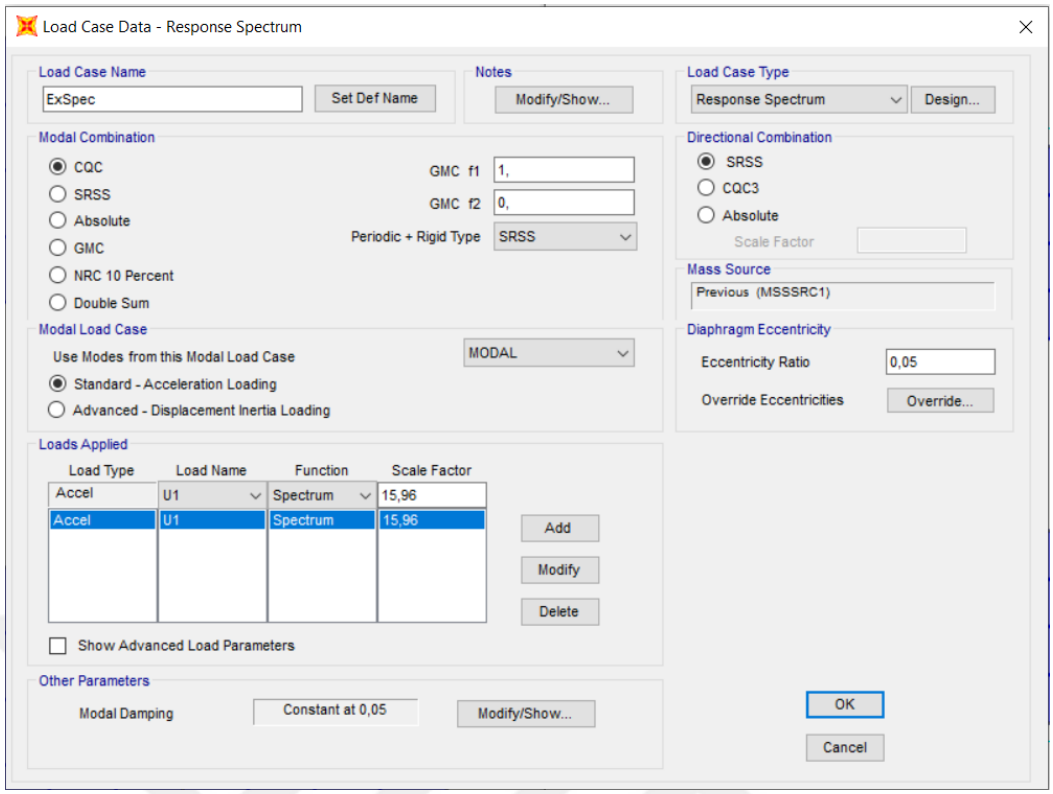
	Model 1		Model 2		Model 3	
	X Yönü	**Y Yönü**	**X Yönü**	**Y Yönü**	**X Yönü**	**Y Yönü**
V_{tE} (kN)	965.91	768.79	1045.04	866.15	972.31	796.84
V_{tx} (kN)	516.27	660.38	577.89	736.21	560.11	720.64
γ_E	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
β_{tE}	1.68385	1.04775	1.62753	1.05885	1.56233	0.99517



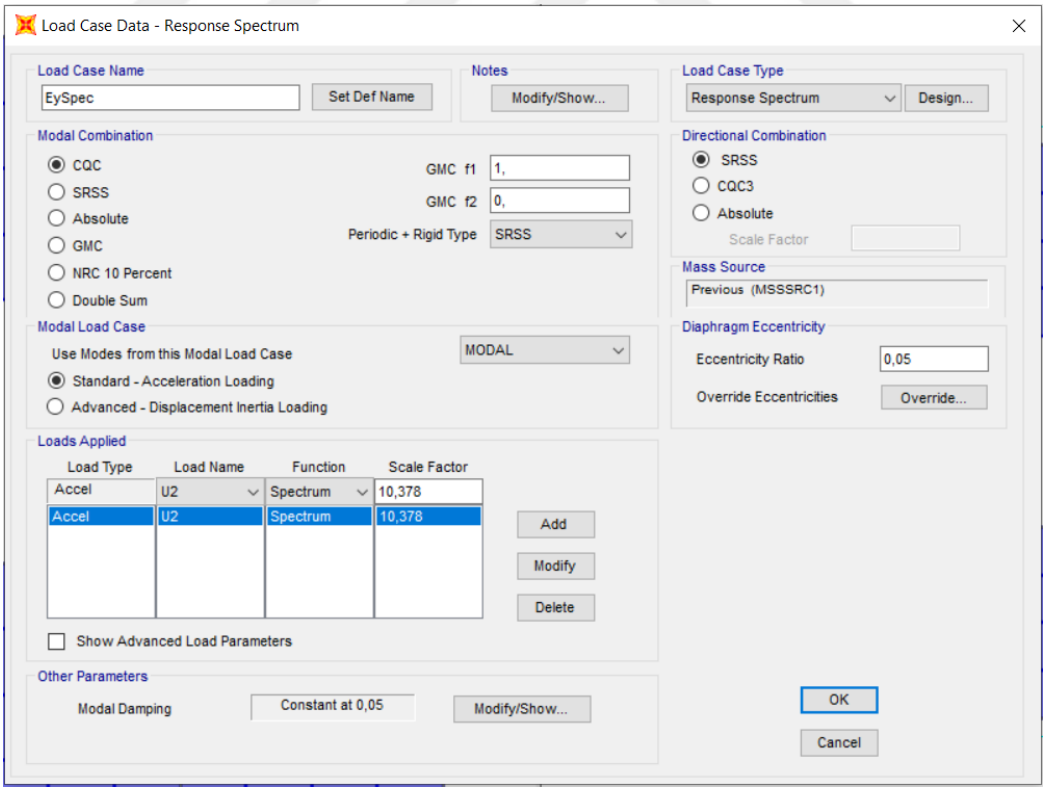
Şekil 4.19 Model 1'de x yönü için tanımlanan yeni spektrum



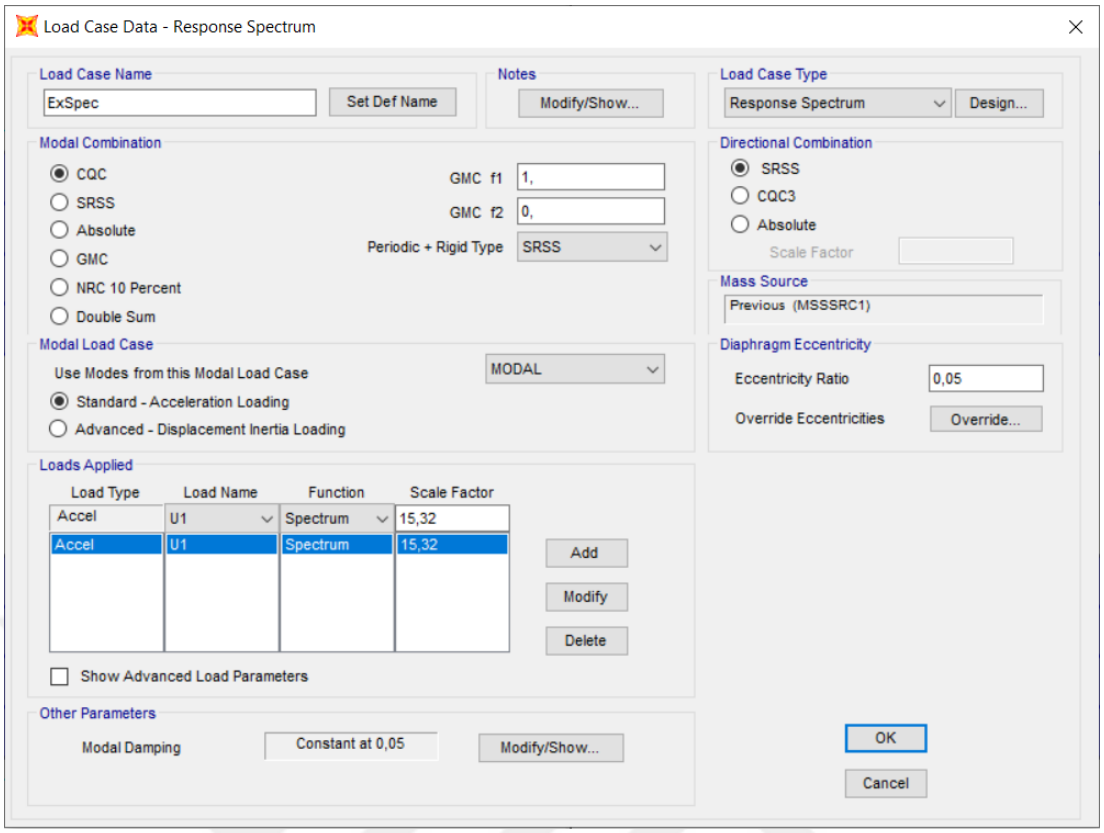
Şekil 4.20 Model 1'de y yönü için tanımlanan yeni spektrum



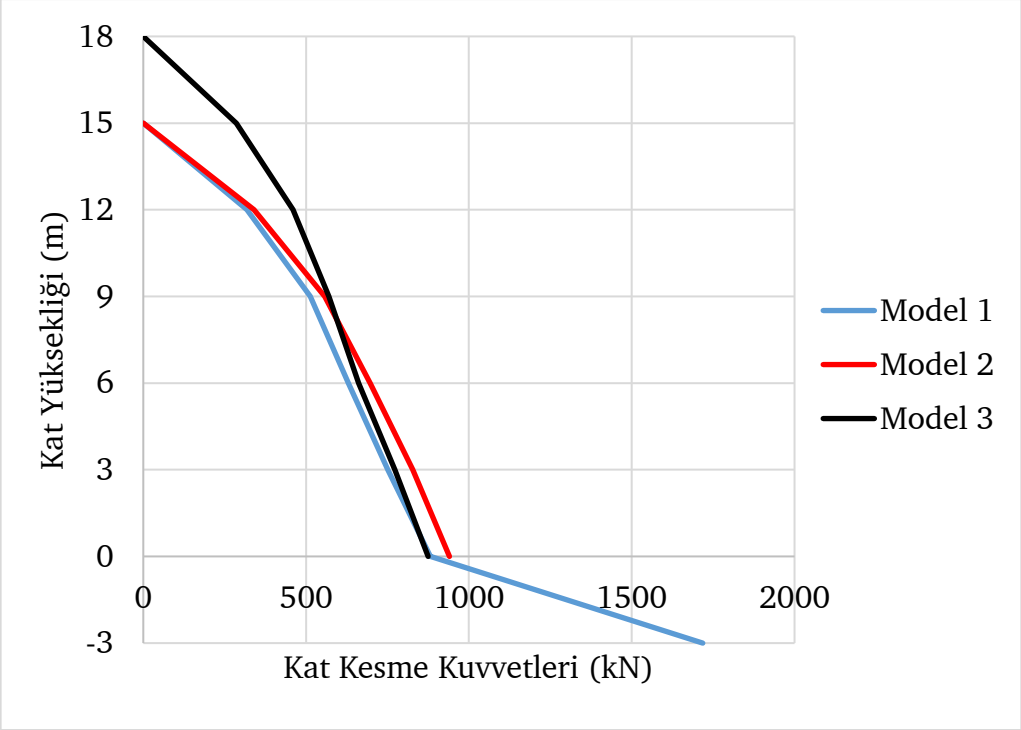
Şekil 4.21 Model 2'de x yönü için tanımlanan yeni spektrum



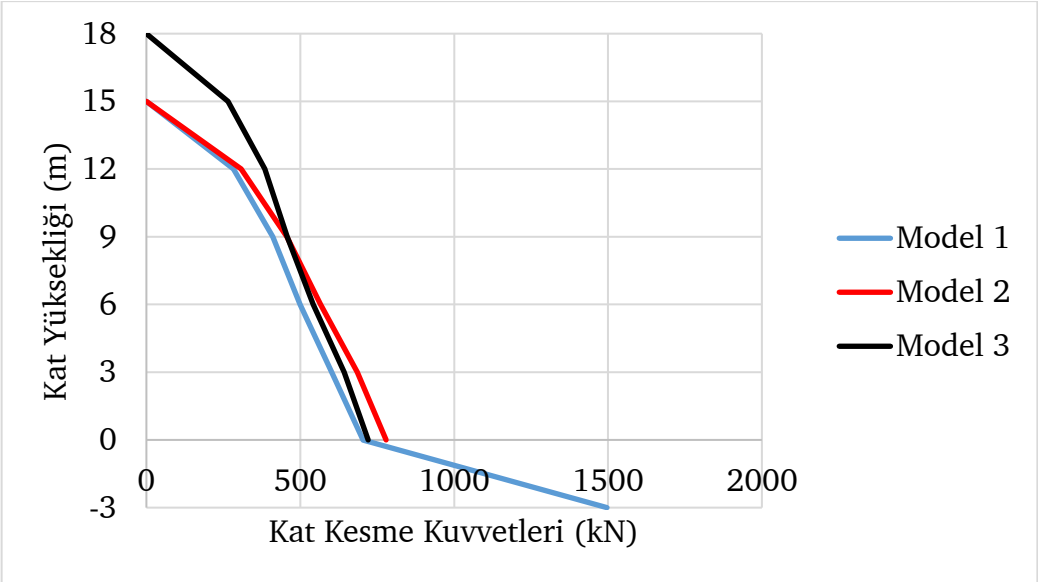
Şekil 4.22 Model 2'de y yönü için tanımlanan yeni spektrum



Şekil 4.23 Model 3'te x yönü için tanımlanan yeni spektrum



Şekil 4.24 X yönündeki kat kesme kuvveti



Şekil 4.25 Y yönündeki kat kesme kuvvetleri

Kat kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında hem x hem de y yönündeki değerlerde üst katlarda model 1 ile model 2'nin değerleri birbirine yakınken alt katlarda model 1 ile model 3'ün değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bodrum katın kat kesme kuvvet değeri bulunurken üst katın bodrum etkisi ile alt katın etkisi toplanarak hesaplanmıştır.

4.2.4 Yük Birleşimlerinin Tanımlanması

TBDY 2018 bölüm 4.10'a göre binalarda tasarıma esas iç kuvvetler bodrumlu ve bodrumsuz binalar için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu tanımlamaya göre bodrumlu binalarda iç kuvvetler; üst ve alt bölümler için sünek ile sünek olmayan davranışa ait kuvvetler olarak ifade edilirken bodrumsuz binalarda sadece üst bölüm için sünek ve sünek olmayan davranışa ait kuvvetler olarak belirtilmektedir. Bu karışıklığın daha anlaşılabilir olması sebebiyle modellerde uygulanan her 2 deprem yükü yöntemine ait kombinasyonlar (Doran vd., 2019) kitabında tanımlanan kombinasyonlara benzer şekilde aşağıda sırasıyla bahsedilmektedir.

4.2.4.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Yük Birleşimleri

Statik bir analiz yöntemi olan eşdeğer deprem yükü yöntemi için oluşturulan kombinasyonlarda düşey deprem etkisi sabit yük olarak aşağıdaki gibi alınmıştır;

$E_d^{(Z)} = (2/3)\ S_{DS}\ G = (2/3)\ x\ 0.864\ x\ G = 0.576\ G \quad ; \quad 0.3\ E_d^{(Z)} = 0.172\ G$

TBDY bölüm 4.4.4'e göre modellerde tanımlanan tüm kombinasyonlarda x ve y yönü için dikkate alınan dış merkezliğin en büyük olan değeri alınmıştır. Tanımlanan kombinasyonların listesi üst ve alt bölüm için Tablo 4.32-33'te gösterilmiştir.

Tablo 4.32 Üst bölüme ait kombinasyonlar

ÜST BÖLÜM			
Kısaltma	**Sünek Davranış**	**Kısaltma**	**Sünek Olmayan Davranış**
EHX	Max (ExÜP,ExÜN,ExÜ)	**EHXG**	Max [$D_{üst}$ x (ExÜP,ExÜN,ExÜ)]
EHY	Max (EyÜP,EyÜN,EyÜ)	**EHYG**	Max [$D_{üst}$ x (EyÜP,EyÜN,EyÜ)]
C1ü1	1.172G+Q+EHX+0.3EHY	**C1ü1G**	1.172G+Q+EHXG+0.3EHYG
C1ü2	1.172G+Q+EHX-0.3EHY	**C1ü2G**	1.172G+Q+EHXG-0.3EHYG
C1ü3	1.172G+Q-EHX+0.3EHY	**C1ü3G**	1.172G+Q-EHXG+0.3EHYG
C1ü4	1.172G+Q-EHX-0.3EHY	**C1ü4G**	1.172G+Q-EHXG-0.3EHYG
C2ü1	1.172G+Q+EHY+0.3EHX	**C2ü1G**	1.172G+Q+EHYG+0.3EHXG
C2ü2	1.172G+Q+EHY-0.3EHX	**C2ü2G**	1.172G+Q+EHYG-0.3EHXG
C2ü3	1.172G+Q-EHY+0.3EHX	**C2ü3G**	1.172G+Q-EHYG+0.3EHXG
C2ü4	1.172G+Q-EHY-0.3EHX	**C2ü4G**	1.172G+Q-EHYG-0.3EHXG
C3ü1	0.728G+EHX+0.3EHY	**C3ü1G**	0.728G+EHXG+0.3EHYG
C3ü2	0.728G+EHX-0.3EHY	**C3ü2G**	0.728G+EHXG-0.3EHYG
C3ü3	0.728G-EHX+0.3EHY	**C3ü3G**	0.728G-EHXG+0.3EHYG
C3ü4	0.728G-EHX-0.3EHY	**C3ü4G**	0.728G-EHXG-0.3EHYG
C4ü1	0.728G+EHY+0.3EHX	**C4ü1G**	0.728G+EHYG+0.3EHXG
C4ü2	0.728G+EHY-0.3EHX	**C4ü2G**	0.728G+EHYG-0.3EHXG
C4ü3	0.728G-EHY+0.3EHX	**C4ü3G**	0.728G-EHYG+0.3EHXG
C4ü4	0.728G-EHY-0.3EHX	**C4ü4G**	0.728G-EHYG-0.3EHXG

Tablo 4.33 Alt bölüme ait kombinasyonlar

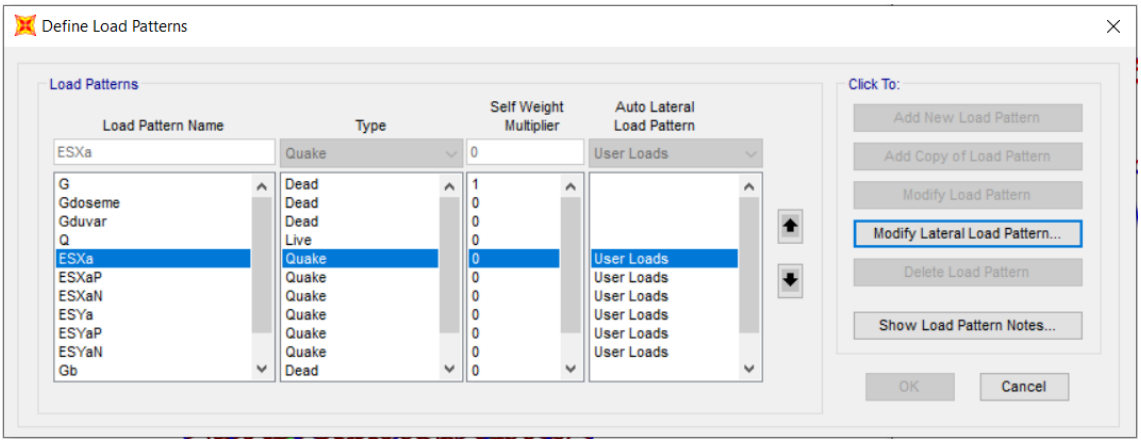
ALT BÖLÜM			
Kısaltma	**Sünek Davranış**	**Kısaltma**	**Sünek Olmayan Davranış**
EHXa	Max (ExAP,ExAN,ExA)	**EHXaG**	Max [D_{alt} x (ExAP,ExAN,ExA)]
EHYa	Max (EyAP,EyAN,EyA)	**EHYaG**	Max [D_{alt} x (EyAP,EyAN,EyA)]
C1a1	C1ü1+EHXa+0.3EHYa	**C1a1G**	0.6 $D_{üst}$ C1ü1+EHXaG+0.3EHYaG
C1a2	C1ü2+EHXa-0.3EHYa	**C1a2G**	0.6 $D_{üst}$ C1ü2+EHXaG-0.3EHYaG
C1a3	C1ü3-EHXa+0.3EHYa	**C1a3G**	0.6 $D_{üst}$ C1ü3-EHXaG+0.3EHYaG
C1a4	C1ü4-EHXa-0.3EHYa	**C1a4G**	0.6 $D_{üst}$ C1ü4-EHXaG-0.3EHYaG
C2a1	C2ü1+EHYa+0.3EHXa	**C2a1G**	0.6 $D_{üst}$ C2ü1+EHYaG+0.3EHXaG
C2a2	C2ü2+EHYa-0.3EHXa	**C2a2G**	0.6 $D_{üst}$ C2ü2+EHYaG-0.3EHXaG
C2a3	C2ü3-EHYa+0.3EHXa	**C2a3G**	0.6 $D_{üst}$ C2ü3-EHYaG+0.3EHXaG
C2a4	C2ü4-EHYa-0.3EHXa	**C2a4G**	0.6 $D_{üst}$ C2ü4-EHYaG-0.3EHXaG
C3a1	C3ü1+EHXa+0.3EHYa	**C3a1G**	0.6 $D_{üst}$ C3ü1+EHXaG+0.3EHYaG
C3a2	C3ü2+EHXa-0.3EHYa	**C3a2G**	0.6 $D_{üst}$ C3ü2+EHXaG-0.3EHYaG
C3a3	C3ü3-EHXa+0.3EHYa	**C3a3G**	0.6 $D_{üst}$ C3ü3-EHXaG+0.3EHYaG
C3a4	C3ü4-EHXa-0.3EHYa	**C3a4G**	0.6 $D_{üst}$ C3ü4-EHXaG-0.3EHYaG
C4a1	C4ü1+EHYa+0.3EHXa	**C4a1G**	0.6 $D_{üst}$ C4ü1+EHYaG+0.3EHXaG
C4a2	C4ü2+EHYa-0.3EHXa	**C4a2G**	0.6 $D_{üst}$ C4ü2+EHYaG-0.3EHXaG
C4a3	C4ü3-EHYa+0.3EHXa	**C4a3G**	0.6 $D_{üst}$ C4ü3-EHYaG+0.3EHXaG
C4a4	C4ü4-EHYa-0.3EHXa	**C4a4G**	0.6 $D_{üst}$ C4ü4-EHYaG-0.3EHXaG

Tablolarda sünek olmayan davranışın kısaltmaları “G” harfiyle ifade edilmiştir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi statik bir yükleme ve yön etkisi olduğu için 32 adet üst bölümde, 32 adet alt bölümde olmak üzere 64 adet kombinasyon tanımlanmıştır. Ayrıca Türk Standartı 500’de (TS500) olan 1.4G+1.6Q kombinasyonu da tanımlanmıştır. Model 1’de tüm kombinasyonlar tanımlanırken model 2 ve 3’te üst bölüm için yazılan kombinasyonlar tanımlanmıştır.

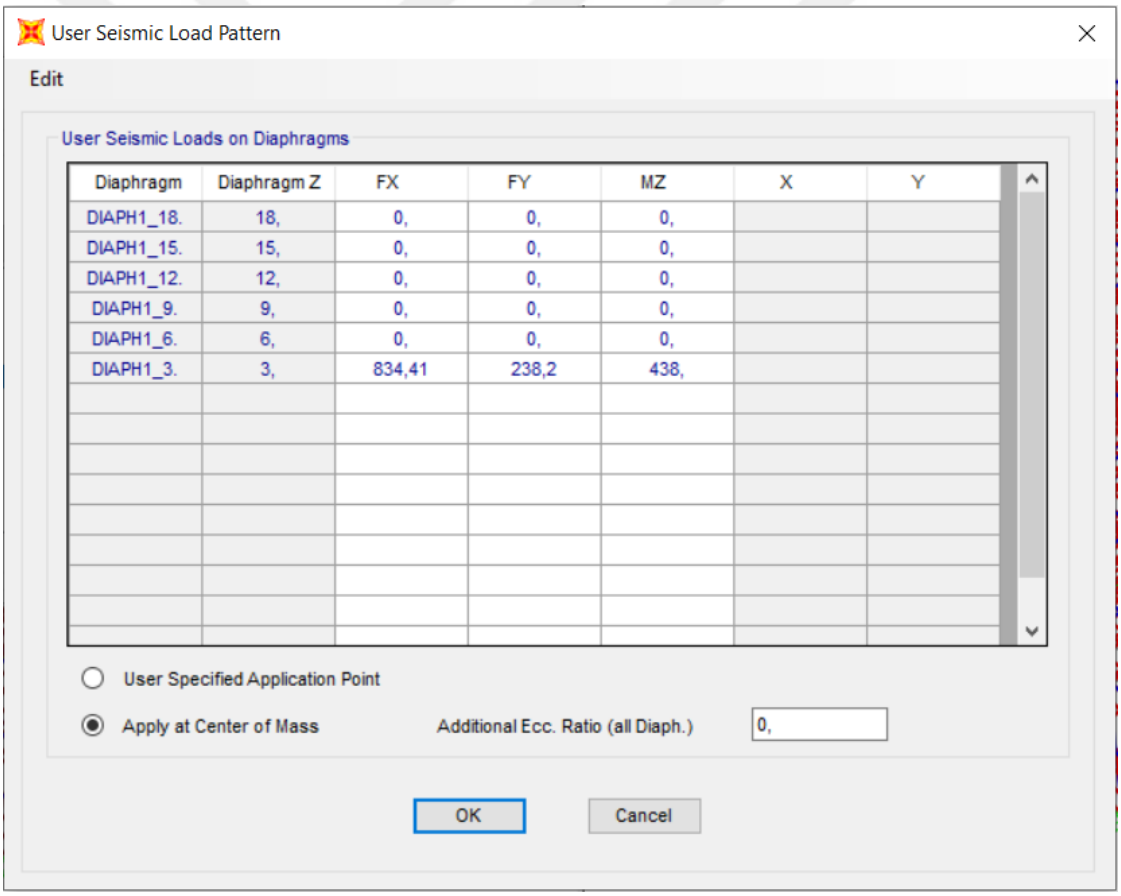
4.2.4.2 Mod Birleştirme Yönteminin Yük Birleşimleri

Tez kapsamındaki binalarda eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için tek model yeterli olmaktaydı. Ancak mod birleştirme yönteminde bu durum geçerli olmamaktadır. Çünkü model 1’de (bodrumlu bina) üst ve alt kısmın analizi 2 farklı modelde ilgili bölümün kütlesi dikkate alınarak yapılmıştır. Bu sebeple farklı bölümlerde oluşan kuvvetlerin birleştirilmesi gerekmektedir. Alt bölümde oluşan kuvvetlerin (Tablo 4.28) dış merkezlik de dikkate alınarak üst bölüme (ESXa, ESXaP, ESXaN, ESYa, ESYaP, ESYaN) aktarılması Şekil 4.26-28’de

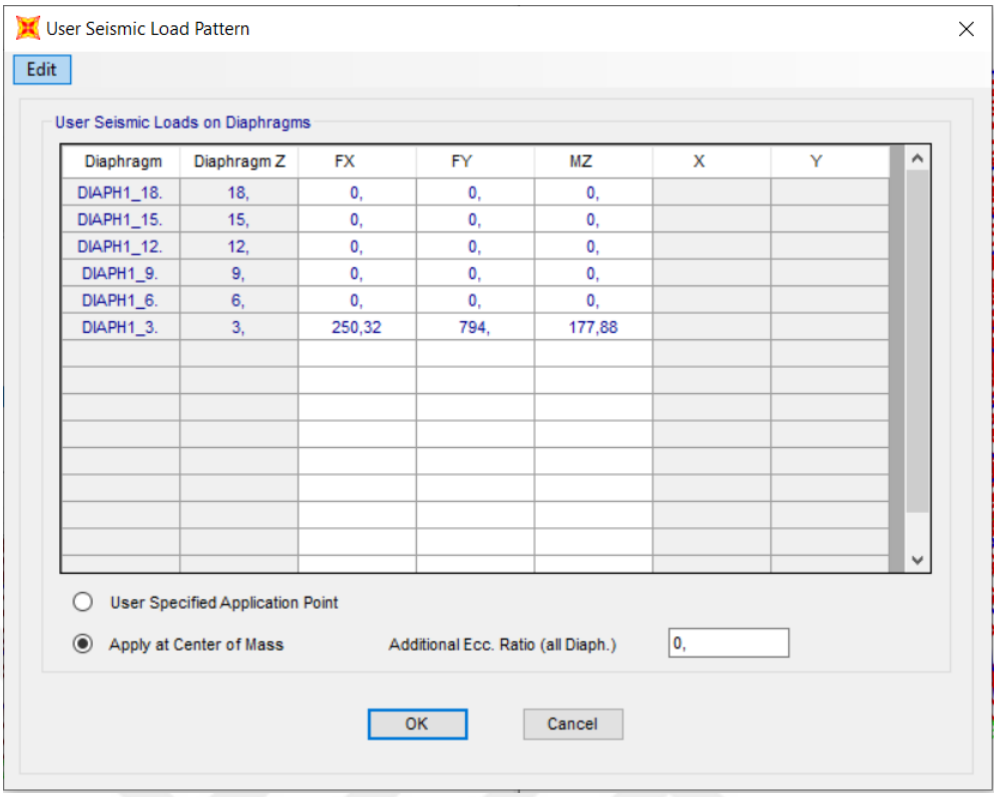
gösterilmiştir. Mod birleştirme yöntemi için modellerde uygulanan yük birleşimleri Tablo 4.34'te gösterilmiştir.



Şekil 4.26 X ve Y yönündeki alt bölümdeki yüklerin gösterimi



Şekil 4.27 X yönündeki kuvvetlerin aktarılması



Şekil 4.28 Y yönündeki kuvvetlerin aktarılması

Tablo 4.34 Üst ve alt bölüme ait kombinasyonlar

ÜST BÖLÜM			
Kısaltma	**Sünek Davranış**	**Kısaltma**	**Sünek Olmayan Davranış**
C1ü	1.172G+Q+ExS+0.3EyS	C1üG	1.172G+Q+ExSG+0.3EySG
C2ü	1.172G+Q+EyS+0.3ExS	C2üG	1.172G+Q+EySG+0.3ExSG
C3ü	0.728G+ExS+0.3EyS	C3üG	0.728G+ExSG+0.3EySG
C4ü	0.728G+EyS+0.3ExS	C4üG	0.728G+EySG+0.3ExSG
ALT BÖLÜM			
Kısaltma	**Sünek Davranış**	**Kısaltma**	**Sünek Olmayan Davranış**
EHSXa	Max (ESXa,ESXaP,ESXaN)	EHSXaG	Max [D_{alt} x(ESXa,ESXaP,ESXaN)]
EHSYa	Max (ESYa,ESYaP,ESYaN)	EHSYaG	Max [D_{alt} x(ESYa,ESYaP,ESYaN)]
C1a1	C1ü+EHSXa	C1a1G	0.6 $D_{üst}$ C1ü + EHSXaG
C1a2	C1ü-EHSXa	C1a2G	0.6 $D_{üst}$ C1ü - EHSXaG
C2a1	C2ü+EHSYa	C2a1G	0.6 $D_{üst}$ C2ü + EHSYaG
C2a2	C2ü-EHSYa	C2a2G	0.6 $D_{üst}$ C2ü - EHSYaG
C3a1	C3ü+EHSXa	C3a1G	0.6 $D_{üst}$ C3ü + EHSXaG
C3a2	C3ü-EHSXa	C3a2G	0.6 $D_{üst}$ C3ü - EHSXaG
C4a1	C4ü+EHSYa	C4a1G	0.6 $D_{üst}$ C4ü + EHSYaG
C4a2	C4ü-EHSYa	C4a2G	0.6 $D_{üst}$ C4ü - EHSYaG

Tablolarda sünek olmayan davranışın kısaltmaları “G” harfiyle ifade edilmiştir. Mod birleştirme yöntemi dinamik bir yükleme ve yön etkisi olmadığı için eşdeğer deprem yükünde oluşturulan kombinasyonlara göre daha az sayıda kombinasyon uygulanmıştır. 8 adet üst bölümde, 16 adet alt bölümde olmak üzere 24 adet kombinasyon tanımlanmıştır. Ayrıca TS500’de olan 1.4G+1.6Q kombinasyonu da tanımlanmıştır. Model 1’de tüm kombinasyonlar tanımlanırken model 2 ve 3’te üst bölüm için yazılan kombinasyonlar tanımlanmıştır.

4.3 Binaların Deprem Davranışlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde modellerde tanımlanan ve uygulanan eşdeğer deprem yükü yöntemi ile mod birleştirme yöntemine göre kat seviyelerindeki maksimum yerdeğiştirmeler, kolon iç kuvvetleri, çekirdek perde iç kuvvetleri ve geçiş döşemelerinde oluşan gerilmelere ait en elverişsiz sonuçlar kıyaslanmaktadır.

4.3.1 Yerdeğiştirmeler

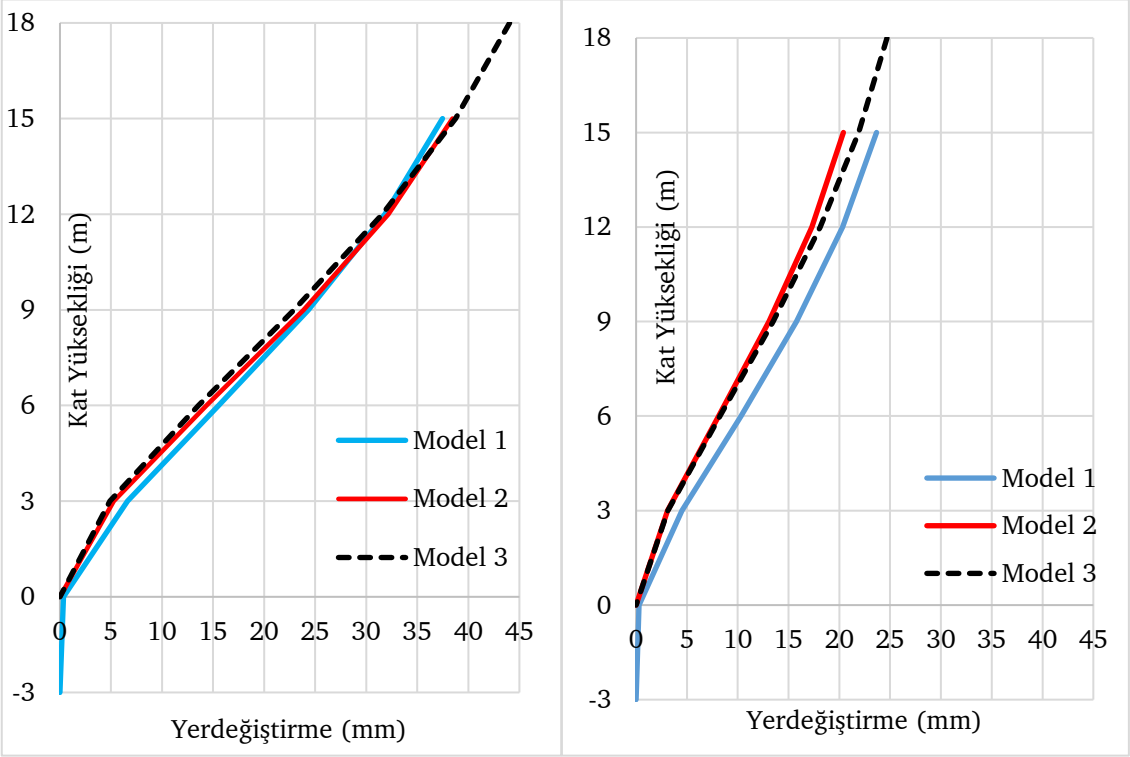
Eşdeğer deprem yükü yöntemi (EDYY) ve mod birleştirme yöntemine (MBY) göre oluşturulan sünek ve sünek olmayan davranışa ait kombinasyonlar arasında en elverişsiz durum göz önüne alınarak katlardaki maksimum yerdeğiştirmelere ait değerler x ve y yönü için Tablo 4.35-36’da verilmiştir. İlgili grafikler ise Şekil 4.29-30’da gösterilmiştir.

Tablo 4.35 EDYY’ ye göre maksimum yerdeğiştirmeler

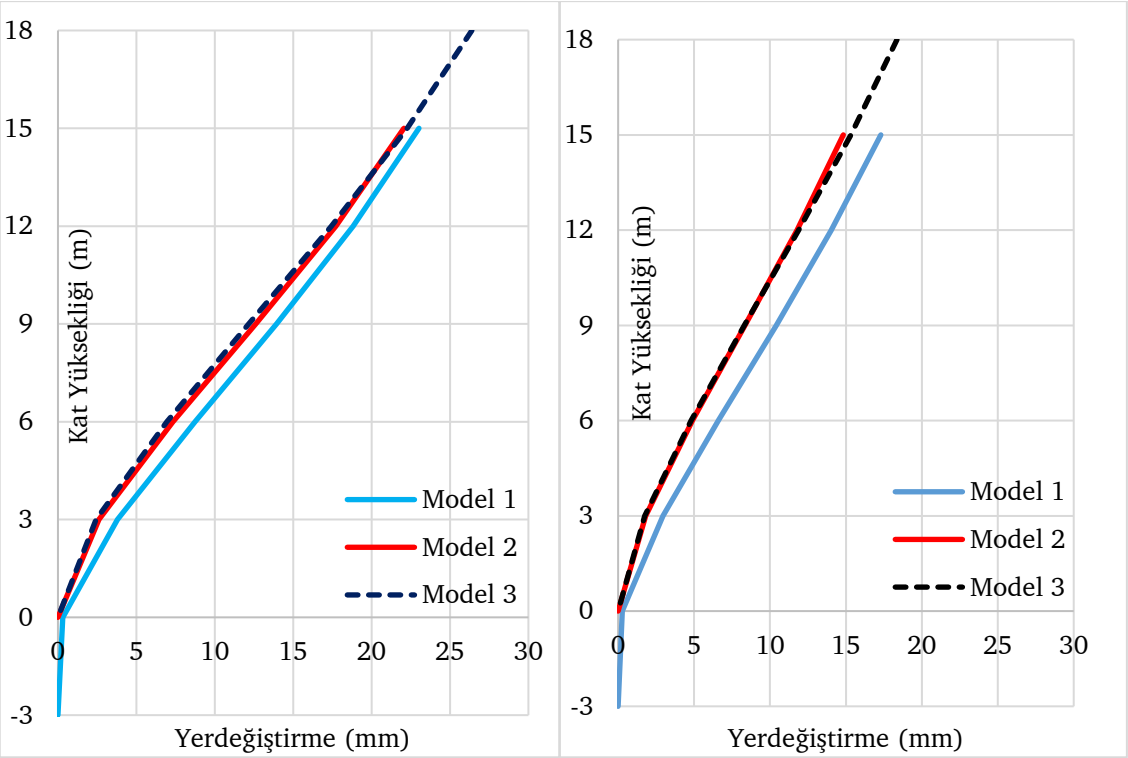
Kat Yüksekliği (m)	Model 1		Model 2		Model 3	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
18					44.04	26.39
15	37.47	23.02	38.45	22.06	38.76	22.28
12	31.83	18.82	32.18	17.72	31.58	17.43
9	24.34	13.94	23.85	12.62	22.93	12.17
6	15.54	8.74	14.36	7.34	13.57	6.94
3	6.63	3.79	5.256	2.62	4.90	2.44
0	0.35	0.31	0	0	0	0
-3	0	0				

Tablo 4.36 MBY' ye göre maksimum yerdeğiştirmeler

Kat Yüksekliği (m)	Model 1		Model 2		Model 3	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
18					24.69	18.36
15	23.66	17.30	20.40	14.83	21.91	15.32
12	20.32	14.05	17.29	11.78	18.12	11.89
9	15.80	10.41	13.09	8.36	13.48	8.31
6	10.33	6.61	8.14	4.90	8.27	4.81
3	4.50	2.95	3.10	1.81	3.11	1.75
0	0.30	0.27	0	0	0	0
-3	0	0				



Şekil 4.29 EDYY VE MBY' ye göre x yönündeki maksimum yerdeğiştirmeler



Şekil 4.30 EDYY ve MBY' ye göre y yönündeki maksimum yerdeğiştirmeler

Sonuçlar incelendiğinde x yönünde oluşan kuvvetlerin y yönüne göre her 2 analiz yönteminde de fazla olması yerdeğiştirmelerin de fazla çıkmasına sebep olmuştur.

Modeller kendi arasında EDYY'ye göre kıyaslandığında; tüm modellerde katlardaki yerdeğiştirmeler arasında belirgin bir fark oluşmamıştır. MBY'ye göre bakıldığında; model 2 ve model 3'ün x ve y yönündeki değerleri birbirine yakınken model 1'in değerleri bu değerlerden x yönünde %15-45, y yönünde %15-65 oranında büyük çıkmıştır.

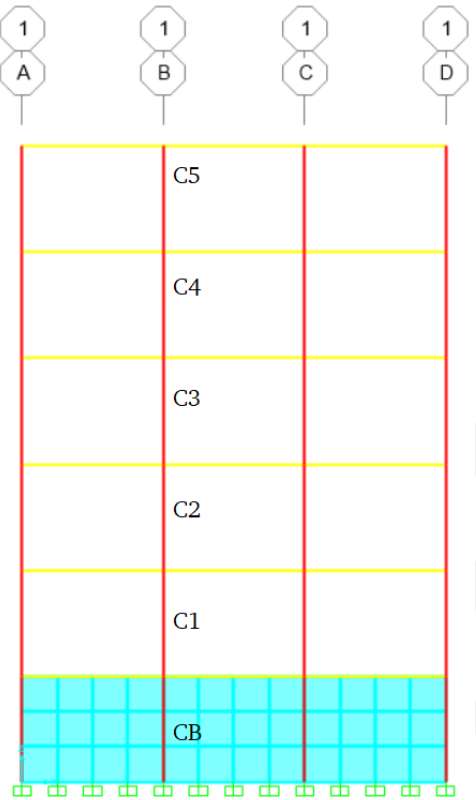
İki farklı yöntem kıyaslandığında EDYY'deki yerdeğiştirmeler MBY'de hesaplanan değerlere göre model 1'de x yönünde %47-58, y yönünde %29-33, model 2'de x yönünde %70-88, y yönünde %45-49, model 3'te x yönünde %57-78, y yönünde %40-44 oranında fazla çıkmıştır.

4.3.2 İç Kuvvetler ve Gerilmeler

4.3.2.1 Kolonlar

Sayısal çalışmalarda modellenen tüm binalarda eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemine göre sünek ile sünek olmayan davranışa ait tanımlanan kombinasyonlar arasından en elverişsiz kesme kuvveti ve moment değerleri X-Z

(Y=0) düzlemindeki 1-B aksında oluşmuştur. İlgili aksta bulunan kolonların isimleri, karşılaştırma yapmak ve katların seviyesini belirtmek amacıyla CB, C1, C2, C3, C4, C5 ve C6 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 4.31). Her 2 yönde elde edilen değerler Tablo 4.37-38'de verilmektedir.



Şekil 4.31 X-Z (Y=0) düzlemindeki kolonların gösterimi

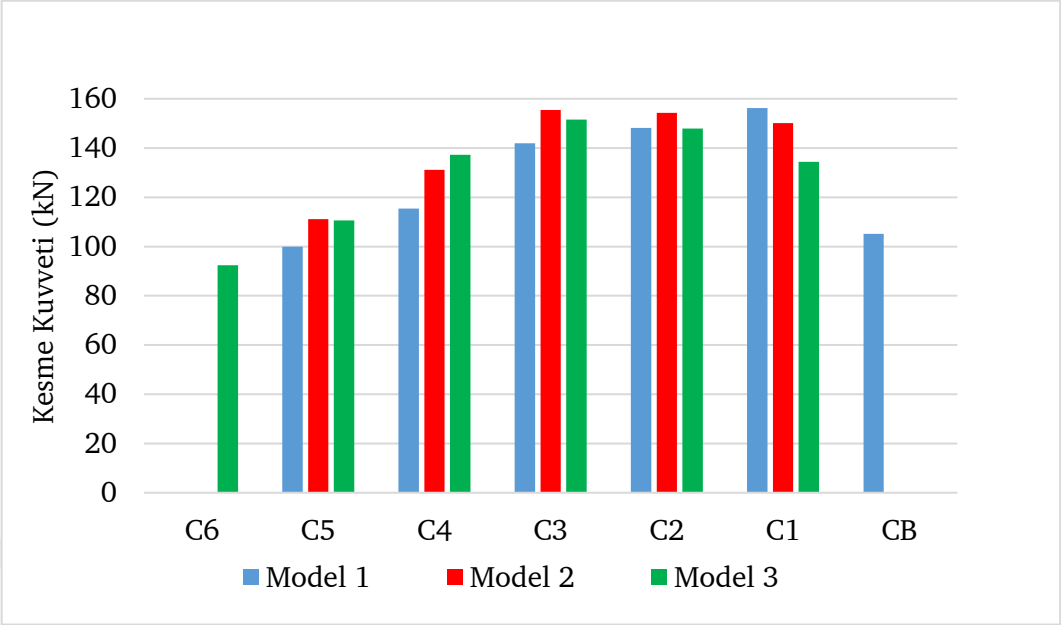
Tablo 4.37 Kolonlarda oluşan kesme kuvveti değerleri

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi						
Kolon No	Model 1		Model 2		Model 3	
	X	Y	X	Y	X	Y
C6					92.43	83.42
C5	99.9	85.58	111.15	82.37	110.63	59.65
C4	115.37	59.82	131.1	60.34	137.2	66.25
C3	141.88	67.34	155.49	65.76	151.5	64.1
C2	148.15	62.01	154.29	56.76	147.96	57.17
C1	156.22	64.64	150.12	53.04	134.46	47.9
CB	105.14	17.72				
Mod Birleştirme Yöntemi						
Kolon No	Model 1		Model 2		Model 3	
	X	Y	X	Y	X	Y
C6					61.89	76.24
C5	69.64	81.33	65.77	75.76	70.36	53.25
C4	78.8	54.46	75.22	52.73	81.64	57.25
C3	93.1	59.22	85.63	55.09	89.1	53.9
C2	100.75	55.17	90.7	49.41	91.78	48.7
C1	111.61	53.39	91.61	43.2	90.58	41.25
CB	81.77	13.02				

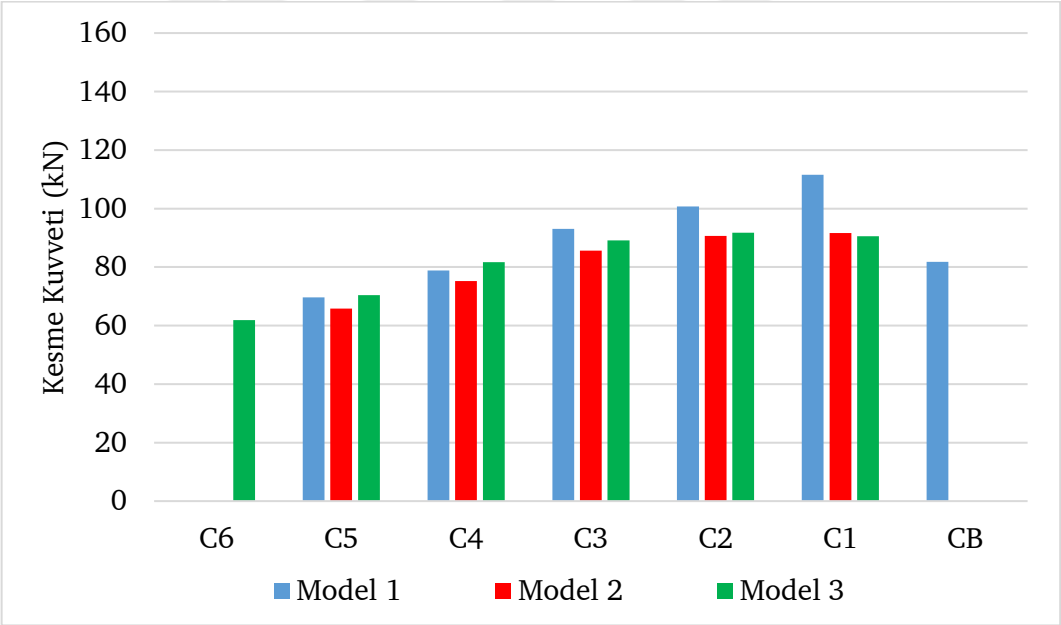
Tablo 4.38 Kolonlarda oluşan moment değerleri

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi						
Kolon No	Model 1		Model 2		Model 3	
	X	Y	X	Y	X	Y
C6					174.38	149.52
C5	186.73	152.64	208.51	147.88	188.24	89.94
C4	193.89	90.68	218.11	91.39	221.76	99.78
C3	224.05	101.95	239.64	102.74	228.75	102.35
C2	232.63	100.67	252.99	97.68	246.43	99.95
C1	321.66	128.38	334.39	114.67	304.21	105.15
CB	125.19	51.65				
Mod Birleştirme Yöntemi						
Kolon No	Model 1		Model 2		Model 3	
	X	Y	X	Y	X	Y
C6					113.13	136.67
C5	127.27	145.04	119.97	135.72	116.12	82.66
C4	130.45	84.87	123.34	82.79	131.12	87.6
C3	148.62	90.64	134.33	86.39	137.54	86.12
C2	155.56	89.24	145.46	83.97	148.63	83.35
C1	224.98	100.2	198.49	88.4	197.48	84.57
CB	91.8	33.45				

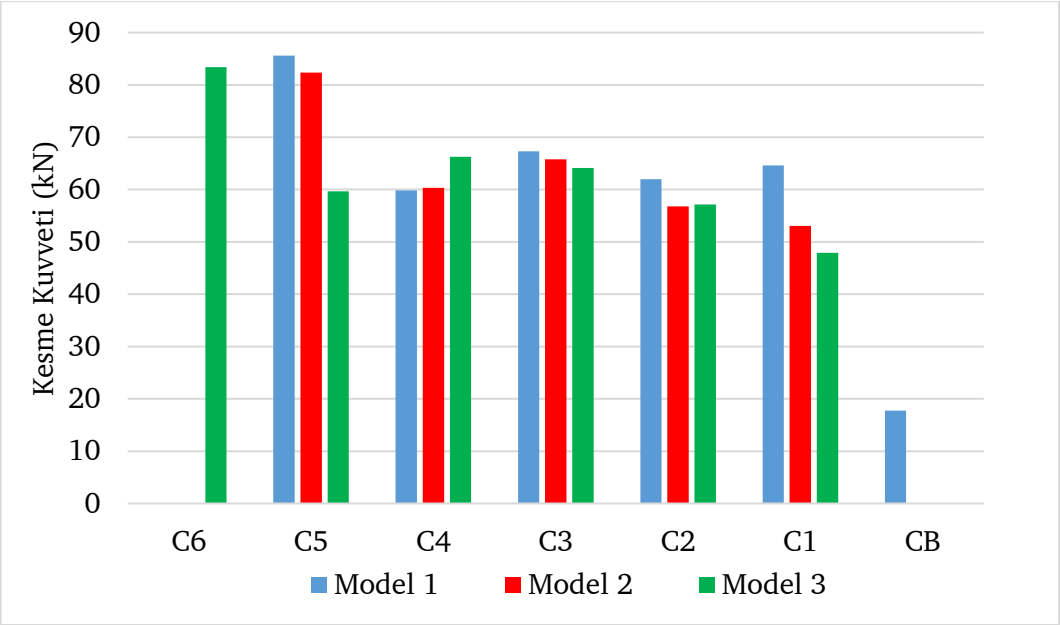
İlgili değerlere ait grafikler, Şekil 4.32-39'da gösterilmektedir.



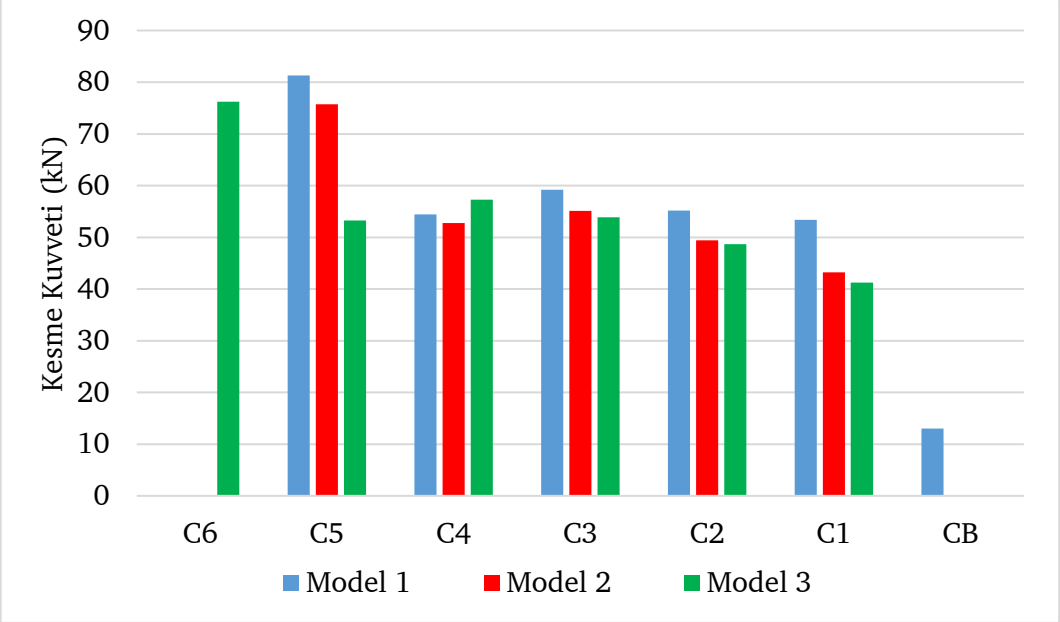
Şekil 4.32 EDYY'ye göre x yönündeki kesme kuvvetleri



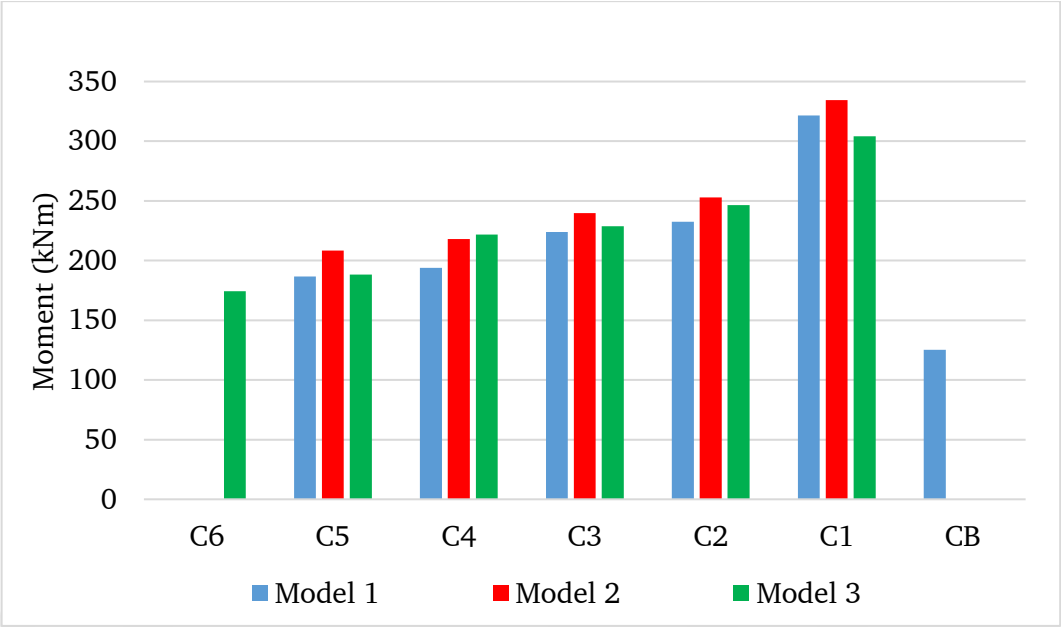
Şekil 4.33 MBY'ye göre x yönündeki kesme kuvvetleri



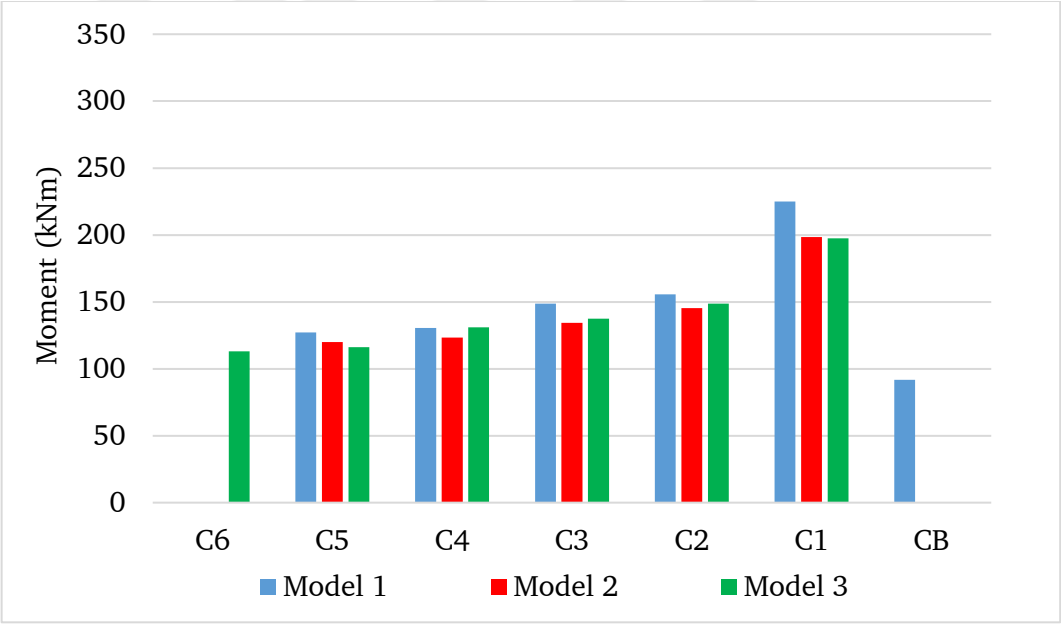
Şekil 4.34 EDYY'ye göre y yönündeki kesme kuvvetleri



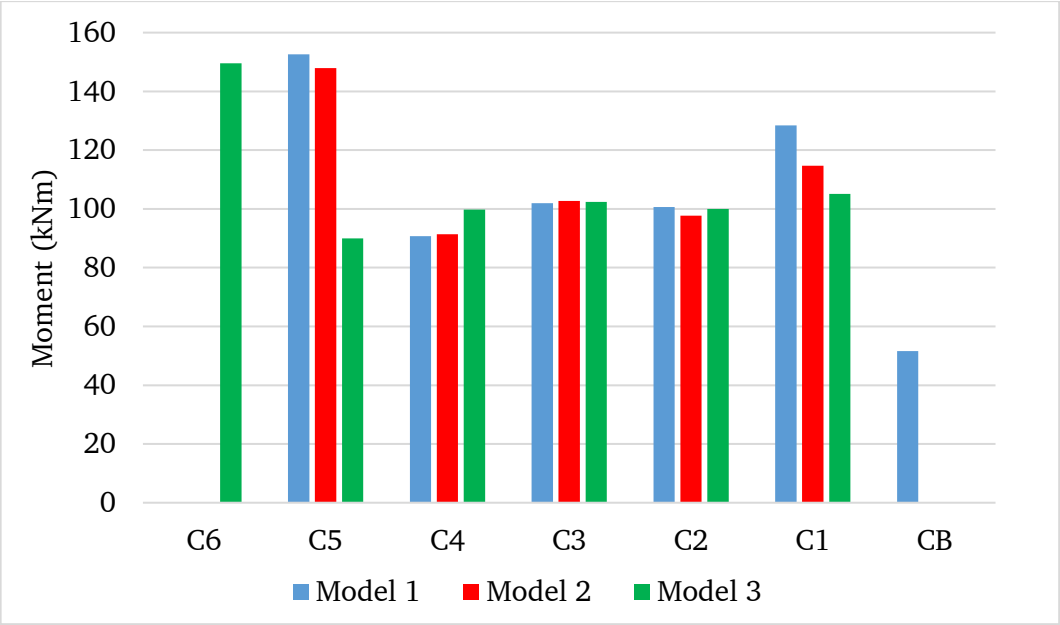
Şekil 4.35 MBY'ye göre y yönündeki kesme kuvvetleri



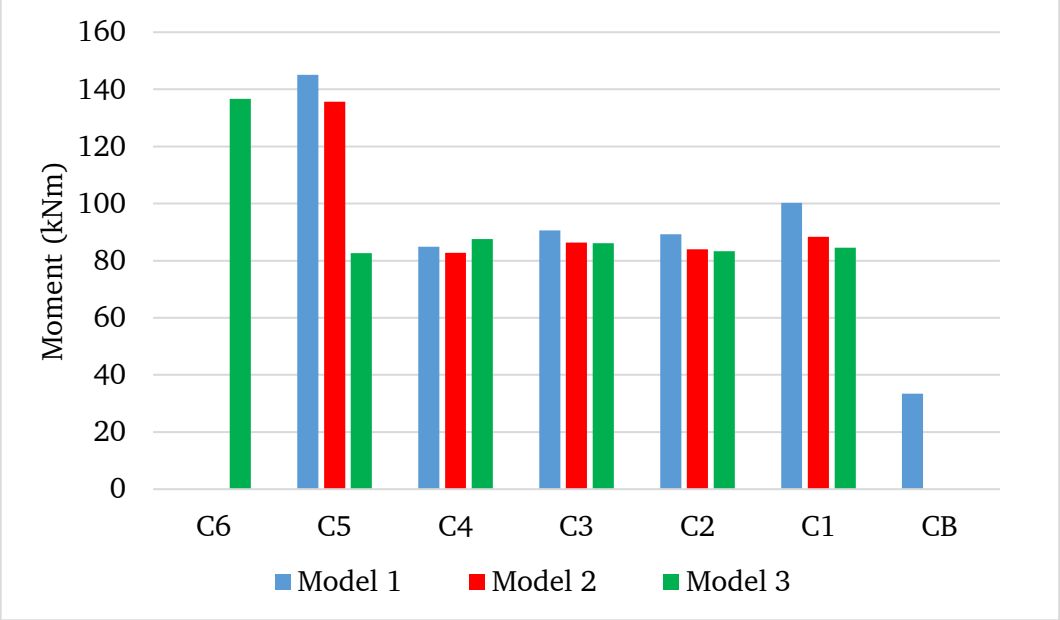
Şekil 4.36 EDYY'ye göre x yönündeki moment değerleri



Şekil 4.37 MBY'ye göre x yönündeki moment değerleri



Şekil 4.38 EDYY'ye göre y yönündeki moment değerleri



Şekil 4.39 MBY'ye göre y yönündeki moment değerleri

Sonuçlar irdelendiğinde, birkaç istisna haricinde x yönündeki kesme kuvvetleri ve momentler y yönündekilere göre her 2 analiz yönteminde de fazladır. Grafikler genel olarak incelendiğinde hem eşdeğer deprem yükü yönteminde hem de mod birleştirme yönteminde kesme kuvvetleri ve moment değerleri alt katlardan üst katlara doğru x yönünde azalmış y yönünde ise artmıştır.

Modeller kendi arasında kesme kuvvetleri bakımından karşılaştırıldığında, EDYY'de x yönünde değerler birbirinden farklı, y yönünde ise birbirine yakın

çıkmıştır. MBY'de x yönündeki değerler model 2 ve 3'te birbirine yakınken model 1'de değerler daha büyük, y yönünde ise üst katlarda değerler birbirine yakınken alt katlara doğru farklar oluşmuştur.

Modeller kendi arasında moment değerleri bakımından kıyaslandığında, EDYY'de x yönünde model 2'deki değerler, y yönünde model 1'deki değerler diğer modellere göre daha fazla çıkmıştır. MBY'de hem x yönünde hem de y yönünde model 1'deki değerler diğer modellere göre yüksek çıkmıştır.

Deprem analiz yöntemleri kendi arasında kesme kuvvetleri bakımından kıyaslandığında, EDYY'deki değerler MBY'dekilere göre model 1'de x yönünde %28-52 y yönünde %5-36 model 2'de x yönünde %64-81 y yönünde %9-23 model 3'te x yönünde %48-70 y yönünde %9-19 oranında fazla çıkmıştır.

Deprem analiz yöntemleri kendi arasında moment değerleri bakımından kıyaslandığında, EDYY'deki değerler MBY'dekilere göre model 1'de x yönünde %36-50 y yönünde %5-54 model 2'de x yönünde %68-78 y yönünde %8-29 model 3'te x yönünde %54-69 y yönünde %8-24 oranında fazla çıkmıştır.

4.3.2.2 Çekirdek Perde

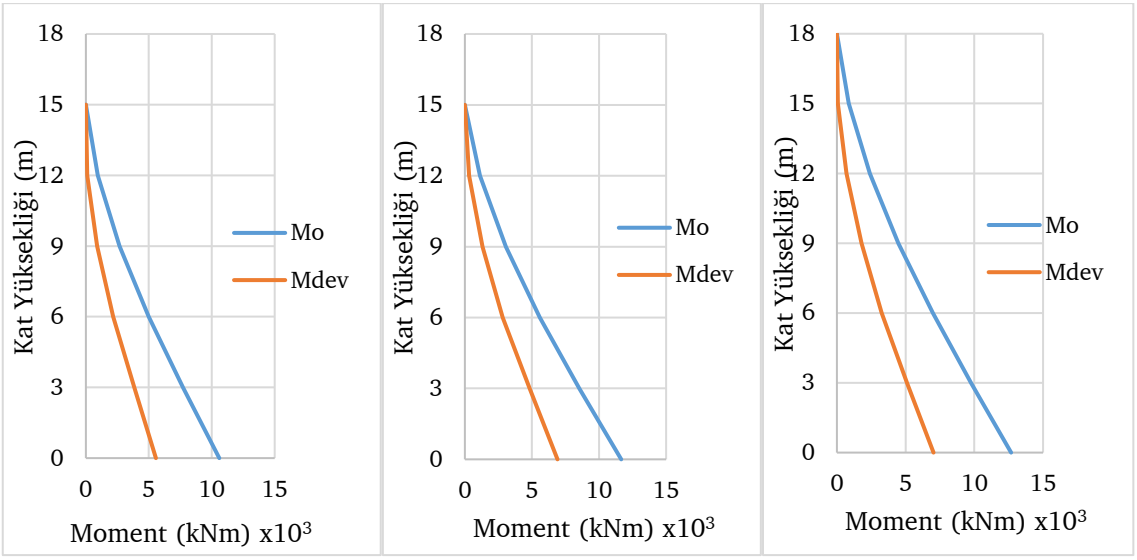
Çekirdek perdenin modellenmesi bölüm 3.3.5'te bahsedildiği gibi yapılmıştır. U perdenin tüm kolları beraber tanımlanmış ve perde düğüm noktalarında 6 serbestlik derecesi dikkate alınarak kabuk sonlu elemanlarla modellenmiştir.

TBDY 2018 bölüm 4.3.4.5'te de ifade edildiği gibi deprem etkilerinin süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalarda, deprem kuvvetlerinden dolayı perdelerin tabanında oluşan toplam devrilme momenti, M_{DEV}'nin binanın tüm tabanında meydana gelen toplam devrilme momenti M_0'a oranı 0.40 ile 0.75 arasında olmalıdır. Bu sebeple modellenen tüm binalarda x ve y yönünde U perdede ve bina tabanlarında oluşan toplam devrilme momentleri hesaplanmış ve sınır değerlerin arasında kalmıştır. M_0 değerleri denklem 4.5 ile bulunmuş, M_{DEV} değerleri ise SAP2000 programından okunmuştur. U perdenin M_{DEV} değerleri için, model 1'de bodrum kat döşemesinin kotu, model 2 ve 3'te temel kotu dikkate alınmıştır. Bu değerler Tablo 4.39'da verilmiş ve Şekil 4.40-41'de sırasıyla model 1, model 2 ve model 3 için x ve y yönünde gösterilmiştir.

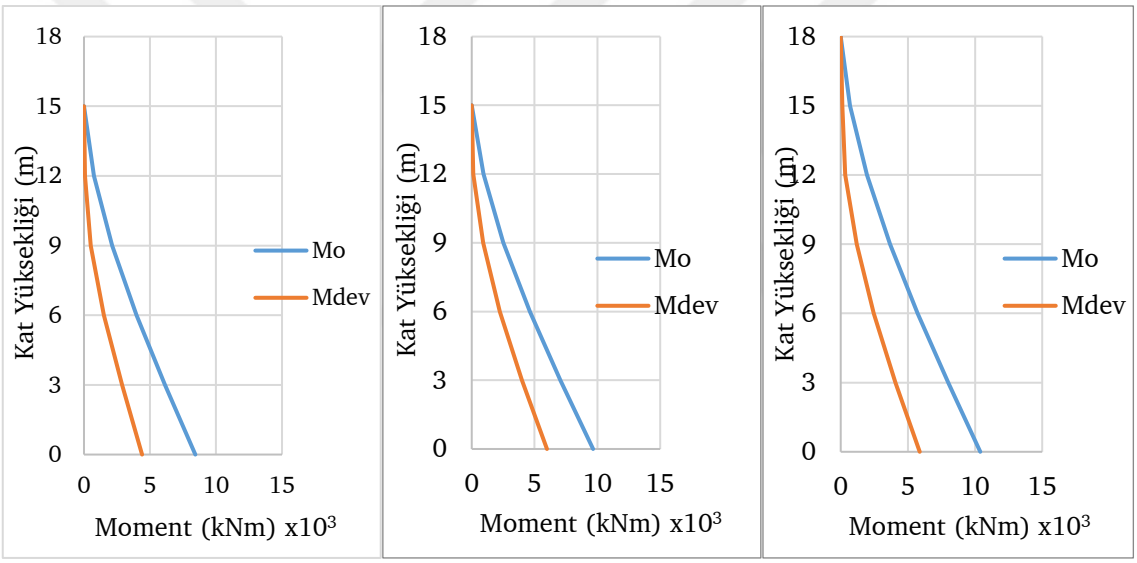
$$M_0^{(X)} = \sum_{i=1}^{N} F_{iE}^{(X)} \; H_i \qquad (4.5)$$

Tablo 4.39 Devrilme momentlerinin değerleri

	Kat	H_i	$F_{iE}^{(X)}$	$F_{iE}^{(Y)}$	H_i x F_{iE}(X)	H_i x F_{iE}(Y)
Model 1	5	15	317.510	252.713	4762.648	3790.701
	4	12	259.360	206.431	3112.321	2477.168
	3	9	194.520	154.823	1750.680	1393.407
	2	6	129.680	103.215	778.080	619.292
	1	3	64.840	51.608	194.520	154.823
	bodrum	3			0.000	0.000
				$\Sigma M_0 =$	10598.249	8435.391
				$M_{DEV} =$	5561.980	4400.010
				$M_{DEV} / M_0 =$	0.525	0.522
	Kat	H_i	$F_{iE}^{(X)}$	$F_{iE}^{(Y)}$	H_i x F_{iE}(X)	H_i x F_{iE}(Y)
Model 2	5	15	374.472	310.370	5617.074	4655.556
	4	12	268.226	222.312	3218.714	2667.742
	3	9	201.170	166.734	1810.527	1500.605
	2	6	134.113	111.156	804.678	666.936
	1	3	67.057	55.578	201.170	166.734
				$\Sigma M_0 =$	11652.163	9657.573
				$M_{DEV} =$	6903.330	5987.060
				$M_{DEV} / M_0 =$	0.592	0.620
	Kat	H_i	$F_{iE}^{(X)}$	$F_{iE}^{(Y)}$	H_i x F_{iE}(X)	H_i x F_{iE}(Y)
Model 3	6	18	282.988	231.917	5093.777	4174.509
	5	15	229.775	188.308	3446.622	2824.614
	4	12	183.820	150.646	2205.838	1807.753
	3	9	137.865	112.985	1240.784	1016.861
	2	6	91.910	75.323	551.460	451.938
	1	3	45.955	37.662	137.865	112.985
				$\Sigma M_0 =$	12676.345	10388.660
				$M_{DEV} =$	7029.950	5881.630
				$M_{DEV} / M_0 =$	0.555	0.566



Şekil 4.40 X yönündeki devrilme momentleri



Şekil 4.41 Y yönündeki devrilme momentleri

Model 1'de bodrum katın da etkisiyle devrilme moment değerleri diğer binalara göre hem x hem de y yönünde daha az çıkmıştır. Tüm binalarda x yönünde etkiyen kuvvetlerin fazla olması devrilme momentlerinin y'ye göre daha fazla olmasını sağlamıştır. Her kata ait *Mo* değerlerindeki x ve y yönü arasındaki fark model 1'de %20, model 2'de %17, model 3'te %18 çıkmıştır.

Modellerde eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre sünek ile sünek olmayan davranışa karşılık gelen kombinasyonlar dikkate alınarak en elverişsiz durumda, çekirdek perdede oluşan kesme kuvveti ve moment

değerleri x ve y yönü için Tablo 4.40-43'te verilmiştir. Değerlere ait grafikler ise Şekil 4.42-45'te gösterilmiştir.

Tablo 4.40 EDYY'ye göre çekirdek perdede oluşan kesme kuvvetleri

Kat Yüksekliği	Model 1		Model 2		Model 3	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
18					260.13	180.01
15	315.2	220.6	479.22	366.89	260.13	180.01
12	315.2	220.6	479.22	366.89	840.63	707.5
9	984.08	807.13	1154.56	986.11	1245.73	1055.78
6	1404.42	1157.96	1613.87	1387.56	1575.93	1348.32
3	1764.42	1466.37	2002.06	1736.72	1875.9	1615.79
0	1758.77	1510.9	2024.94	1836.39	1872.17	1684.76
-3	-584.19	-1062.1				

Tablo 4.41 MBY'ye göre çekirdek perdede oluşan kesme kuvvetleri

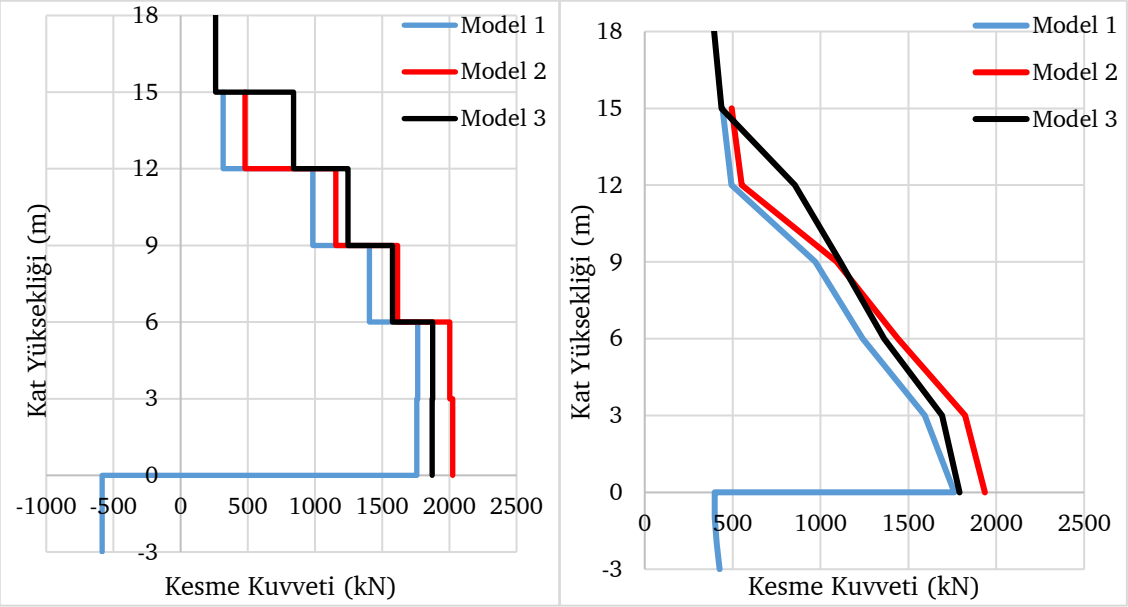
Kat Yüksekliği	Model 1		Model 2		Model 3	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
18					394.74	432.28
15	443.23	455.79	494.8	478.86	437.23	457.12
12	493.59	482.34	552	512.59	854.45	713.977
9	970.18	767.82	1092.02	872.59	1112.7	873.51
6	1240.35	961.91	1440.88	1140.02	1361.38	1098.21
3	1592.54	1261.32	1822.84	1496.16	1692.42	1402.64
0	1761.41	1435.42	1935.2	1666.85	1790.91	1543.18
0	398.06	855.87				
-3	425.93	860.46				

Tablo 4.42 EDYY'ye göre çekirdek perdede oluşan moment değerleri

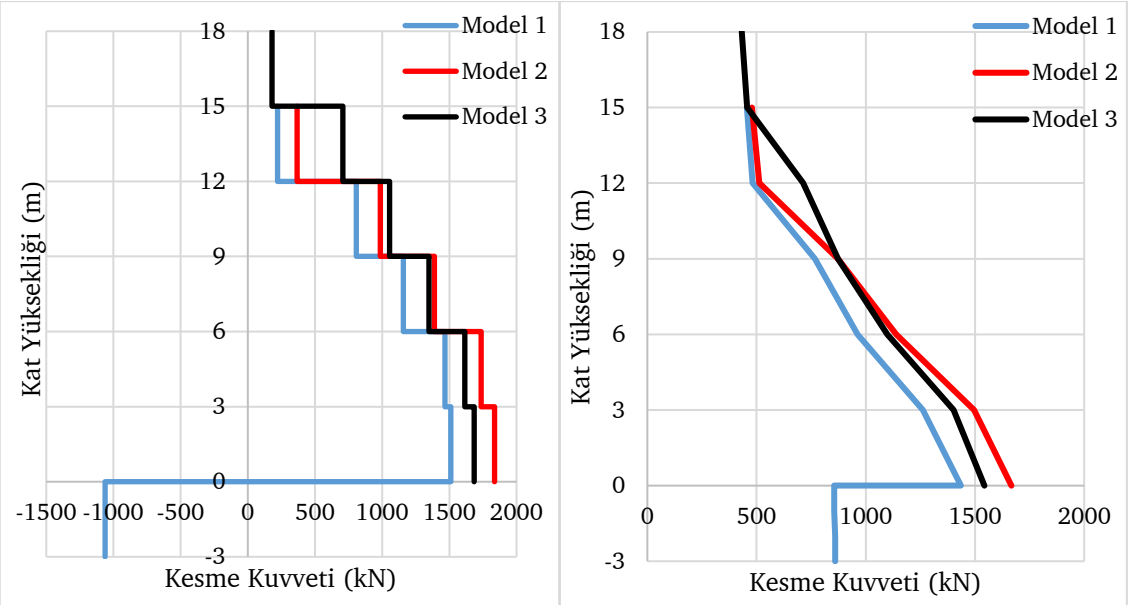
Kat Yüksekliği	Model 1		Model 2		Model 3	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
18					334	441
15	630.02	510.21	144.62	228.76	185.55	361.5
12	315.57	251.22	866.48	329.98	1925.09	926.6
9	2444.27	1331.06	3581.86	2318.14	4842.11	3100.74
6	5803.21	3815.86	7660.05	5602.65	8756.78	6163.08
3	10265.8	7253.26	12963.2	10121.5	13663.6	10201.9
0	14840.3	11049.3	18514.3	15273.8	18759.6	14905.3
-3	13043	8153.74				

Tablo 4.43 MBY'ye göre çekirdek perdede oluşan moment değerleri

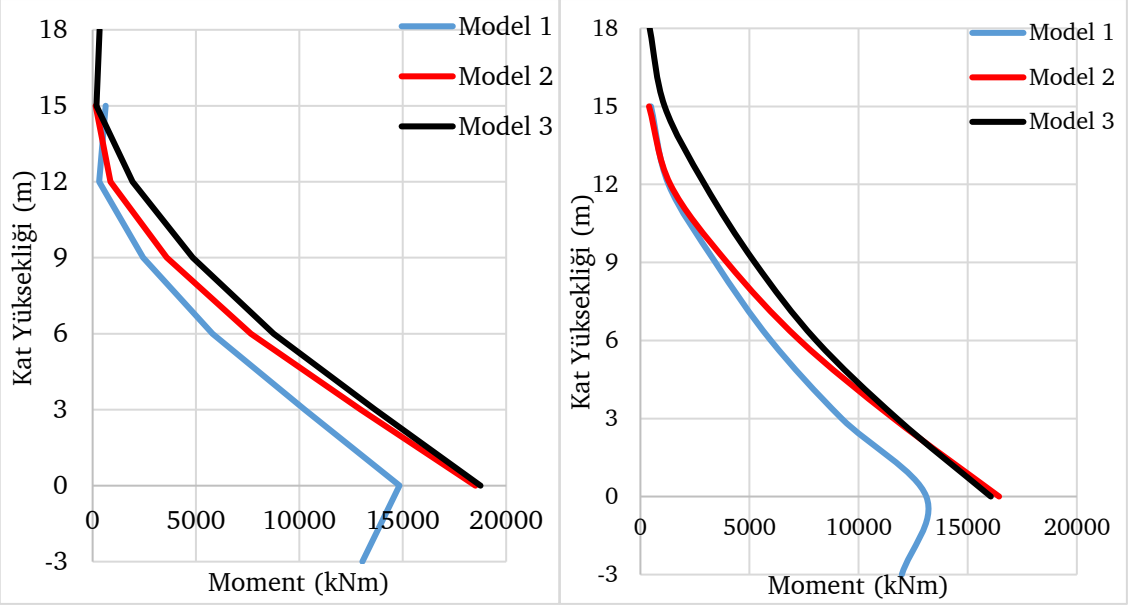
Kat Yüksekliği	Model 1		Model 2		Model 3	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
18					425.2	457.98
15	484.33	498.01	394.24	421.96	1110.5	1197.83
12	1289.37	1290.19	1370.25	1265.39	2944.09	2416.59
9	3438.84	2544.99	3969.96	2842.19	5239.18	3539.1
6	5977.01	3821.51	7311.51	4833.6	8051.71	5044.3
3	9223.48	5795.62	11605.2	7944.62	11757.5	7694.38
0	13099.3	8763.48	16436.4	12125.1	16057.3	11503.3
-3	11978.1	6581.73				



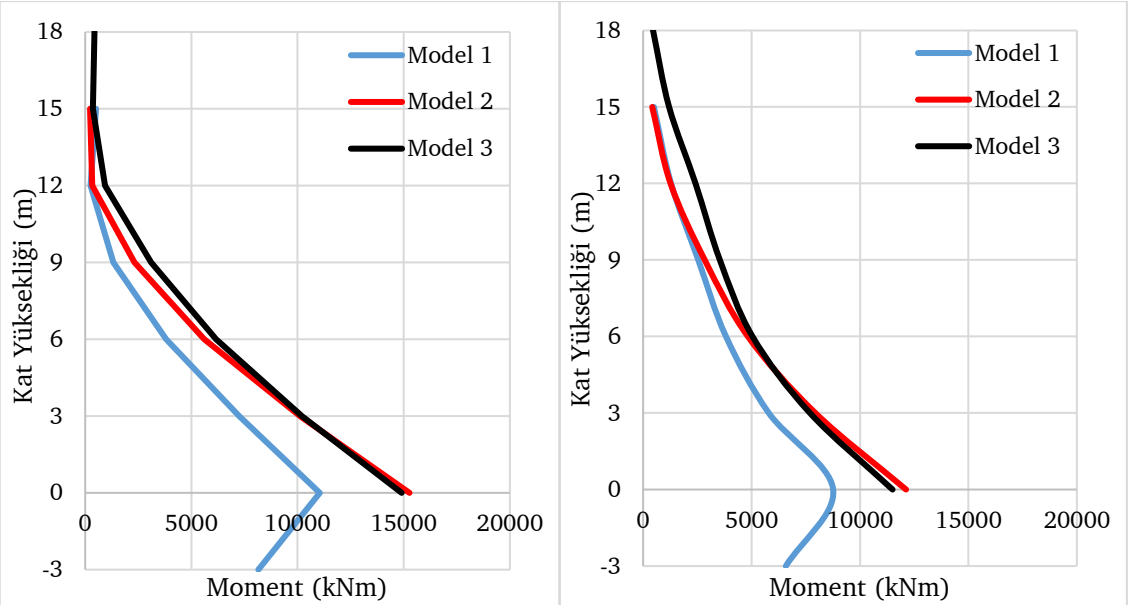
Şekil 4.42 EDYY ve MBY'ye göre x yönündeki kesme kuvvetleri



Şekil 4.43 EDYY ve MBY'ye göre y yönündeki kesme kuvvetleri



Şekil 4.44 EDYY ve MBY'ye göre x yönündeki moment değerleri



Şekil 4.45 EDYY ve MBY'ye göre y yönündeki moment değerleri

Hesaplanan deprem kuvvetlerinden dolayı x yönündeki deprem kuvvetlerinin fazla olması; x yönünde çekirdek perdedeki kesme kuvveti ve moment değerlerinin y yönüne göre yüksek olmasını sağlamıştır.

Modeller kendi arasında kesme kuvvetleri bakımından karşılaştırıldığında, EDYY'de hem x hem de y yönünde üst katlarda model 3, alt katlarda model 2 daha büyük çıkmıştır. MBY'de ise x ve y yönünde üst katlarda model 1 ve 2'nin değerleri birbirine yakınken alt katlarda model 1 ve 3'ün değerleri birbirine yakındır.

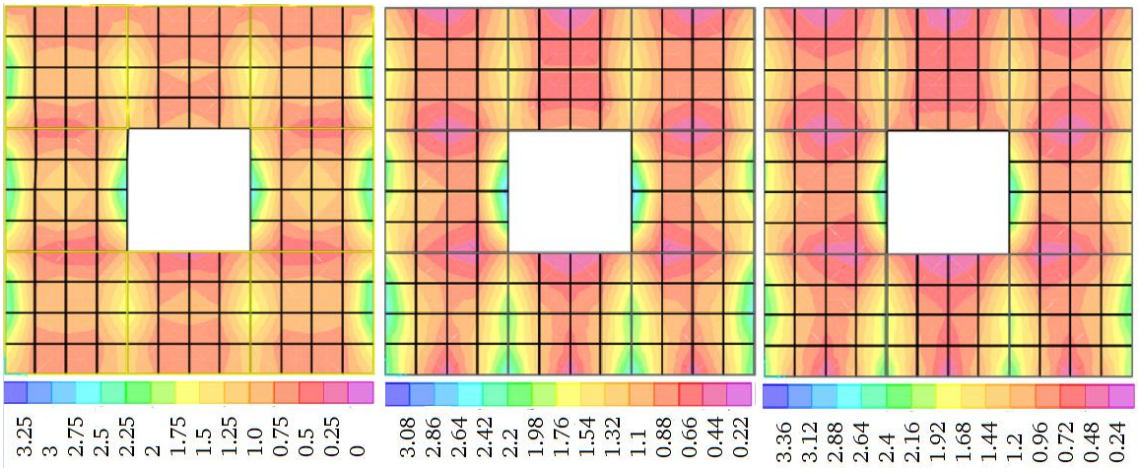
Modeller kendi arasında moment değerlerine göre kıyaslandığında, EDYY'de x ve y yönünde model 2 ve 3'ün değerleri birbirine yakın ve model 1'den büyük çıkmıştır. MBY'de x ve y yönünde üst katlarda model 1 ve 2'nin değerleri birbirine yakınken model 3 bu değerlerden büyük; alt katlarda ise model 2 ve 3'ün değerleri yakın ve model 1 bu değerlerden küçük hesaplanmıştır. Model 1'de bodrum katın varlığı çekirdek perdedeki moment değerlerini düşürmüştür.

Deprem analiz yöntemleri kendi arasında kesme kuvvetleri bakımından kıyaslandığında, EDYY'deki değerler MBY'dekilere göre ilk 4 katta model 1'de x yönünde %2-12 y yönünde %5-17 model 2'de x yönünde %4-11 y yönünde %10-18 model 3'te x yönünde %4-14 y yönünde %8-19 oranında fazla çıkmıştır. Son iki katta ise MBY'deki değerler EDYY'den daha fazla çıkmıştır.

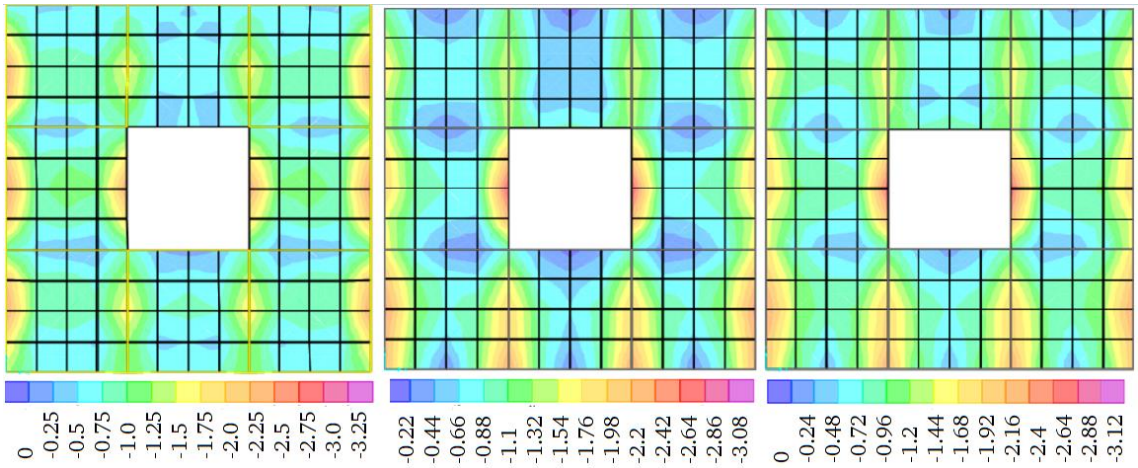
Deprem analiz yöntemleri kendi arasında moment değerleri bakımından kıyaslandığında, EDYY'deki değerler MBY'dekilere göre ilk 3 katta model 1'de x yönünde %11-12 y yönünde %21 model 2'de x yönünde %5-12 y yönünde %14-22 model 3'te x yönünde %8-15 y yönünde %19-25 oranında fazla çıkmıştır. Üst katlarda MBY'deki değerler daha yüksek çıkmıştır.

4.3.2.3 Döşeme Gerilmeleri

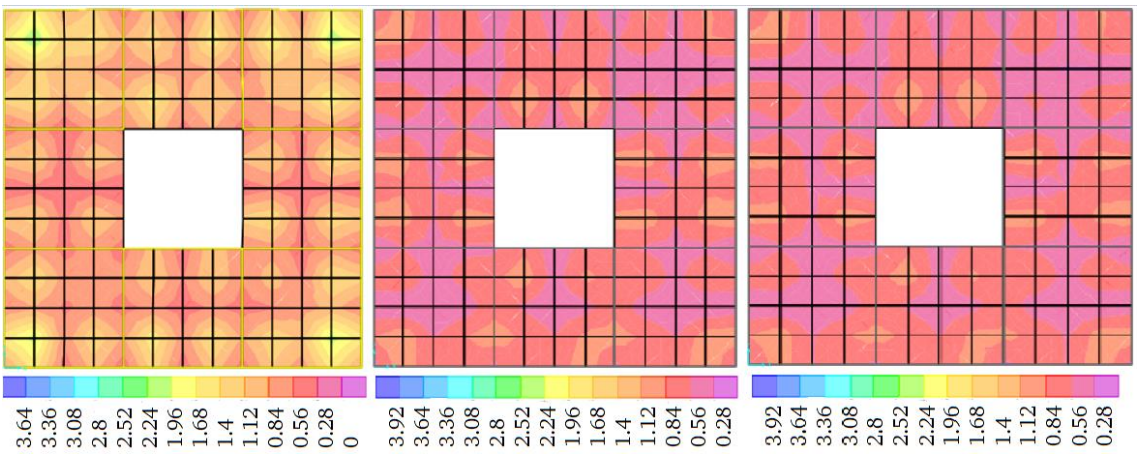
TBDY bölüm 4.5.7'ye göre geçiş katlarında modellenen döşemelerde, bodrum perdelerine kuvvet aktarımının büyük bir bölümü buradan gerçekleştiği için yeterli düzlem içi rijitliğe ve dayanıma sahip olması gerekmektedir. Yine TBDY 2018 bölüm 7.11.3'e göre kirişli ve kirişsiz döşemeli binaların döşemelerindeki düzlem içi eksenel ve kayma gerilmelerinin hesabında, elastik diyafram kabulünden bahsedilmiştir. Tez kapsamında, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yönteminin ayrı ayrı sayısal çalışmalarda uygulandığı model 1'de bodrum katı ve üst katlar arasındaki geçiş döşemelerinde elastik diyafram kabulüyle oluşan eksenel ve kayma gerilmeleri değerleri karşılaştırılmış ve eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulandığı modeldeki gerilmeler kuvvetlerin de daha büyük olması sebebiyle daha fazla çıkmıştır. Model 1'de geçiş döşemesinde, model 2 ve 3'te ise ilk kat döşemesinde 2 farklı doğrultu için oluşturulan kombinasyonlar arasındaki en elverişsiz durum göz önüne alınarak hesaplanan sırasıyla çekme, basınç ve kayma gerilmeleri değerleri MPa olarak Şekil 4.46-51'de gösterilmiştir.



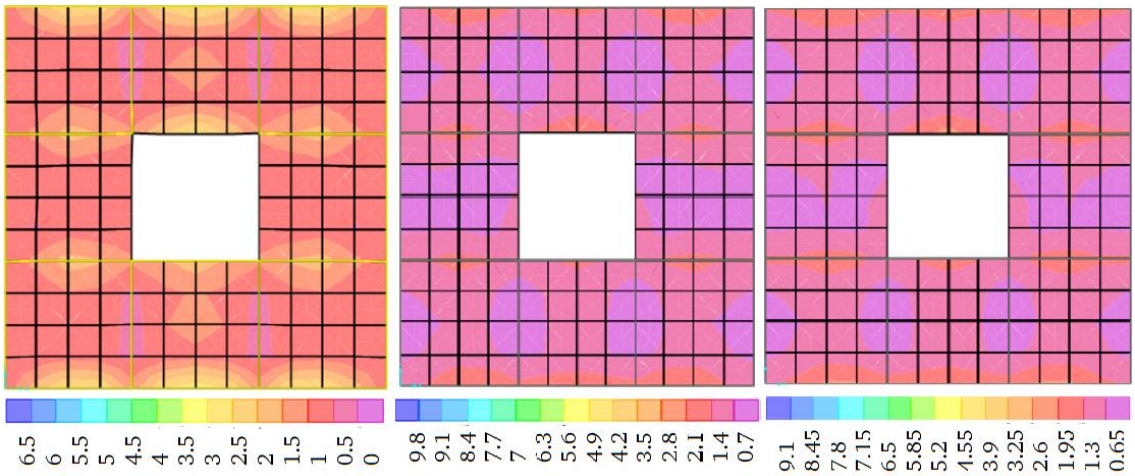
Şekil 4.46 Model 1, model 2 ve model 3'e ait x yönündeki çekme gerilmeleri



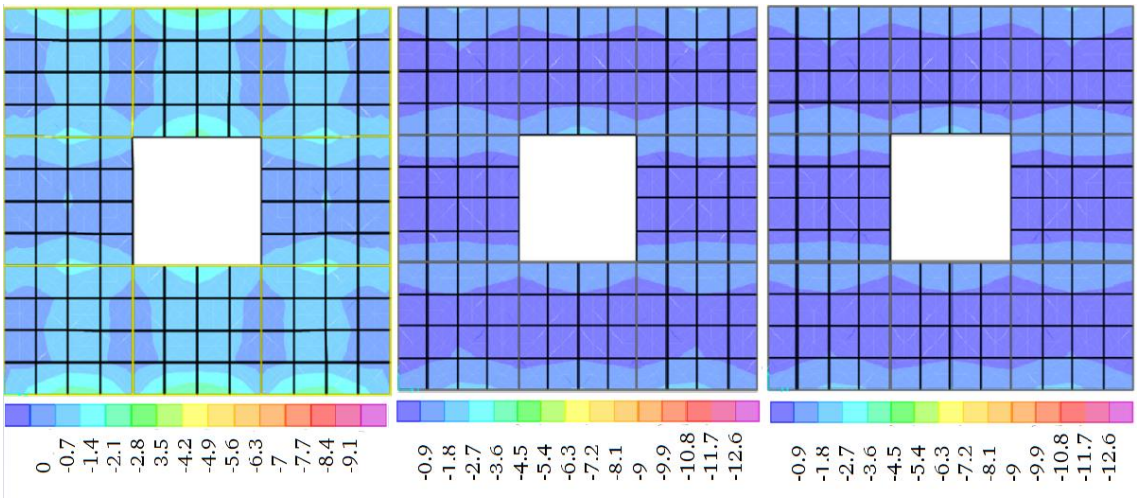
Şekil 4.47 Model 1, model 2 ve model 3'e ait x yönündeki basınç gerilmeleri



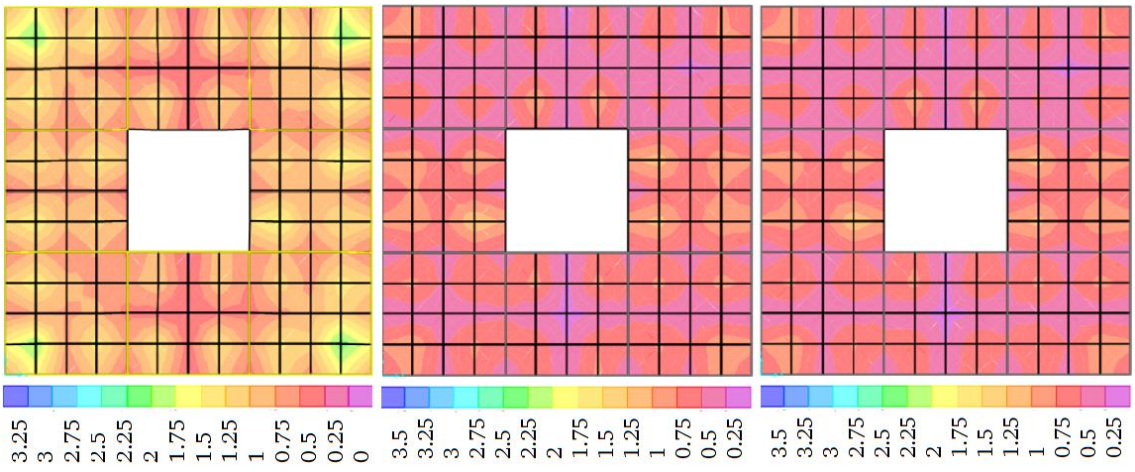
Şekil 4.48 Model 1, model 2 ve model 3'e ait x yönündeki kayma gerilmeleri



Şekil 4.49 Model 1, model 2 ve model 3'e ait y yönündeki çekme gerilmeleri



Şekil 4.50 Model 1, model 2 ve model 3'e ait y yönündeki basınç gerilmeleri



Şekil 4.51 Model 1, model 2 ve model 3'e ait y yönündeki kayma gerilmeleri

Model 1, model 2 ve model 3'te elde edilen maksimum çekme gerilmeleri yaklaşık olarak sırasıyla x yönünde 2.76, 2.89 ve 2.83 MPa; y yönünde 2.85, 2.25 ve 2.24 MPa olarak hesaplanmıştır.

Model 1, model 2 ve model 3'te elde edilen maksimum basınç gerilmeleri yaklaşık olarak sırasıyla x yönünde -2.7, -2.92 ve -2.87 MPa; y yönünde -2.95, -2.25 ve -2.24 MPa çıkmıştır.

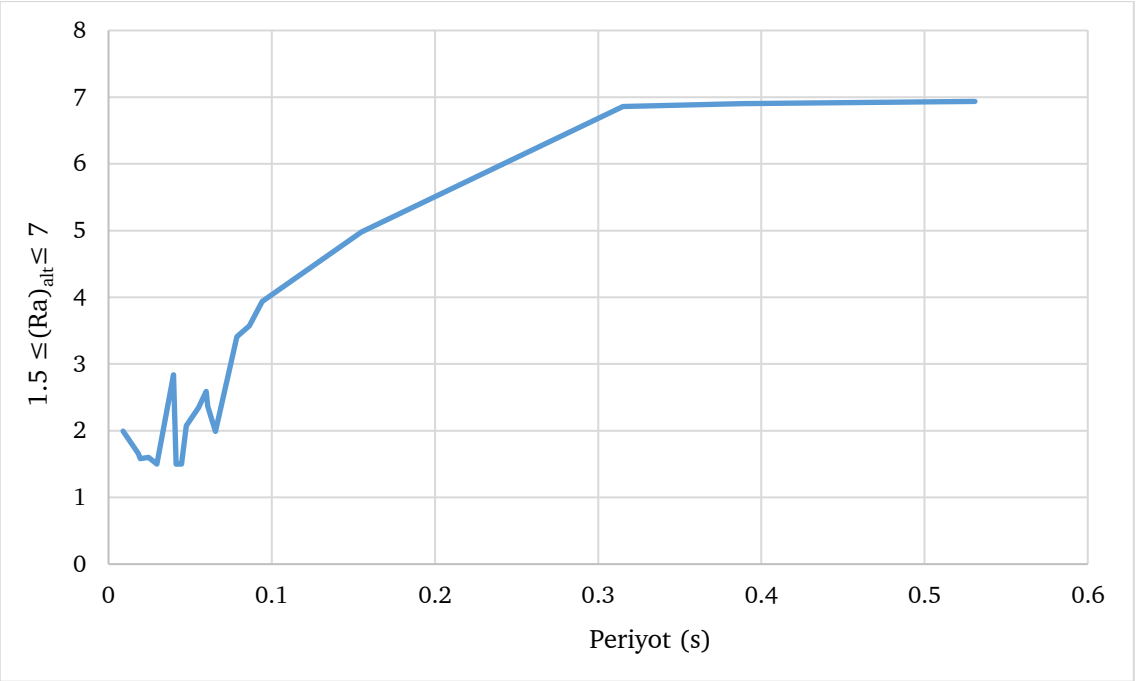
Model 1, model 2 ve model 3'te elde edilen maksimum kayma gerilmeleri yaklaşık olarak sırasıyla x yönünde 2.25, 1.2 ve 1.18 MPa; y yönünde 2.18, 1.24 ve 1.21 MPa olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında; model 1' de oluşan tüm gerilmeler model 2 ve 3'ten daha büyük çıkmıştır. Model 2 ve 3'teki gerilmeler birbirine çok yakın olmakla beraber x yönündeki değerler y yönüne göre daha büyüktür. Bu durum model 1'de değişiklik göstermiş ve y yönündeki değerler x yönünden daha fazla çıkmıştır.

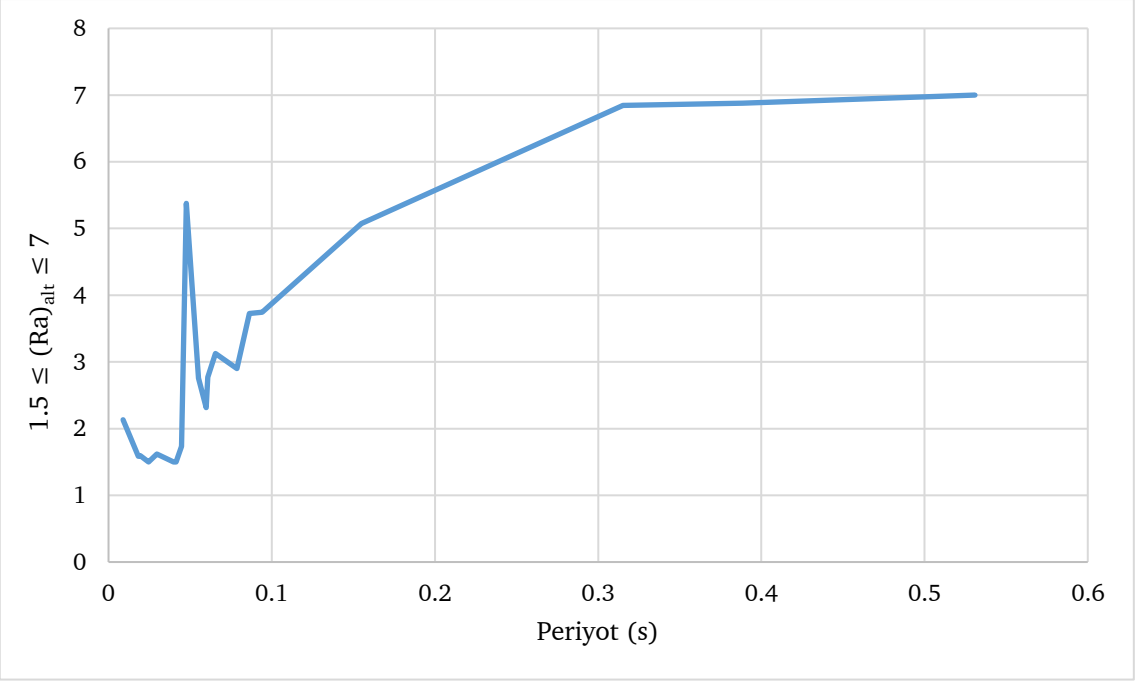
4.3.3 Model 1'de (Bodrumlu Bina) Taşıyıcı Sistemin Tümünde Mod Birleştirme Yöntemi'nin Uygulanması

TBDY 2018'de eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yönteminin bodrumlu binalarda bodrum kütlesi dahil tüm binanın kütlesinin dikkate alındığı modelde uygulanabilmesi için yeni bir analiz yaklaşımı getirilmiştir. Bu analiz yaklaşımında alt bölüme ait deprem yükü azaltma katsayısı bölüm 3.4.4'te verilen denklem (3.13) kullanılarak bulunmaktadır. Mod birleştirme yönteminin uygulandığı bodrumlu binalarda ise bu değerler her bir titreşim modu dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Sayısal çalışmada model 1'de (Bodrumlu Bina) üst ve alt bölümün kütleleri beraber dikkate alınmış ve her bir n'inci titreşim moduna ait deprem yükü azaltma katsayısı $(R_a)_{n,alt}$ x ve y yönü için bulunmuştur (Şekil 4.52 ve 4.53). Üst bölümde elde edilen R_a değerleri 2.5 ile 7 arasında; alt bölümde elde edilen R_a değerleri 1.5 ile 2.5 arasında değerler almaktadır. Bu sebeple bazı özel modlarda hesaplanan R_a değerleri 1.5'ten küçük ise 1.5; 7'den büyük ise 7 kabul edilmiştir.

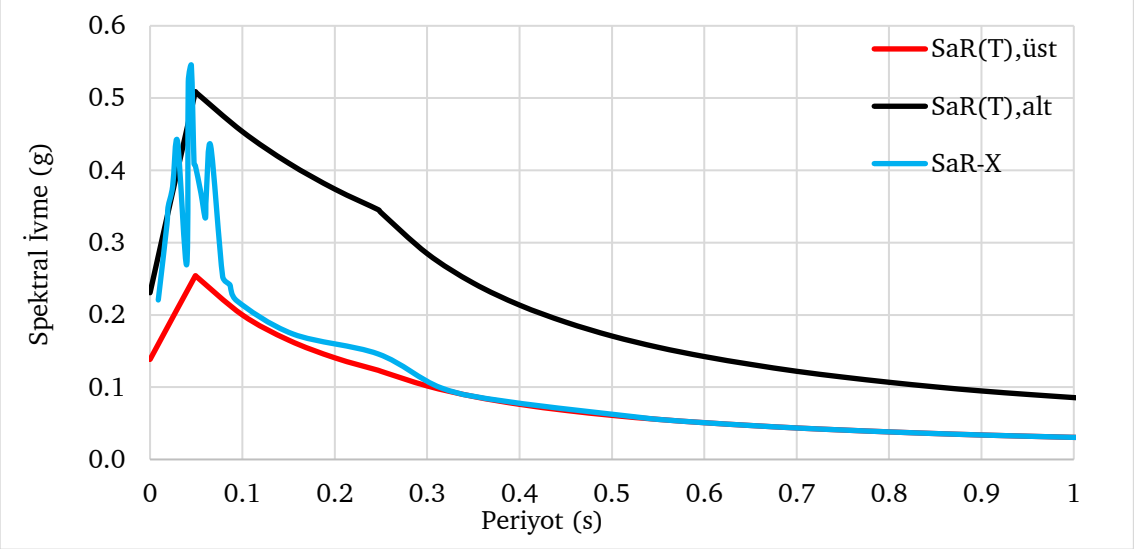


Şekil 4.52 X yönündeki deprem yükü azaltma katsayısı değerleri

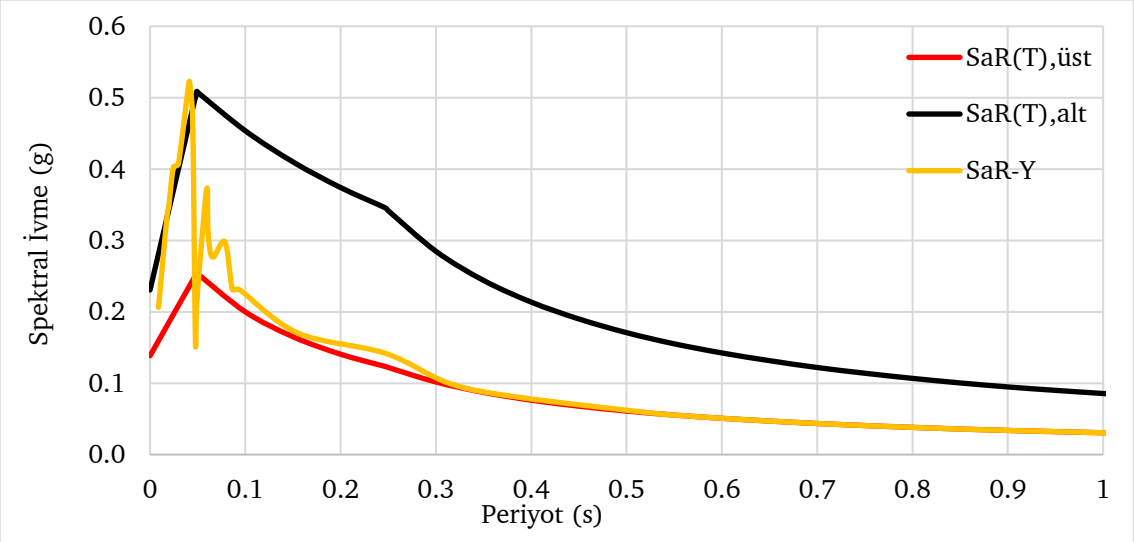


Şekil 4.53 Y yönündeki deprem yükü azaltma katsayısı değerleri

Elde edilen R_a değerleri dikkate alınarak azaltılmış tasarım ivme spektrum değerleri x ve y yönünde hesaplanarak model 1'de uygulanmıştır (Şekil 4.54 ve 4.55).



Şekil 4.54 X yönünde azaltılmış spektral ivme değerleri



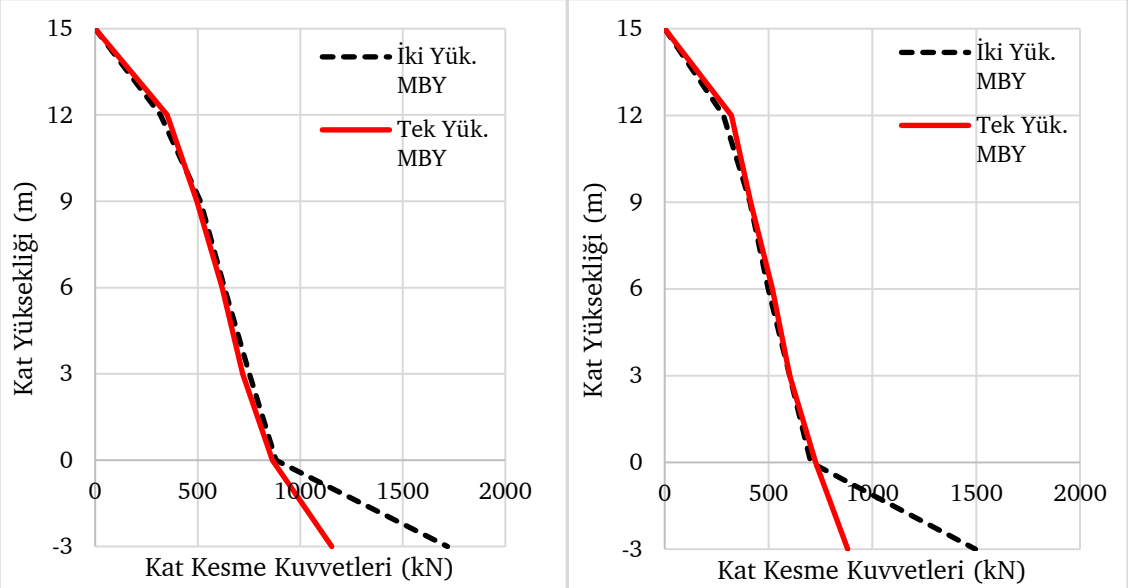
Şekil 4.55 Y yönünde azaltılmış spektral ivme değerleri

Spektrumlardan elde edilen taban kesme kuvvetleri x yönünde 561,29 kN, y yönünde 726,92 kN çıkmıştır. TBDY 2018 bölüm 4.8.4'e göre mod birleştirme yöntemiyle bulunan taban kesme kuvvetleri eşdeğer deprem yükü yönteminden bulunan taban kesme kuvvetleriyle kıyaslandığında eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayıları x yönünde 1.54; y yönünde 0.95 hesaplanmıştır. X yönündeki değerler 1.54 ile çarpılarak arttırılırken y yönü sabit kalmıştır.

4.3.3.1 Model 1'de (Bodrumlu Bina) Mod Birleştirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

- *Kat Kesme Kuvvetleri*

Tek yüklemeli ve 2 yüklemeli mod birleştirme yönteminden bulunan kat kesme kuvvetleri x ve y yönünde sırasıyla Şekil 4.56'de verilmiştir.

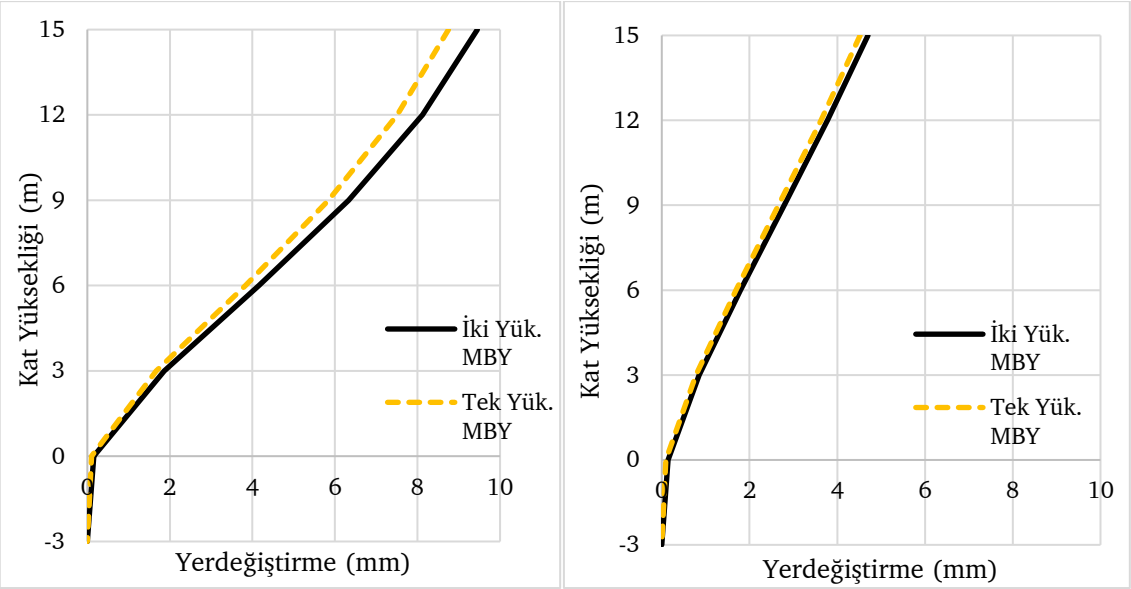


Şekil 4.56 X ve y yönünde oluşan kat kesme kuvvetleri

Sonuçlar incelendiğinde üst katlarda hem x hem de y yönündeki kat kesme kuvvetleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu durum, elde edilen spektrumların ileri periyotlarda üst bölüm spektrum davranışını göstermesine bağlı olarak beklenen bir durumdur. Bodrum katında ise iki yüklemeli MBY'de oluşan kesme kuvveti tek yüklemeli MBY'yeki kuvvete göre x yönünde %49, y yönünde %70 daha fazla çıkmıştır.

- *Yerdeğiştirmeler*

2 farklı mod birleştirme yönteminden elde edilen katlardaki yerdeğiştirme değerleri sırasıyla x ve y yönü için Şekil 4.57'de verilmiştir.

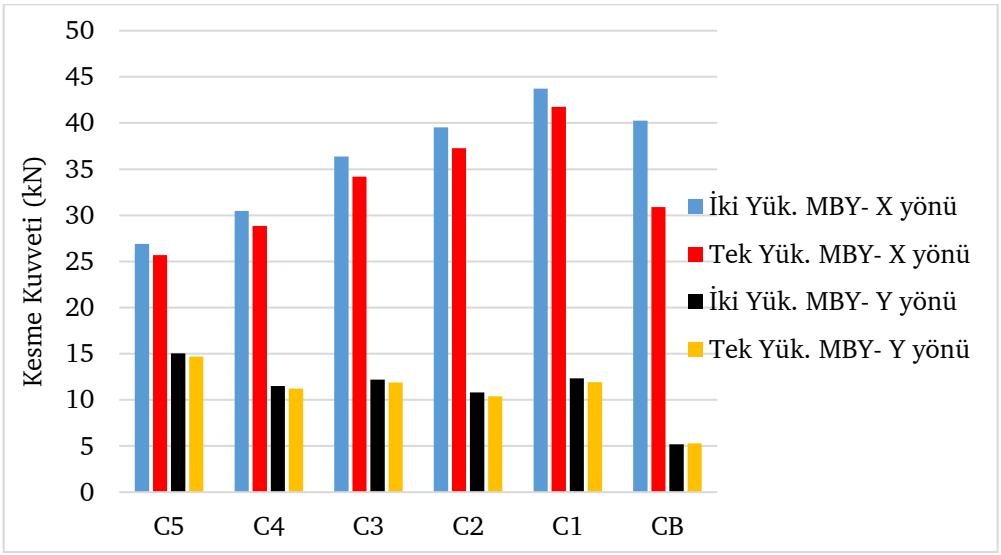


Şekil 4.57 X ve y yönünde katlarda oluşan yerdeğiştirme değerleri

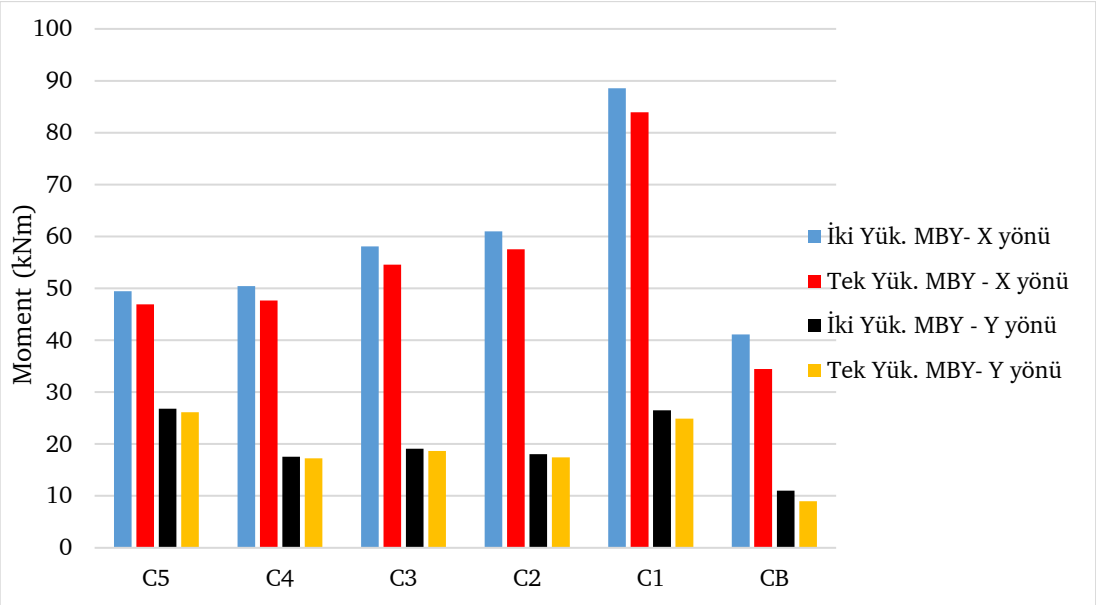
Sonuçlar incelendiğinde her iki yönde de analizler arasında belirgin bir fark oluşmamıştır. İlave olarak tek yüklemeli MBY değerleri iki yüklemeli MBY değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

- ***Kolon ve Perde İç Kuvvetleri***

İki farklı mod birleştirme yönteminden dolayı X-Z (Y=0) düzleminde 1-B aksındaki kolonlarda oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri x ve y yönü için Şekil 4.58-59'da gösterilmektedir.



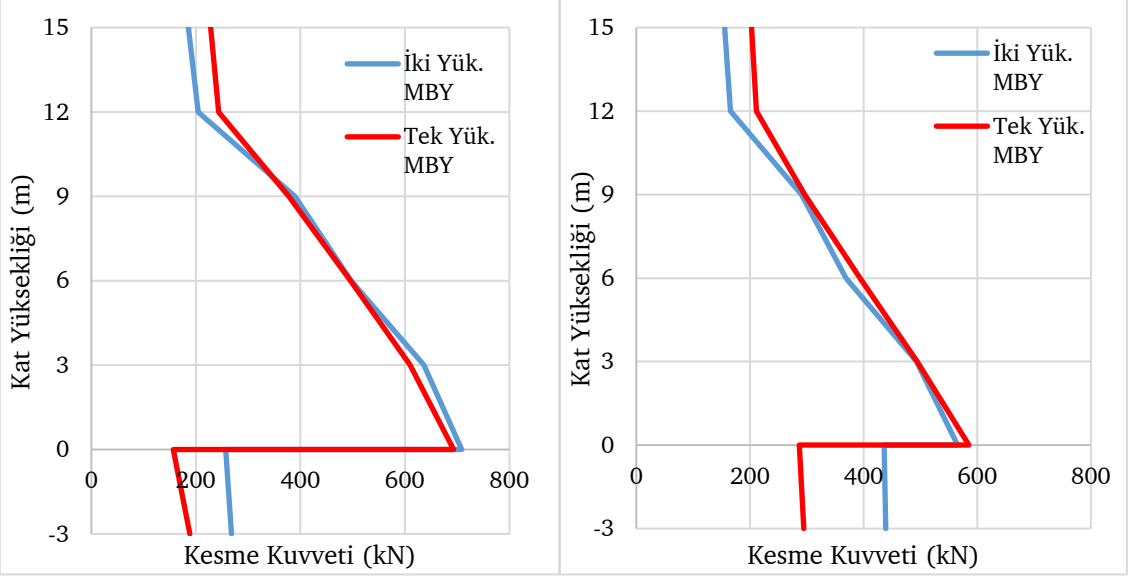
Şekil 4.58 Kolonlarda oluşan kesme kuvveti değerleri



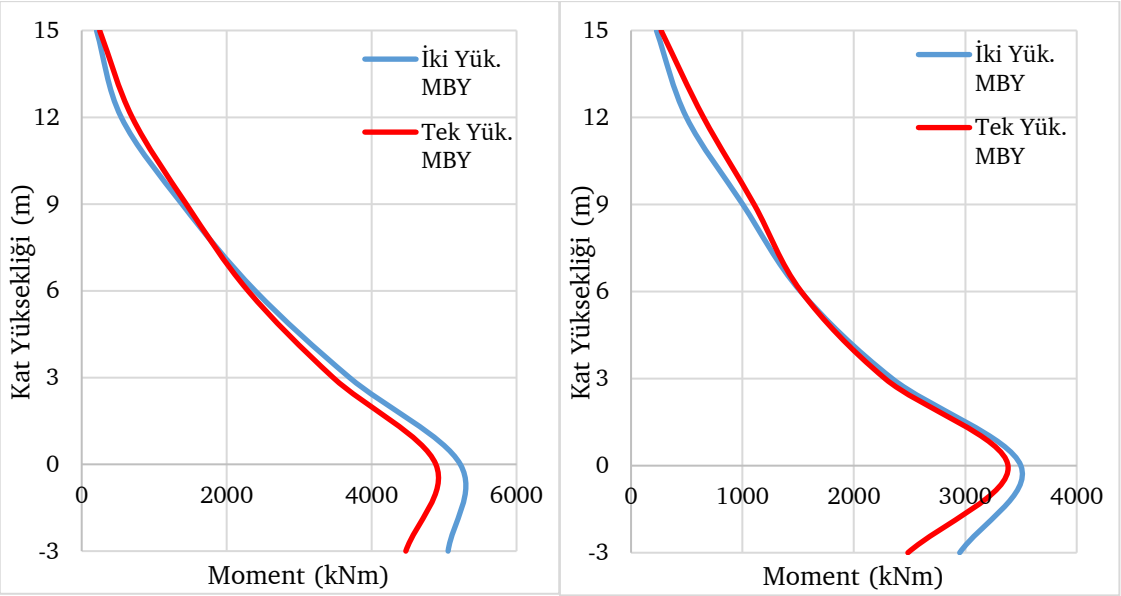
Şekil 4.59 Kolonlarda oluşan moment değerleri

Sonuçlar incelendiğinde her iki mod birleştirme yönteminden elde edilen değerler arasında belirgin bir fark oluşmamıştır.

Çekirdek perdede oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri sırasıyla x ve y yönünde Şekil 4.60-61'de verilmektedir.



Şekil 4.60 X ve y yönünde oluşan kesme kuvvetleri



Şekil 4.61 X ve y yönünde oluşan moment değerleri

Sonuçlar kıyaslandığında hem kesme kuvvetlerinde hem de moment değerlerinde bodrum katta iki yöntem arasında belirgin bir fark oluşmuşken üst katlarda yakın değerler elde edilmiştir. Bodrum katta İki Yüklemeli MBY değerleri tek yüklemeli MBY değerlerinden daha fazla çıkmıştır.

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bodrumlu betonarme binaların davranışının daha iyi anlaşılabilmesi adına TBDY 2018'de bodrumlu binalar için verilen kurallar dikkate alınarak aynı geometri ve malzeme özelliklerinde modellenen model 1 (1 bodrum + 5 katlı), model 2 (5 katlı) ve model 3 (6 katlı) binaları üzerinde Eşdeğer Deprem Yükü ve Mod Birleştirme Yöntemi uygulanmıştır. Model 1'de (Bodrumlu Bina) bodrum için ayrıca deprem hesabı yapılmış ve bodrumun diğer parametrelere etkisini görmek için diğer modellerle çeşitli parametrelerce karşılaştırmalar yapılmıştır.

Yönetmelik çerçevesinde bodrumlu binanın deprem analizinde 2 aşamalı yükleme veya tek yükleme durumundan bahsedilmektedir. 2 aşamalı yükleme üst bölüm ve alt bölümün (bodrum) ayrı ayrı analiz edildiği ve daha sonra elde edilen verilerin yönetmelik kurallarınca birleştirildiği bir yaklaşımdır. Tek yükleme durumu ise bodrumlu binanın üst ve alt bölümünün tümünün dikkate alınarak analizin yapıldığı bir yaklaşımdır. Bu çalışmada her 2 yöntem de uygulanmış ve SAP2000 yazılımı kullanılmıştır.

Analizlerden elde edilen sonuçlar ve sonuçların daha genelleştirilmesi adına çeşitli öneriler aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- Modellerde oluşan modal davranış incelendiğinde tüm binalarda ilk mod burulma 2.ve 3. modlar eğilme çıkmıştır. Bu durum binalarda istenen bir durum değildir. Ancak burulmanın yönetmelik çerçevesinde uygulanabilir sınır içinde kalması ve çalışmanın amacının bodrum kat davranışının incelenmesi sebebiyle geometride herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.
- Düzensizlikler kontrol edildiğinde tüm binalarda A1 (Burulma Düzensizliği) çıkmıştır. Yönetmelik gereğince katlara ek burulma momenti uygulanmıştır. Diğer düzensizlik durumları, etkin göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkiler tüm binalarda kontrol edilmiş ve sınır değerlerin altında kalmıştır.
- Tüm binalarda eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi uygulanmıştır. Taban kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında eşdeğer deprem

yükünde çıkan değer mod birleştirmeden büyük çıkmıştır. Bu sebeple tüm binalarda mod birleştirme yönteminin değerleri eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı ile büyütülmüştür. Deprem analizleri bodrumlu binada üst ve alt bölüme ayrı ayrı uygulanmış ve yönetmelik çerçevesinde sünek ve sünek olmayan davranışa ait kombinasyonlarla birleştirilmiştir. Daha sonra bu değerler diğer modellerle bazı parametrelerce karşılaştırılmıştır.

- Katlarda oluşan maksimum yerdeğiştirmelere bakıldığında genel olarak model 1'deki değerler daha büyük çıkmıştır. Her iki analiz yönteminde de x yönündeki değerler y yönünden daha büyük çıkmıştır. Yöntemler arasında belirgin farklar oluşabilirken modeller arasında belirgin bir fark oluşmamıştır.
- Kolonlarda oluşan maksimum kesme kuvvetleri ve momentler karşılaştırılmıştır. Genel olarak kolonlarda her iki yöntemde de belirgin farklar oluşmamakla birlikte y yönünde C1 ve C5 kolonlarında, x yönünde ise C1 kolonunda bazı farklar oluşmuştur.
- Çekirdek perdede devrilme momentleri ile maksimum kesme kuvveti ve momentler kontrol edilmiştir. Devrilme momentlerinin oranları yönetmelikte verilen sınır değerlerin arasında kalmıştır. Kesme kuvvetleri ve moment değerlerinde model 1'in değerleri bodrum katın varlığı sebebiyle daha küçük, model 2 ve 3'ün değerleri ise genel olarak birbirine yakın çıkmıştır.
- Model 1'de (Bodrumlu Bina) tek yüklemeli Mod Birleştirme Yöntemi uygulanmış ve iki yüklemeli Mod Birleştirme Yöntemiyle karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırılan parametrelerde üst bölümdeki değerler birbirine çok yakın çıkmıştır. Alt bölümde ise iki yüklemeli değerler tek yüklemeli değerlerden daha fazla çıkmıştır. Bodrumun kendi katkısı göz önüne alındığı için bu durum beklenen bir sonuçtur.

Yapılan analizlere göre farklı çalışmalarda uygulanabilecek öneriler şunlardır:

- Bu çalışmada zemin parametreleri dikkate alınmamıştır. Yapı-zemin etkisinin de gözlemlenebildiği zemin parametrelerinin dikkate alındığı çalışmalar yapılabilir.

- Farklı analiz yöntemi olarak Zaman Tanım Alanında doğrusal hesap yöntemi kullanılarak hesap yapılabilir.
- Sonuçların çeşitlendirilmesi adına 1 bodrum+6 katlı, 1 bodrum+7 katlı vb. veya bodrum sayısının arttırıldığı binalarda farklı malzeme, geometri ve taşıyıcı sistem çeşidinde modellenerek değerlendirmeler yapılabilir.

KAYNAKÇA

Abediasl, N. (2019). Seısmıc Resıstant Desıgn Of Buıldıng Structures Wıth Rıgıd Basement Levels, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası.

Allen M., Chung N., Tran A., Zepeda D., (2013). Two-Stage Analysis: Implentation Challenges", Conference Paper, p. 10:1061=9780784412848:192.

Altındal A., Tanrıverdi S. (2002). Bodrumlu yapıların deprem hesabında kat ağırlıklarının ve kat sayılarının değişiminin kolon uç momentleri üzerindeki etkisi. SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 6.Cilt, 2.Sayı, 172-177.

Arıkan, A. (2010). Deprem etkisindeki binaların performansına bodrum katı etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Celep, Z. (2019). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı- İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.

Çağlar, N., Sert, S., Imbabi, M.S. ve Serdar, A.H. (2015) The Effect of a Basement Storey on the Earthquake Response of RC Buildings Constructed on Soft Surface Soil ISITES2015, Valencia, SPAIN.

Çakıroğlu, A. (1995). "Rijit bodrumlu yapıların deprem hesabı üzerine" 3.Uluslararası Deprem Konferansı, 105-121.

Darılmaz K., Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş, Birsen Yayınevi, 2019.

Doran B., Akbaş B., Bozer A., Şenol E. (2019). Yapı Mühendisliği Problemlerinde SAP2000 Uygulamaları- İstanbul, Birsen Yayınevi.

Erdem, Y.K. (2018) Betonarme binalarda rijit bodrum kat sayısının yapısal davranışa etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Giuriani, E., Gubana, A. (2007). Underground Box Structure as a Foundation for Sher Walls in Seismic Resistant Buildings. Journal of Structural Engineering, 133: 559-566

Jeong, S. Y., Kang, T. H. K., Yoon, J. K., Klemencic, R. (2020). Seismic performance evaluation of a tall building: Practical modeling of surrounding basement structures, Journal of Building Engineering, Sayı 31.

Lee, D.G. ve Kim, H.S. (2001). Efficient seismic analysis of high-rise buildings considering the basements, NZSEE 2001 Conference (Sayfa No. 4.11.01)

Moehle J. (2014). "Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings" Mc-Graw Hill Education, USA.

Naeim, F., Tileylioglu, S., Alimoradi, A., Stewart, J. P. (2008). Impact of foundation modeling on the accuracy of response history analysis of a tall building, SMIP08 Seminar Proceedings, California.

Özcan, C. (2008). Kat yüksekliği aynı olan binalar ile bodrum kat yüksekliği daha az olan binaların performansının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Özuygur, A. R., Dilsiz, A. (2021). Rijit Bodrumlu Binaların TBDY 2018'e Göre Tasarımına Yönelik Bir Değerlendirme. International Journal of Engineering Research and Development, 13 (1), 243-249.

SAP2000 (2021). "Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc.", Berkeley, California.

Sucuoğlu, H. (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde Başlıca Yenilikler. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 1(1), 63-75.

TBDY 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Tura, C., Orakcal, K. (2019). Earthquake response analysis of multiple towers on a common podium: a representative case study, Tek. Dergi 30 (6) 9647–9673.

Url-1: https://insapedia.com/tbdy-betonarme-doseme-tasarimi/ (06.03.2022)

Yavuz, İ.Y. (2007). Bodrum kat perde duvarların yapısal düzensizliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yuan X., (2016) Simplified Seismic Design for Mid-Rise Buildings with Vertical Combination of Framing Systems, Ph.D. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada,

Zhou, Y., Chen, P., Wang, C., Zhang, L., Lu, L. (2018). Seismic performance evaluation of tall, multitower reinforced concrete buildings with large bottom podiums, Struct. Concr. 19 (6) 1591–1607.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirisi

1. Karaca B., Sevim B. (2021). “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e Göre Betonarme Binalardaki Bodrum Katın Davranışının İrdelenmesi”, Uluslararası Çevrimiçi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Konferansı, 5-7 Temmuz 2021, Gümüşhane.