BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

BEREVAN HAJE MOHAMMED

ŞUBAT 2023

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

BEREVAN HAJE MOHAMMED

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

ŞUBAT 2023

DİYARBAKIR

BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Berevan HAJE MOHAMMED tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Yapı Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ
Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞİN **(*)**
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ **(**)**
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Erkut SAYIN
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 19 / 02 / 2023

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Vatanıma…

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Berevan HAJE MOHAMMED

İmza: …….……

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bana yön gösteren, destek ve emeklerini esirgemeyen, beni yüreklendiren, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım tez danışmanım sayın Doç. Dr. Mehmet Emin Öncü'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Jüri üyeleri Prof. Dr. Abdulhalim Karaşin, Doç. Dr. Erkut Sayın, Dr. Öğr. Üyesi Gülay Yalçin Bayar ve Dr. Öğr. Üyesi Sedat Savaş hocalarıma da bu tezin daha nitelikli hale gelmesi için yaptıkları eleştiriler ve değerli önerileri için teşekkür ederim.

Yüksek lisans hayatım boyunca her an yanımda olan, zorlu yollarımda benimle birlikte yürüyen, sevgi ve samimiyetiyle içimi rahatlatan, tek derdi neşem olan hayat arkadaşım, kocam, mühendis Murad Khalaf'a sonsuz teşekkürler. Kucağında bütün dertlerimi unuttuğum küçük kızım Peri Khalaf'a teşekkürler.

Ayrıca annem, babam, kardeşlerim ve bu süreçte bana yardımı dokunan herkese teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLOLAR LİSTESİ xv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ xvi
ÖZET xviii
ABSTRACT xix
1. GİRİŞ 1
1.1 Yapısal Konfigürasyonlar 2
1.1.1 Düzenli yapılar ve analiz yöntemleri 3
1.1.2 Düzensiz binaların sismik performansı 3
1.2 Yatay Plan Düzeni 5
1.3 Burulma Düzensizliği 6
1.4 Döşeme Süreksizliği 9
1.5 Yatay Geometrik Düzensizlikler 10
1.5.1 Planda çıkıntılar bulunması 10
1.5.2 Boyut oranı düzensizliği 12
1.5.3 Paralel olmayan yapısal sistemler 12
1.5.4 Düzlem dışı denkleştirme düzensizliği 13
1.6 Düşey Düzlemde Düzenlilik 15
1.7 Katlar Arası Düzensizlikler 15
1.7.1 Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) 16
1.7.2 Kütle düzensizliği 19
1.7.3 Dayanım düzensizliği (zayıf kat) 20
1.8 Düşey Elemanlarının Süreksizliği 22
1.9 Düşey Geometri Düzensizliği 23

1.10 Kısa Kolonlar 26
1.11 Kapalı Çıkma Sistemleri 27
1.12 Binaların Bitişik Sistemleri 28
1.13 Eski Binaların Üzerine Bina İnşası 29
1.14 Duvarlardaki Boşlukların Dağılımı 30
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 31
3. MATERYAL VE METOT 45
3.1 Bina Modellerinin Tanımı 45
3.1.1 Yapı modellerinin ayrıntıları 45
3.1.2 Yapısal modeller 46
3.2 Sismik Etkiler 62
3.2.1 Mod birleştirme yöntemi 63
3.2.2 Zaman tanım alanında analiz yöntemini 65
3.3 Burulma Düzensizliği Hesabı 78
3.3.1 TBDY 2018'e göre burulma düzensizliği hesabı 79
3.3.2 ASCE7 16'ya göre burulma düzensizliği hesabı 79
4. ANALİZ VE BULGULAR 80
4.1 Doğal Titreşim Periyodu ve Titreşim Modları 80
4.2 Dış Merkezlilik 81
4.3 Yanal Yer Değiştirmeler 83
4.4 Göreli Kat Ötelemeler 86
4.5 Burulma Düzensizliği Katsayısı 88
4.6 Depremin Etkime Açısının Burulma Davranışa Etkisi 111
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 113
KAYNAKLAR 117
ÖZGEÇMİŞ 124

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Tipik düzensiz yapılar sistemleri 5
Şekil 1.2 TBDY 2018 Türkiye yönetmeliğinde burulma düzensizliği 7
Şekil 1.3 BIS 2002 Hindistan yönetmeliğinde burulma düzensizliği 7
Şekil 1.4 TBDY 2018 yönetmeliğinde diyafram süreksizliği 9
Şekil 1.5 TBDY 2018 yönetmeliğinde planda çıkıntılar bulunması.....11
Şekil 1.6 BIS 2002 yönetmeliğinde planda çıkıntılar bulunması 11
Şekil 1.7 Boyut oranı düzensizliği.....12
Şekil 1.8 BIS 2002'yinde paralel olmayan yapısal sistemler.....13
Şekil 1.9 Paralel olmayan yapısal sistemler 13
Şekil 1.10 BIS 2002'yinde düzlem dışı denkleştirme düzensizliği 14
Şekil 1.11 Düzlem dışı denkleştirme düzensizliği.....14
Şekil 1.12 Katlar arası yaygın düzensizlikler 16
Şekil 1.13 NZSEE 2014'te rijitlik düzensizliği.....17
Şekil 1.14 BIS 2002'yinde rijitlik düzensizliği 18
Şekil 1.15 Yumuşak kat varlığının etki mekanizması 18
Şekil 1.16 Binalarda yumuşak kat varlığının etki mekanizması 18
Şekil 1.17 BIS 2002'de kütle düzensizliği.....20
Şekil 1.18 Kütle düzensizliği varlığının etki mekanizması.....20
Şekil 1.19 Dayanım düzensizliği varlığının etki mekanizması 21
Şekil 1.20 Binanın orta katlarında zayıf kat 22
Şekil 1.21 TBDY 2018 yönetmeliğinde taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği.....23
Şekil 1.22 BIS 2002'yinde taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının 23
Şekil 1.23 NZSEE 2014'te düşey geometri düzensizliği.....25
Şekil 1.24 BIS 2002'yinde düşey geometri düzensizliği 25
Şekil 1.25 Eurocode-8'de düşey geometri düzensizliği.....25
Şekil 1.26 Düşey geometri düzensizliği.....26
Şekil 1.27 Kısa kolonlardaki hasarlar 27
Şekil 1.28 Yeni Zelanda deprem yönetmeliğindeki kısa kolonlar.....27
Şekil 1.29 Yerel bina modellerinde konsollu sistemleri ve yüklü kapalı çıkmalar ...28
Şekil 1.30 Yerel bina tiplerinde bitişik binalar arasındaki bölme derzler.....29

Şekil 1.31 Yetersiz sismik derz genişliği nedeniyle bina çarpışması 29
Şekil 1.32 Eski mevcut binaların üzerine bina yapılması 30
Şekil 1.33 Donatısız taşıyıcı duvarlarda kritik alanları.....30
Şekil 3.1 Birinci modele ait kat planı.....46
Şekil 3.2 Birinci modele ait üç boyutlu görseli 46
Şekil 3.2 İkinci modele ait kat planı 47
Şekil 3.4 İkinci modele ait üç boyutlu görseli.....47
Şekil 3.5 Üçüncü modele ait kat planı 48
Şekil 3.6 Üçüncü modele ait üç boyutlu görseli.....48
Şekil 3.7 Dördüncü modele ait kat planı.....49
Şekil 3.8 Dördüncü modele ait üç boyutlu görseli 49
Şekil 3.9 Beşinci modele ait kat planı.....50
Şekil 3.10 Beşinci modele ait üç boyutlu görseli 50
Şekil 3.11 Altıncı modele ait kat planı.....51
Şekil 3.12 Altıncı modele ait üç boyutlu görseli 51
Şekil 3.13 Yedinci modele ait kat planı 52
Şekil 3.14 Yedinci modele ait üç boyutlu görseli.....52
Şekil 3.15 Sekizinci modele ait kat planı 53
Şekil 3.16 Sekizinci modele ait üç boyutlu görseli.....53
Şekil 3.17 Dokuzuncu modele ait kat planı.....54
Şekil 3.18 Dokuzuncu modele ait üç boyutlu görseli 54
Şekil 3.19 Onuncu modele ait kat planı 55
Şekil 3.20 Onuncu modele ait üç boyutlu görseli.....55
Şekil 3.21 On birinci modele ait kat planı.....56
Şekil 3.22 On birinci modele ait üç boyutlu görseli 56
Şekil 3.23 On ikinci modele ait kat planı.....57
Şekil 3.24 On ikinci modele ait üç boyutlu görseli 57
Şekil 3.25 On üçüncü modele ait kat planı.....58
Şekil 3.26 On üçüncü modele ait üç boyutlu görseli 58
Şekil 3.27 On dördüncü modele ait kat planı 59
Şekil 3.28 On dördüncü modele ait üç boyutlu görseli.....59
Şekil 3.29 On beşinci modele ait kat planı.....60
Şekil 3.30 On beşinci modele ait üç boyutlu görseli 60

Şekil 3.31 On altıncı modele ait kat planı 61
Şekil 3.32 On altıncı modele ait üç boyutlu görseli.....61
Şekil 3.33 DD-2 deprem düzeyi yatay elastik tasarım spektrumu 64
Şekil 3.34 Kocaeli, 08.17.1999 depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği 66
Şekil 3.35 Kocaeli 99, TBDY 2018elastik spektruma ölçeklendirme grafiği.....66
Şekil 3.36 Borego 68, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği.....67
Şekil 3.37 Borego 68, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği 67
Şekil 3.38 Borego 68, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği 67
Şekil 3.39 Borego 42, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği.....68
Şekil 3.40 Borego 42, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği 68
Şekil 3.41 Borego 42, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği 69
Şekil 3.42 El Alamo 56, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği 69
Şekil 3.43 El Alamo 56, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği 70
Şekil 3.44 El Alamo 56, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği.....70
Şekil 3.45 Helena 35, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği 71
Şekil 3.46 Helena 35, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği.....71
Şekil 3.47 Impval 40, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği 71
Şekil 3.48 Impval 40, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği.....72
Şekil 3.49 Northern Calif 54, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği 72
Şekil 3.50 Northern Calif 54, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği...73
Şekil 3.51 Northern Calif 54, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği 73
Şekil 3.52 Northwest Calif 41, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği 74
Şekil 3.53 Northwest Calif 41, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği.74
Şekil 3.54 Northwest Calif 41, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği 74
Şekil 3.55 Parkfield 66, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği.....75
Şekil 3.56 Parkfield 66, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği.....75
Şekil 3.57 Parkfield 66, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği.....76
Şekil 3.58 Southern Calif 52, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği 76
Şekil 3.59 Southern Calif 52, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği 77
Şekil 3.60 Southern Calif 52, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği 77
Şekil 3.61 San Fernando 71, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği.....78
Şekil 3.62 San Fernando 71, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği .78

Şekil 4.1 ASCE 7-16'a göre temel doğal periyodu 80
Şekil 4.2 TBDY 2018'e göre temel doğal periyodu.....81
Şekil 4.3 Model 1 dış merkezlilik değerleri [m].....81
Şekil 4.4 Model 2 dış merkezlilik değerleri [m].....81
Şekil 4.5 Model 3 dış merkezlilik değerleri [m].....81
Şekil 4.6 Model 4 dış merkezlilik değerleri [m].....81
Şekil 4.7 Model 5 dış merkezlilik değerleri [m].....82
Şekil 4.8 model 6 dış merkezlilik değerleri [m] 82
Şekil 4.9 Model 7 dış merkezlilik değerleri [m].....82
Şekil 4.10 Model 8 dış merkezlilik değerleri [m].....82
Şekil 4.11 Model 9 dış merkezlilik değerleri [m].....82
Şekil 4.12 Model 10 dış merkezlilik değerleri [m].....82
Şekil 4.13 Model 11 dış merkezlilik değerleri [m].....82
Şekil 4.14 Model 12 dış merkezlilik değerleri [m].....82
Şekil 4.15 Model 13 dış merkezlilik değerleri [m].....83
Şekil 4.16 Model 14 dış merkezlilik değerleri [m].....83
Şekil 4.17 Model 15 dış merkezlilik değerleri [m].....83
Şekil 4.18 model 16 dış merkezlilik değerleri [m] 83
Şekil 4.19 EXP deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler 84
Şekil 4.20 EXN deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler 84
Şekil 4.21 EYP deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler 85
Şekil 4.22 EYN deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler 85
Şekil 4.23 EXTH deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler 86
Şekil 4.24 EYTH deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler 86
Şekil 4.25 ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göre maksimum yanal göreli kat öteleme değerleri.....87
Şekil 4.26 ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göreli kat öteleme izin verilen maksimum değerleri.....88
Şekil 4.27 ASCE7 16'ya göre RS analizi M1 için η_{bi} değerleri.....89
Şekil 4.28 TBDY 2018'e göre RS analizi M1 için η_{bi} değerleri 89
Şekil 4.29 ASCE7 16'ya göre TH analizi M1 için η_{bi} değerleri.....89
Şekil 4.30 TBDY 2018'e göre TH analizi M1 için η_{bi} değerleri.....89
Şekil 4.31 ASCE7 16'ya göre RS analizi M2 için η_{bi} değerleri.....90

Şekil 4.32 TBDY 2018'e göre RS analizi M2 için η_{bi} değerleri 90
Şekil 4.33 ASCE7 16'ya göre TH analizi M2 için η_{bi} değerleri.....90
Şekil 4.34 TBDY 2018'e göre TH analizi M2 için η_{bi} değerleri.....90
Şekil 4.35 ASCE7 16'ya göre RS analizi M3 için η_{bi} değerleri.....91
Şekil 4.36 TBDY 2018'e göre RS analizi M3 için η_{bi} değerleri 91
Şekil 4.37 ASCE7 16'ya göre TH analizi M3 için η_{bi} değerleri.....91
Şekil 4.38 TBDY 2018'e göre TH analizi M3 için η_{bi} değerleri.....91
Şekil 4.39 ASCE7 16'ya göre RS analizi M4 için η_{bi} değerleri.....92
Şekil 4.40 TBDY 2018'e göre RS analizi M4 için η_{bi} değerleri 92
Şekil 4.41 ASCE7 16'ya göre TH analizi M4 için ηbi değerleri.....92
Şekil 4.42 TBDY 2018'e göre TH analizi M4 için ηbi değerleri.....92
Şekil 4.43 ASCE7 16'ya göre RS analizi M5 için η_{bi} değerleri.....93
Şekil 4.44 TBDY 2018'e göre RS analizi M5 için η_{bi} değerleri 93
Şekil 4.45 ASCE7 16'ya göre TH analizi M5 için η_{bi} değerleri.....94
Şekil 4.46 TBDY 2018'e göre TH analizi M5 için η_{bi} değerleri.....94
Şekil 4.47 ASCE7 16'ya göre RS analizi M6 için η_{bi} değerleri.....94
Şekil 4.48 TBDY 2018'e göre RS analizi M6 için η_{bi} değerleri 94
Şekil 4.49 ASCE7 16'ya göre TH analizi M6 için ηbi değerleri.....95
Şekil 4.50 TBDY 2018'e göre TH analizi M6 için η_{bi} değerleri.....95
Şekil 4.51 ASCE7 16'ya göre RS analizi M7 için η_{bi} değerleri.....96
Şekil 4.52 TBDY 2018'e göre RS analizi M7 için η_{bi} değerleri 96
Şekil 4.53 ASCE7 16'ya göre TH analizi M7 için η_{bi} değerleri.....96
Şekil 4.54 TBDY 2018'e göre TH analizi M7 için η_{bi} değerleri.....96
Şekil 4.55 ASCE7 16'ya göre RS analizi M8 için η_{bi} değerleri.....97
Şekil 4.56 TBDY 2018'e göre RS analizi M8 için η_{bi} değerleri 97
Şekil 4.57 ASCE7 16'ya göre TH analizi M8 için η_{bi} değerleri.....97
Şekil 4.58 TBDY 2018'e göre TH analizi M8 için η_{bi} değerleri.....97
Şekil 4.59 ASCE7 16'ya göre RS analizi M9 için η_{bi} değerleri.....98
Şekil 4.60 TBDY 2018'e göre RS analizi M9 için η_{bi} değerleri 98
Şekil 4.61 ASCE7 16'ya göre TH analizi M9 için η_{bi} değerleri.....98
Şekil 4.62 TBDY 2018'e göre TH analizi M9 için η_{bi} değerleri.....98
Şekil 4.63 ASCE7 16'ya göre RS analizi M10 için η_{bi} değerleri.....99
Şekil 4.64 TBDY 2018'e göre RS analizi M10 için η_{bi} değerleri 99

Şekil 4.65 ASCE7 16'ya göre TH analizi M10 için η_{bi} değerleri.....99
Şekil 4.66 TBDY 2018'e göre TH analizi M10 için η_{bi} değerleri.....99
Şekil 4.67 ASCE7 16'ya göre RS analizi M10 için η_{bi} değerleri.....100
Şekil 4.68 TBDY 2018'e göre RS analizi M11 için η_{bi} değerleri 100
Şekil 4.69 ASCE7 16'ya göre TH analizi M11 için η_{bi} değerleri.....101
Şekil 4.70 TBDY 2018'e göre TH analizi M11 için η_{bi} değerleri.....101
Şekil 4.71 ASCE7 16'ya göre RS analizi M12 için η_{bi} değerleri.....102
Şekil 4.72 TBDY 2018'e göre RS analizi M12 için η_{bi} değerleri 102
Şekil 4.73 ASCE7 16'ya göre TH analizi M12 için η_{bi} değerleri.....102
Şekil 4.74 TBDY 2018'e göre TH analizi M12 için η_{bi} değerleri.....102
Şekil 4.75 ASCE7 16'ya göre RS analizi M13 için η_{bi} değerleri.....103
Şekil 4.76 TBDY 2018'e göre RS analizi M13 için η_{bi} değerleri 103
Şekil 4.77 ASCE7 16'ya göre TH analizi M13 için η_{bi} değerleri.....103
Şekil 4.78 TBDY 2018'e göre TH analizi M13 için η_{bi} değerleri.....103
Şekil 4.79 ASCE7 16'ya göre RS analizi M14 için η_{bi} değerleri.....104
Şekil 4.80 TBDY 2018'e göre RS analizi M14 için η_{bi} değerleri 104
Şekil 4.81 ASCE7 16'ya göre TH analizi M14 için η_{bi} değerleri.....104
Şekil 4.82 TBDY 2018'e göre TH analizi M14 için η_{bi} değerleri.....104
Şekil 4.83 ASCE7 16'ya göre RS analizi M15 için η_{bi} değerleri.....105
Şekil 4.84 TBDY 2018'e göre RS analizi M15 için η_{bi} değerleri 105
Şekil 4.85 ASCE7 16'ya göre TH analizi M15 için η_{bi} değerleri.....105
Şekil 4.86 TBDY 2018'e göre TH analizi M15 için η_{bi} değerleri.....105
Şekil 4.87 ASCE7 16'ya göre RS analizi M16 için η_{bi} değerleri.....106
Şekil 4.88 TBDY 2018'e göre RS analizi M16 için η_{bi} değerleri 106
Şekil 4.89 ASCE7 16'ya göre TH analizi M16 için ηbi değerleri.....106
Şekil 4.90 TBDY 2018'e göre TH analizi M16 için η_{bi} değerleri.....106
Şekil 4.91 model 1 (e/D) oranı 109
Şekil 4.92 model 2 (e/D) oranı 109
Şekil 4.93 model 3 (e/D) oranı 109
Şekil 4.94 model 4 (e/D) oranı 109
Şekil 4.95 model 5 (e/D) oranı 109
Şekil 4.96 model 6 (e/D) oranı 109
Şekil 4.97 model 7 (e/D) oranı 109

Şekil 4.98 model 8 (e/D) oranı 109
Şekil 4.99 model 9 (e/D) oranı 110
Şekil 4.100 model 10 (e/D) oranı 110
Şekil 4.101 model 11 (e/D) oranı 110
Şekil 4.102 model 12 (e/D) oranı 110
Şekil 4.103 model 13 (e/D) oranı 110
Şekil 4.104 model 14 (e/D) oranı 110
Şekil 4.105 model 15 (e/D) oranı 110
Şekil 4.106 model 16 (e/D) oranı 110

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 Sismik yönetmeliklerde burulma düzensizliği ile ilgili tanımlar 8
Tablo 3.1 Yapı elemanlarının ayrıntıları ve malzeme bilgileri 45
Tablo 3.2 Çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri 62
Tablo 3.3 Sonlu eleman analizinde kullanılan yapı hakkındaki bilgiler.....63
Tablo 4.1 RS analizine göre modellerde burulma varlığının incelenmesi 107
Tablo 4.2 TH analizine göre modellerde burulma varlığının incelenmesi 108
Tablo 4.3 Deprem açısına göre model 16'da maksimum yer değiştirme değerleri.111
Tablo 4.4 Deprem açısına göre model 16'da burulma katsayısının η_{bi} değerleri....112

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
D_{bi}	İ'inci katta ek dışmerkezlik büyütme katsayısı
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
e	Dışmerkezlik [m]
E_{XN}	(X) doğrultusundaki - %5'lik ek dışmerkezlik ile deprem etkisi
E_{XP}	(X) doğrultusundaki + %5'lik ek dışmerkezlik ile deprem etkisi
E_{XTH}	Zaman Tanım Alanında Analizde (X) doğrultusundaki deprem etkisi
E_{YN}	(Y) doğrultusundaki - %5'lik ek dışmerkezlik ile deprem etkisi
E_{YP}	(Y) doğrultusundaki + %5'lik ek dışmerkezlik ile deprem etkisi
E_{YTH}	Zaman Tanım Alanında Analizde (Y) doğrultusundaki deprem etkisi
f_1 (F_v)	1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_c	Beton basınç dayanımı
F_s (F_a)	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_y	Minimum akma dayanımı
g	Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
S_1	1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{ae} (T)	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
S_{D1}	1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
Ss	Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı

T	Doğal titreşim periyodu [s]
δ_{max}	Binanın i. Katında deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme kat içindeki en büyük değeri [m]
δ_i	Binanın i. Katında deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
Δ_i	Ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkı azaltılmış göreli kat ötelemesi [m]
Δ_{ort}	Ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesi [m]
η_{bi}	Burulma düzensizliği katsayısı
λ	Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı

Kısaltma	**Açıklama**
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
CQC	Tam Karesel Birleştirme
D	Dayanım Fazlalığı Katsayısı
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
I	Bina Önem Katsayısı
M	Model
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
RS	Mod Birleştirme Yöntemi (Response Spektrum Analizi)
SDOF	Tek Serbestlik Derece Sistemleri
TH	Zaman Tanım Alanında Analiz (Time History Analysis)

ÖZET

BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Haje Mohammed, Berevan
Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Danışman: Doç. Dr. Mehmet Emin Öncü
Şubat 2023,145 sayfa

Dünyanın tanık olduğu en kötü doğal afetler; dünyanın birçok bölgesini ani, periyodik ve neredeyse düzenli bir şekilde etkileyebilecek olan depremlerden kaynaklanmaktadır. Yapıların sismik davranışını etkileyen en önemli faktörlerden biri, taşıyıcı sistemin plan ve düşeydeki düzeniyle ilişkilidir. Deprem sırasında yapıların göçmesinin nedenleri arasında yapının kütlesi, rijitliği ve geometrisindeki süreksizlik ve düzensizlikler yer almaktadır. Mevcut ve yeni kentsel altyapının büyük bir kısmında düzensiz yapılara sık sık rastlanmaktadır. Plandaki düzensizlikler, deprem sırasında yapıların yıkılmasının önemli nedenlerinden biridir. Binalarda, köprülerde ve kesintisiz hizmet sunan yapılarda aşırı burulma etkisinden kaynaklanan birçok hasar gözlenmektedir. Burulma düzensizliği yüksek binalar için daha fazla bir etkiye yol açmaktadır. Burulma etkisi, depremden kaynaklanan kat ötelemelerinin değişmesine neden olur. Bu da binanın dış akslardaki elemanlarda gerilmelerin yoğunlaşmasına neden olur. Bu çalışmada düzensiz yapıların sismik davranışları ve spesifik olarak burulma düzensizliği incelenmiştir. Çalışmada öncelikle binalarda karşılaşılabilen düzensizlik durumları verilmiştir. Çalışmanın amacına ulaşmak için 16 adet betonarme bina modeli tasarlanmıştır. Bu modeller, perde duvarlarının plandaki konumları değiştirilerek elde edilmiştir. Analiz metodu olarak Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Analiz kullanılmıştır, yapısal çözümlemelerde ETABS programı kullanılmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ve Amerika İnşaat Mühendisleri Birliği (ASCE7-16) yönetmeliklerine uygun olarak her model için ayrı iki yapısal çözümleme yapılmıştır. Böylece, planda perde duvar konumlarının değişimlerinin binaların burulma davranışına etkisini, analiz yöntemleri ve yönetmeliklerin burulma davranışını tanımlamadaki farklılıklarını ortaya koyma imkanı doğmuştur. Ayrıca deprem yüklerinin binaya etkime açılarının değişiminin binaların burulma davranışına etkisi incelenmiştir. İleriki çalışmalarda bina modeli, planda perde duvar konumu, analiz yöntemi, yönetmelik gibi parametreler değiştirilerek yapılarda oluşan burulma etkilerinin farklı yönlerden karşılaştırmalı olarak araştırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Burulma düzensizliği, Düzensiz yapılar, Mod birleştirme, Zaman tanım alanında analiz.

ABSTRACT

EVALUATION OF EARTHQUAKE PERFORMANCES OF BUILDINGS WITH TORSIONAL IRREGULARITY

Haje Mohammed, Berevan
Master of Science in Department of Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin Öncü
February 2023, 145 pages

The worst natural disasters the world has ever seen; They are the product of earthquakes that can affect many parts of the world suddenly, periodically and semi-regularly.One of the most important factors affecting the seismic behavior of structures is related to the plan and the vertical regularity of the structural system.The causes of collapse of structures during an earthquake include irregularities in mass, rigidity, and discontinuities in the geometry of the structure. Irregular structures are common to most existing and new urban infrastructures.Irregularities in the plan are an important reason for the collapse of structures during an earthquake.Many damages have been observed in buildings, bridges and structures providing continuous service due to excessive torsion impact.Torsional irregularity has a greater impact on tall buildings.The torsion effect causes the Storey drift caused by an earthquake to change. This leads to an intensification of stresses in the elements on the outer axes of the building. In this study, the seismic behavior of irregular buildings, especially torsion irregularities, was studied.In the study, firstly, the cases of irregularities that can be encountered in buildings are explained.To achieve the objective of the study, 16 reinforced concrete building models were designed. These models were obtained by changing the positions of the shear walls in the plan.Response Spectrum Analysis Method and Time History Analysis Method was used as methods for analysis, and ETABS software was used for structural analysis.Two separate structural analyzes were performed for each model, in accordance with the Turkey Building Earthquake Regulation (TBDY 2018) and the American Society of Civil Engineers Regulation (ASCE7-16). Thus, it became possible to reveal the effect of changing the positions of shear walls on the torsional behavior of buildings, and the effect of different analysis methods and codes in determining torsional behavior.In addition, the effect of changing the angle of seismic loads on the building on the torsional behavior of the buildings was studied.In future studies, it is proposed to investigate the torsion effects of buildings by comparing different aspects by changing the parameters such as the building model, the position of the shear walls in the plan, the method of analysis, and the codes.

Keywords: Torsional irregularity, Irregular structures, Response spektrum, Time history analysis.

1. GİRİŞ

Canları ve malları korumak, ulusların ve toplumların afetlerle başa çıkma yeteneklerini geliştirmek, inşaat ve bina sistemlerinde daha yüksek hazırlık ve daha düşük riskler elde etmek için mühendislik hâlâ imkânsızı mümkün kılma yeteneğine sahiptir. Bu, yenilenebilir mühendislik metodolojisinin benimsenmesini ve tradisyonel mühendislik metodolojisinin terk edilmesini gerektirir. Deprem mühendisliği açısından, binanın sismik tasarımı, mimarın çizdiği ilk çizgilerden başlar. Dünyanın tanık olduğu en kötü doğal afetler çoğunlukla depremlerden kaynaklanıyorken ve bu depremler dünyanın birçok bölgesini periyodik ve neredeyse düzenli bir şekilde etkiliyorken, başarılı bir mimar; güzel tasarım, verimli işlev ve depreme dayanıklı yapı üçlüsünü birleştirebilir. Çünkü deprem, bölgeleri aniden etkileyerek hem felaketlere hem de yıkıma neden olabilir. Mühendislik bilimlerinin, deprem eylemlerine karşı dayanıklı binalar tasarlamak ve uygulamak için yapı standartlarını ve kodlarını bulması gerekir. Standartları güncel tutmak için ise depremleri analiz etmeye ve incelemeye odaklanılmalıdır.

Depremler çok karmaşık bir jeofizik olarak tanımlanır. Depremler, şiddetli titreme ve dalgalanma şeklinde yer kabuğunun rastgele hareketleri sonucunda ortaya çıkar. Zeminde büyük miktarda salınan, yeryüzünün yüzey katmanlarındaki zemin kırılmaları sonucunda üretilen enerjinin bir sonucudur. Sonuç olarak; özellikle fay bölgesi veya yakınındaki bu tabakalar, yer kayaçlarının sürekli maruz kaldığı kasılmalar ve büyük baskılar nedeniyle kayaçlar arasında düşey/yatay yer değiştirmeler olur. Genel olarak, depremlerin yoğunluğu, hafif hasarlı hafif sarsıntılardan, dünya yüzeyinin çatlamasına yol açan şiddetli sarsıntılara kadar değişir. Kırınım oluşumu, toprak kayması, binaların, yolların, elektrik ve su hatlarının tahribi vb. zayıf zeminlerde; özellikle yeni oluşmuş kumlu ve çamurlu tortullarda sarsıntıların etkisi daha da artar. Bu durum, bu tortulların elastisite ve sertliklerinin düşük modülleri nedeniyle, şiddetli bir şekilde titreşmeleri ve deprem sonucunda parçacıkların maruz kaldıkları ivme etkisini hafifletememesi ile açıklanmaktadır. Sismoloji, deprem veya yer hareketi bilimi ve jeofizik dallarından biridir. Genel olarak sismoloji; dünya'nın yapısı ve katmanlarının incelenmesi, titremelerin kökeni, nedeni ve mekanizması ile ilgilidir. Buna karşılık, deprem mühendisliği sismolojinin verilerine dayanır. Deprem mühendisliği; yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını inceleyerek,

titreşimlerin yapı elemanları üzerindeki etkisini ve yapıların stabilitesini analiz etmekle ilgilenir. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında, deprem mühendisliği açık bir şekilde gelişti. Böylece; deprem mühendisliği uygulamaları her türlü sivil, endüstriyel, tarımsal ve diğer yapıları kapsayarak yapıların hassas sorunlarıyla başa çıkmıştır. Bu çalışmaların önemi, Türkiye'nin dünyanın sismik olarak en aktif bölgelerinden birinde bulunmasından kaynaklanmaktadır [1]. Geçmişte Türkiye'de çok sayıda yıkıcı deprem olmuştur, aslında depremlerde birçok mal ve can zarar görebilir ve yok olabilir. Deprem bölgesi haritalarına göre Türkiye'nin %92'sinin deprem bölgesinde olduğu, nüfusun %95'inin deprem tehdidi altında yaşadığı, büyük sanayi merkezlerinin %98'inin ve barajların %93'ünün deprem bölgesinde yer aldığı bilinmektedir. 1992-2003 yılları arasında meydana gelen 6,3-7,4 büyüklüğündeki Erzincan, Ceyhan, İzmit, Düzce ve Afyon depremleri, Türkiye'de son 14 yılda meydana gelen en yıkıcı depremler arasındadırlar [2]. 1964 -2022 yılları arasında depremler nedeniyle 58.202 kişi hayatını kaybetmiş, 122.096 kişi yaralanmış, yaklaşık 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Bu nedenle Türkiye'de her yıl depremler nedeniyle yaklaşık 1.003 kişi hayatını kaybetmiş ve 7.094 bina yıkılmıştır.

1.1 Yapısal Konfigürasyonlar

Bir mimari tasarım ve yapısal oluşumdan bahsederken bazılarına iki ayrı kavram varmış gibi görünebilir, ancak aslında yapısal elemanların oluşumu ve dağılımı genellikle mimari gereksinimlerin ve değerlendirmelerin bir yansıması olarak görünür. Bu, binanın genel yapısal oluşumunun bir dereceye kadar mimari oluşum tarafından sınırlandırıldığı veya yönetildiği anlamına gelir. Bu nedenle yapıların mimari oluşumunun deprem davranışlarına etkisinden bahsederken yapısal elemanların doğasının ve bazı detaylarının bilinmesi gerekir. Genel olarak, mimari değerlendirmeler (binanın özellikleri, yapısal elemanların oluşturulması ve dağıtılması ve yapısal olmayan elemanlar) binaların sismik davranış mekanizmasını belirler. Binanın özellikleri, binanın şekli, boyutları ve üç boyutlu yansıması dâhildir. Mimari tasarım, yapısal elemanların oluşumunu ve dağılımını etkiler. Örnek: kolonlar, duvarlar ve dolayısıyla kullanılacak yapısal detayların doğasını kısıtlama ve belirlemeye ön koşul koyabilir. Yapısal Olmayan Elemanlar: Bir binadaki yapısal olmayan elemanların çoğunun tasarımı mimarın ayrıcalığı ve sorumluluğundadır. Ancak bu taşınan duvar elemanlarından bazıları (bölme duvarlar ve dış duvarlar gibi)

bireylerin yaşamlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu elemanların depreme dayanıklı binaların şartlarına ve kontrollerine uygun olarak tasarlanmaması ve uygulanmaması yapının kısmen veya bazen tamamen çökmesine neden olabilir. Buna karşılık, binanın özellikleri binanın maruz kaldığı deprem kuvvetinden nasıl etkilendiğinin belirlenmesinde ve bu kuvvetin bina katlarına ve yapı elemanlarına dağıtılma mekanizmasında önemli bir rol oynamaktadır. Binanın özellikleri, binanın kütlesi, çıkıntılarının şekilleri, boyutları ve bu boyutlar arasındaki oran, binanın maruz kaldığı sismik kuvvetin miktarını belirlemede kilit bir faktördür. Tasarımcının bina için uygun özellikleri seçtiğinde, bir yandan tüm yapısal gereksinimler ve standartlar ile diğer yandan maliyet arasında bir denge kurmaya çalışması gerektiği anlamına gelir. Depreme dayanıklı binaların ideal özellikleri, binanın işleyişine ve kullanımına engel olabilir. Örneğin sismik tasarımın ideal durumunu maksimum derecesi ile ele alırsak, bunu başarmanın birçok durumda binanın işleyişi ve kullanımı ile çelişebileceğini görürüz. Mısır'daki Gize Piramitleri gibi piramit bloklu binalar depreme dayanıklı ideal bina örnekleridir.

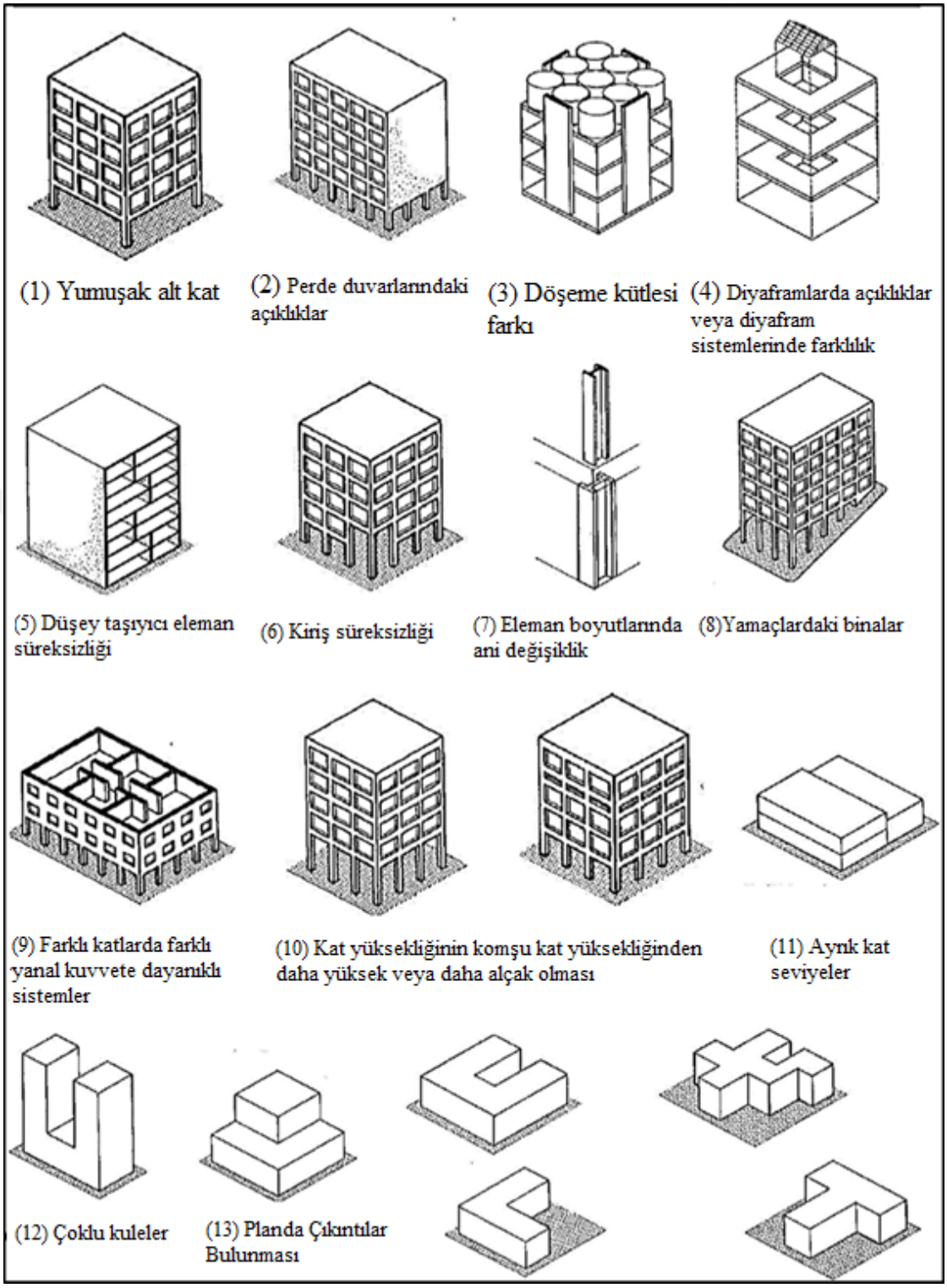
1.1.1 Düzenli yapılar ve analiz yöntemleri

Yapının sadeliği, düzenli yatay ve düşey planları, özellikle; bina ölçülerinde incelik olmaması, yapısal elemanların kesitlerinin simetrik ve düzenli olması, kullanılan malzeme dayanımda ve cinsinde homojen olması, tahmin edilen burulma momentlere dayanacak yüksek ve yeterli mukavemet ve rijitlik var olması, yapının yapısal elemanlarının üç yönde sürekliliği ve devamlılığı sağlanması eşlik etmesi durumunda, depreme etkisi karşı olumlu faktörler olarak kabul edilir. Düzenli bir plana sahip yapılarda, eşdeğer statik yatay deprem kuvvetleri kullanmak mümkündür. Bu deprem kodlarındaki eşdeğer statik yöntemlerden biri kullanılarak yapılır. Bu yöntemlerin (eşdeğer statik yöntemler) kullanımı, düzenli yapılarla sınırlandırılmalıdır. Düzensiz yapıların tasarlanması durumunda, dinamik analiz ve geliştirilen yöntem gibi gelişmiş yapısal analiz yöntemleri kullanılmalıdır.

1.1.2 Düzensiz binaların sismik performansı

Yapılar kodlara ve sismik standartlarda düzenli ve düzensiz yapılar olarak ayrılmıştır, düzensiz yapılar ise sınıflara ve türlere ayrılır, yapının önemine, düzensizliğin miktarına ve türüne, yapının boyutlarına ve özellikle yüksekliğine bağlıdır. Düzensiz

binaların farklı mimari ve yapısal oluşum durumlarını ele almak için, durumun tespiti, depremlerin etki mekanizması, mimari ve işlevsel gereksinimlerin mimari ve yapısal oluşuma etkisi dikkat alınmalı. Ayrıca aynı bölgede veya başka bir ülkede meydana gelen depremlerin neden olduğu çökme ve hasarlardan ders alınarak beklenen sismik davranış ve sismik davranışı iyileştirmek için önerilen çözümlere odaklanmalı ve bunlara dikkat etmeliyiz. Birçok ülkede meydana gelen depremler, basit plana sahip yapıların depremlerin etkisine dayanma konusunda daha büyük bir kapasite ve fırsata sahip olduğunu göstermiştir. Bu aslında birçok nedenden kaynaklanmaktadır, en önemli nedenleri ise, tasarımcının basit bir plana sahip yapının potansiyel davranışını tahmin etmesi genellikle düzensiz yapılara göre daha mümkündür, örneğin, düzensiz yapılarda burulmanın yapı üzerindeki etkisinin sonuçlarının tahmin edilmesi zor kabul edilir. Tasarımcının basit plana sahip yapılar için yapısal detaylar geliştirme yeteneği genellikle düzensiz yapılara göre daha fazladır. Deprem mühendisliği önerileri ve gereksinimlerine göre dörtgen, altıgen, sekizgen veya dairesel yatay düzlemlere sahip yapılar uygun kabul edilir. Depremlerin etkilerine dayanacak şekilde kolayca tasarlanabilir. Rastgele ve karmaşık şekillerdeki yapılar (yatay planlar) L, H, T, X ve Y şekilleri veya sıradan herhangi bir kompozit plana sahip yapılar basit statik sismik tasarım yöntemleri açısından (eşdeğer statik yöntemler kullanılarak tasarım) uygun değildir. Eşdeğer statik yatay sismik yükü yöntemi kullanılarak bu tür yapıların tasarımı için binaların çıkıntılarının ele alınması ve sismik arayıcılar kullanılarak onu özdeş ve düzenli geometrik şekillere bölmek gerekir. Bu sağlanamazsa düzensiz binalar için ideal çözüm, dinamik analiz veya gelişmiş analiz yöntemlerinin kullanılmasıdır. Genel olarak, yapılardaki tüm düzensizlik durumlarını ve biçimlerini saymak mümkün değildir ama bu durumların ve biçimlerin farklı türlerinin önem ve etki dereceleri bakımından farklılık gösterdiğine dikkat edilmelidir. Tipik düzensiz yapılar sistemleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir [3].



Şekil 1.1 Tipik düzensiz yapılar sistemleri

1.2 Yatay Plan Düzeni

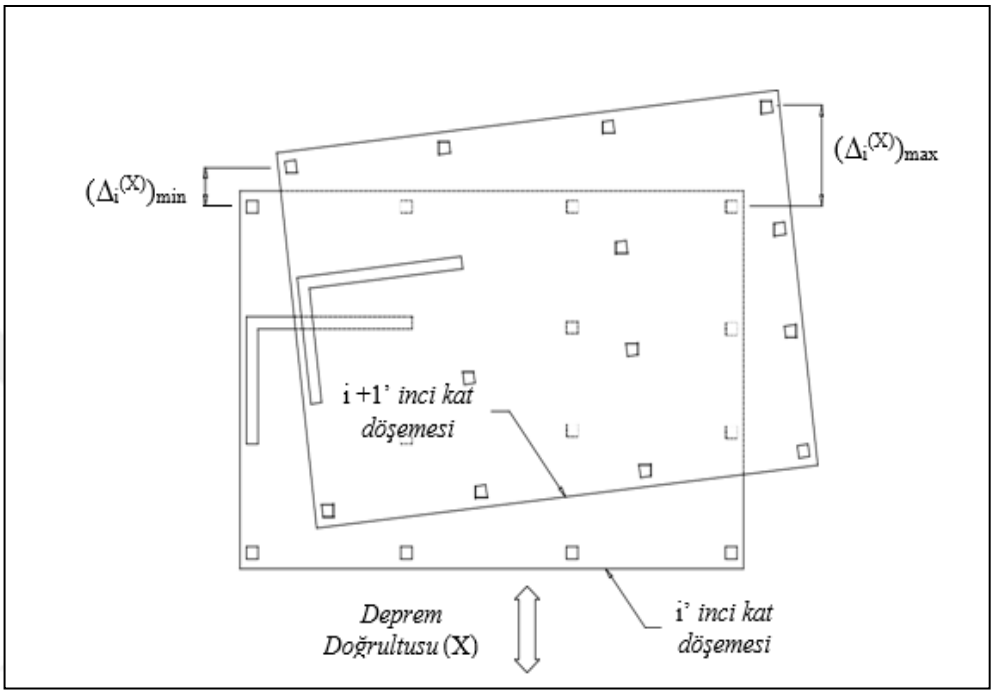
Yapıların sismik davranışı, bu yapıların yatay plan düzeni, geometri simetriyi ve düşey yapısal elemanların dağılımını gibi özelliklerinden açıkça etkilenmektedir. Her bina atalet kuvvetlerine direnen yatay sistem gerektirir, daha sonra belirli bir yönde

sağlanan düşey yapısal elemanlara (kolonlar ve perde duvarlar) dağıtır. Bu yapısal sistemdeki bir düzensizlik binanın stabilitesini bozar [4]. Mimari tasarım konsepti, mekân uygunluğu, bina programı, doğal ışık ve havalandırmanın istenmesi ve potansiyel manzaralardan yararlanma gibi çeşitli faktörler, binaların normal konfigürasyondan uzaklaşmasına neden olur [5]. Mekânsal gereksinimlerin karşılanmasında önemli olan bu plan kararları, depreme dayanıklı yapı tasarımında güvenli yapılar oluştururken önem arz etmektedir. Literatür taraması ışığında, farklı yapısal nedenlere bağlı olarak oluşabilen yatay düzensizlikler olarak; burulma düzensizlikleri, diyafram süreksizlikleri ve geometrik düzensizlikler incelenmiştir. Geometrik düzensizlikler; planda çıkıntılar bulunması, boyut oranı düzensizliği, paralel olmayan sistem düzensizliği ve düzlem dışı denkleştirme düzensizliği olarak dört gruba ayrılabilir.

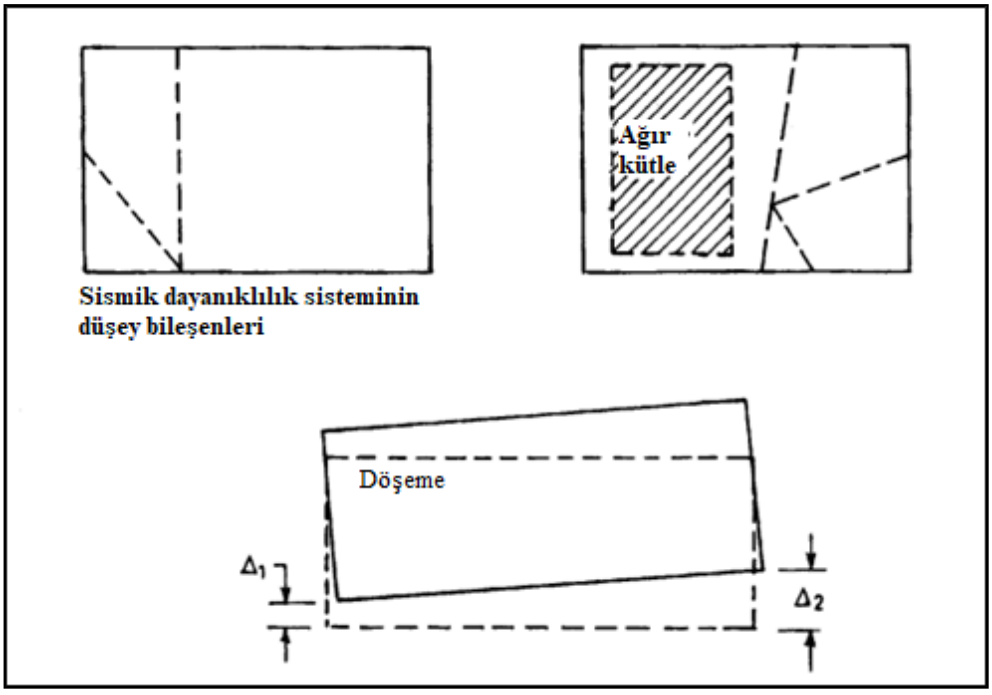
1.3 Burulma Düzensizliği

Yarattığı yıkıcı etki nedeniyle deprem hesaplarında en sık görülen düzensizlik türlerinden biri burulma düzensizliğidir [6]. Burulma düzensizliğini etkileyen ana faktörler, düşey yapısal elemanların rijitlik değişiminin düzlemsel dağılımı ve yapının düzlemsel geometrisidir. Kat planında rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki dışmerkezliğin minimumda tutulması önemlidir. Rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasında dış merkezlilik olması durumunda, yanal kuvvetlerin etkisi altında, kat seviyesinde burulma momenti oluşur. Burulma momenti, kolonlarda ek kesme kuvvetlerine neden olma eğilimindedir. Bu ilave kesme kuvvetlerinin, deprem yükleri altında yüksek kesme kuvvetlerine maruz kalan kolonlara etkisi istenmeyen bir durumdur [6,7]. Toplanan veriler ışığında tüm sismik kodlar bu düzensizliğe önem vermektedir. Ancak farklı yöntemlerle tanımlanırlar. Örneğin; Türkiye (TBDY 2018) [8], Çin (MOHURD, 2010) [9], Hindistan (BIS, 2002) [10] ve ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2016) [11] katların göreli yer değiştirmelerine göre burulma düzensizliğini dikkate almaktadırlar. Bu hesap yönteminde yönetmeliklerin deprem tasarım kriterleri kullanılır ve yapının dinamik davranışına göre burulma düzensizliği tanımlanır. Ancak Yeni Zelanda (NZSEE, 2014) [12], Meksika (FDGM, 1995) [13] ve Eurocode-8 (CEN, 2004) [14] kodlarına göre düzensizlik tanımı, kütle merkezi ile rijitlik arasındaki mesafeye göre yapılmaktadır. İran sismik yönetmeliği (BHRC, 2007) [15], burulma düzensizliğini, kütle merkezi ile rijitlik arasındaki mesafeye ve ilgili kat

deplasmanlarına göre tanımlamıştır. Ek olarak, Yeni Zelanda ve ASCE/SEI 7-10 kodları, elde edilen değerlere dayalı olarak yapısal performansla ilgili bu düzensizliği derecelendirmiştirler [16]. Türkiye ve Hindistan yönetmeliklerinde burulma düzensizliği ile ilgili görseller Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'te sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 1.2 TBDY 2018 Türkiye yönetmeliğinde burulma düzensizliği



Şekil 1.3 BIS 2002 Hindistan yönetmeliğinde burulma düzensizliği

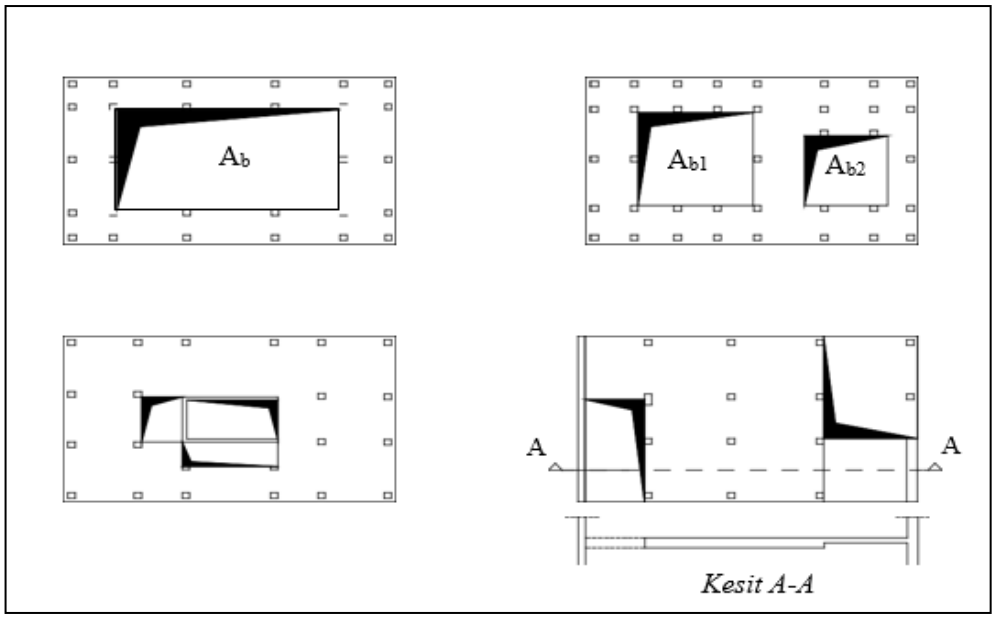
İncelenen sismik yönetmeliklerde burulma düzensizliği başlığı altındaki ilgili tanımlar Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 Sismik yönetmeliklerde burulma düzensizliği ile ilgili tanımlar

Ülke	İncelenen kod kısaltması	Tanımlar
Türkiye	(TBDY 2018)	Birbirine dik iki deprem yönünden herhangi biri için herhangi bir kattaki maksimum kat ötelemesinin aynı katta aynı yöndeki ortalama kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi}'nin 1,2'den büyük olduğu durum. Kat ötelemeleri, ± %5 ek dışmerkezliklerin etkileri dikkate alınarak hesaplanacaktır.
ASCE/SEI 7-10	(ASCE, 2016)	Burulma düzensizliği, yapının bir ucunda A_x = 1,0 ile tesadüfi burulma dahil hesaplanan maksimum kat ötelemesinin, yapının iki ucundaki kat ötelemelerinin ortalamasının 1,2 katından fazla olduğu durumlarda var olarak tanımlanır. Aşırı burulma düzensizliği, yapının bir ucunda A_x = 1,0 ile tesadüfi burulma dahil hesaplanan maksimum kat ötelemesinin, yapının iki ucundaki kat ötelemelerinin ortalamasının 1,4 katından fazla olduğu durumlarda var olarak tanımlanır Burulma düzensizliği ve Aşırı burulma düzensizliği gereklilikleri, yalnızca diyaframların rijit veya yarı rijit olduğu yapılar için geçerlidir.
Çin	MOHURD, 2010	Belirtilen yatay kuvvetin etkisi altında, bir katın maksimum elastik yatay yer değiştirmesi (veya kat ötelemesi), bu katın her iki ucundaki elastik yatay yer değiştirmenin ortalamasının (veya kat ötelemesi) 1,2 katından daha büyük olduğu durum.
Hindistan	BIS, 2002	Yapının bir eksene göre bir ucundaki tasarım eksantrikliği ile hesaplanan maksimum kat ötelemesi, yapının iki ucundaki kat ötelemelerinin ortalamasının 1,2 katından fazla olduğunda, burulma düzensizliğinin mevcut olduğu kabul edilmelidir.
Yeni Zelanda	NZSEE, 2014	Kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki sapma > 0,5 genişlik (şiddetli) Kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki sapma > 0,3 genişlik (önemli) Kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki sapma ≤ 0,3 genişlik veya düşey olarak yönlendirilmiş elemanlardan etkili burulma direnci elde edilen durum. (önemsiz).
Meksika	FDGM	Herhangi bir katta, burulma dışmerkezliği ***es***, dışmerkezliğe paralel olan plan boyutun yüzde 10'unu geçmeyecektir.
EUROCODE-8	CEN, 2004	Her katta ve her analiz yönü x ve y için, yapısal dışmerkezlik ***eo*** ve burulma yarıçapı ***r*** aşağıdaki iki koşula uygun olacaktır: y analiz yönü için ifade edilen: **eox ≤ 0,30. rx; rx ≥ ls** **eox**, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki mesafedir ve dikkate alınan y analiz yönüne için normal olan x yönü boyunca ölçülür. **rx**, y yönündeki burulma rijitliğinin yanal rijitliğe oranının kareköküdür. **ls**, plandaki kat kütlesinin dönme yarıçapıdır.
İran	BHRC, 2007	Her katta, yapının bir ucundaki tesadüfi burulma dahil maksimum kat öteleme, yapının iki ucundaki kat ötelemelerinin ortalamasının %20'sini geçmeyecektir. Her katta, her bir ortogonal yöndeki kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki mesafe, o yöndeki bina boyutunun %20'sini geçmeyecektir.

1.4 Döşeme Süreksizliği

Binalara gelen yatay yükler esas olarak döşemelerde yoğunlaşmakta ve döşemeler tarafından düşey yapı elemanlarına dağıtılmaktadır, bu nedenle deprem etkilerinden kaynaklanan atalet kuvvetlerinin döşemelere ve döşemelerden kiriş, kolon, perde duvar gibi taşıyıcı sistem elemanlarına aktarılması gerekmektedir [17]. Binalarda aydınlatma, galeri boşluğu gibi mimari nedenlerle veya asansör kovası, tesisat kuyuları gibi mekanik nedenlerle farklı şekil ve büyüklükteki döşemelerde açıklıklar bulunmaktadır [18]. Döşemedeki açıklıklar belirli oranların üzerine çıkarsa deprem kuvvetlerinin yapı elemanlarına iletilmesini engeller ve dolayısıyla diyaframlarda süreksizlik düzensizliğine neden olur ve gerilme yoğunlaşması oluşur. [16]. Yapılan incelemeler ışığında sismik yönetmeliklerde diyafram süreksizliği tamamen plan geometrisine göre değerlendirilmiş ve planda ani rijitlik değişiminden kaynaklanan bir düzensizlik oluşabileceği vurgulanmıştır. Ancak limit değerler kodlar arasında farklılık göstermektedir. Meksika (FDGM, 1995), Çin (MOHURD, 2010) ve Türkiye (TBDY 2018) deprem yönetmeliğinde döşemelerdeki boşluk oranı sırasıyla %20, %30, %33 ile sınırlandırılmıştır. İran sismik yönetmeliği (BHRC, 2007), Hindistan (BIS, 2002) ve ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2016) kodlarda bu oran %50 ile sınırlandırılmıştır. Yeni Zelanda kodunda (NZSEE, 2014) ve Eurocode-8'de (CEN, 2004) bu düzensizlik başlığı altında herhangi bir açıklama bulunmamaktadır. TBDY 2018'de döşeme süreksizlik ile ilgili görsel Şekil 1.4'te gösterilmektedir.



Şekil 1.4 TBDY 2018 yönetmeliğinde diyafram süreksizliği

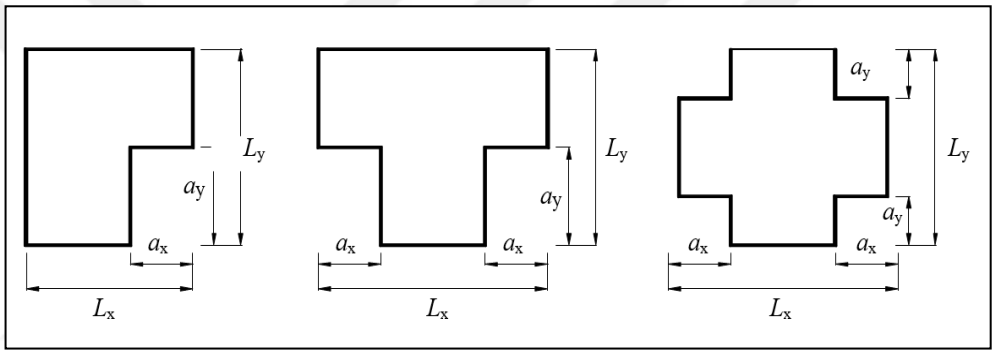
1.5 Yatay Geometrik Düzensizlikler

Bir binanın deprem sırasındaki davranışı öncelikle genel şekline bağlıdır ve düşey yapı elemanlarının tasarımını, binanın geometrisini ve boyutunu etkiler. Yapının basit bir şekilde düzenlenmesi, yüksek bir deprem direnci sağlar ve tasarım aşamasında plan geometrisinde meydana gelebilecek düzensizliklerin önlenmesi, yapısal davranış açısından çok önemlidir [19]. Planda düzensiz geometriye sahip binaların yapısal davranışları, sıcaklık farkı, akma ve büzülme gibi zamana bağlı deformasyonlar, farklı oturmalar ve dinamik kuvvetlere farklı tepkiler gibi nedenlerle olumsuz etkilenebilmektedir. Bu nedenle, bazı taşıyıcı sistem elemanları aşırı gerilmelere maruz kalabilir. Davranış ve fizikte birbirinden farklı olan plandaki geometrik düzensizlikler; planda çıkıntılar bulunması, boyut oranı düzensizliği, paralel olmayan sistem düzensizliği ve düzlem dışı denkleştirme düzensizliği olarak yer almaktadır.

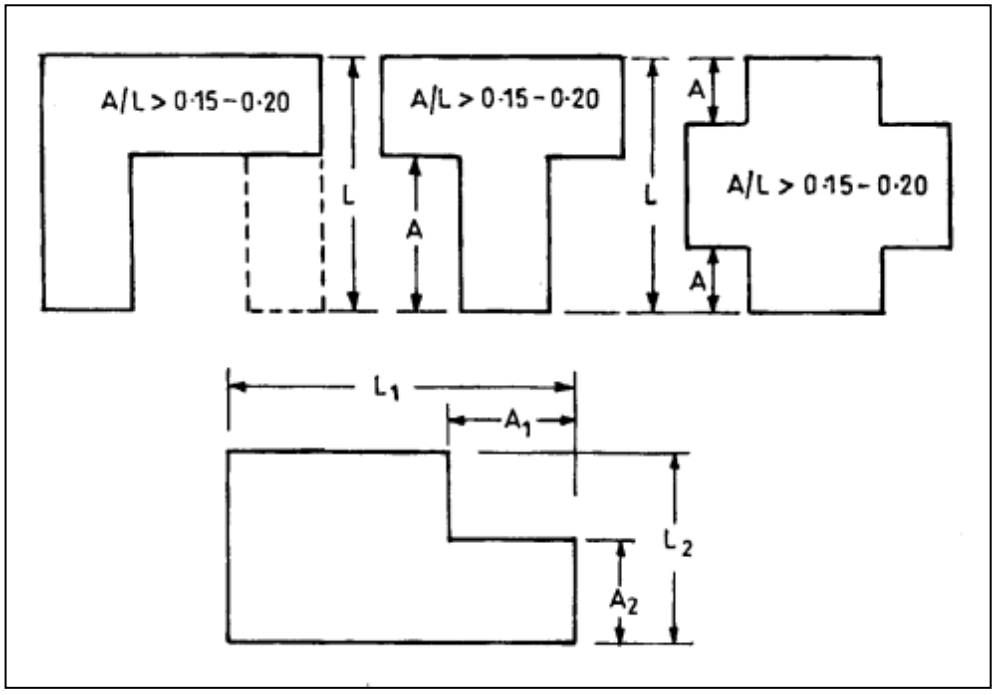
1.5.1 Planda çıkıntılar bulunması

Yatay planları bileşik veya karmaşık şekillerden oluşan, (L,Y,X,H gibi) veya bu şekillerin birleşiminden oluşan yapılardır. Birçok mühendis, bu formların sağladığı mimari ve işlevsel çözümler nedeniyle bu tür yapı formlarını kullanmaya başvurur. Bu yapı tiplerinin sismik kuvvetlere maruz kalması durumunda rijitlik dağılımında farklılık oluşturması, binanın bölümlerinin hareketlerinde bir fark olacağı anlamına gelir ve böylece parçaların birleştiği yerde gerilmelerin yoğunlaşması ve burulma etkisi oluşturması, sismik kuvvetlerin altında tüm yönlerine göre kütle ve rijitlik merkezlerinin uyumsuzluğu (dış merkezlik) oluşturması ile sonuçlanabilir. Ortaya çıkabilecek sorunların boyutu ve ciddiyeti, binanın kütlesi, taşıyıcı sistemi, kanatların uzunluğu (parçaları) ve bu kanatların boyutları arasındaki ilişki ile bağlıdır ve sismik çözümü veya uygunluğu, binayı ayırmak ve basit düzenli parçalara ve şekillere bölmek veya sismik kesme kuvvetlere dayanıklı yapı elemanları ekleyerek, yapıyı parçalarının kesişim noktasında güçlü bir şekilde bağlamak çözümleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. İçe veya dışa doğru oluşturulan bina köşeleri, geometrik düzensizliklerin en yaygın uygulamalarından biridir. Bu uygulamalar, dinamik deprem etkileri altında enerji yoğunlaşmalarına maruz kalmakta ve bu da köşelerde ciddi gerilme yığılmalarına neden olmaktadır. İncelenen kodlarda planda çıkıntılar bulunmasına ilişkin düzensizlik tanımları genellikle plan geometrisindeki ölçülere göre yapılmıştır ancak sınır değerler farklılık göstermektedir [16]. Her doğrultudaki

çıkıntı boyutu plan boyutuna oranların sınır değerleri, %30 Çin (MOHURD, 2010), %25 İran (BHRC, 2007), %20 Türkiye (TBDY 2018) ve Meksika (FDGM, 1995), %15 Hindistan (BIS, 2002) ve ASCE (ASCE, 2016) olarak değişmekte. Eurocode-8 (CEN, 2004)'te bu düzensizlik alan değeri ile ifade edilir ve sınır %5'tir, ayrıca L, C, H ve X planlı yapılar, kanatların varlığı nedeniyle yapının genel davranışı açısından daha dikkatli incelemeyi gerektirmektedir. Yeni Zelanda kodu (NZSEE, 2014), bu düzensizliğin ayrıntılı bir tanımını bileşik geometri başlığı altında tasarlamış ve plan boyutlarının oranını kullanarak tanımlamıştır. Türkiye ve Hindistan yönetmeliklerinde planda çıkıntılar bulunması ile ilgili görseller Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da sırasıyla gösterilmektedir.



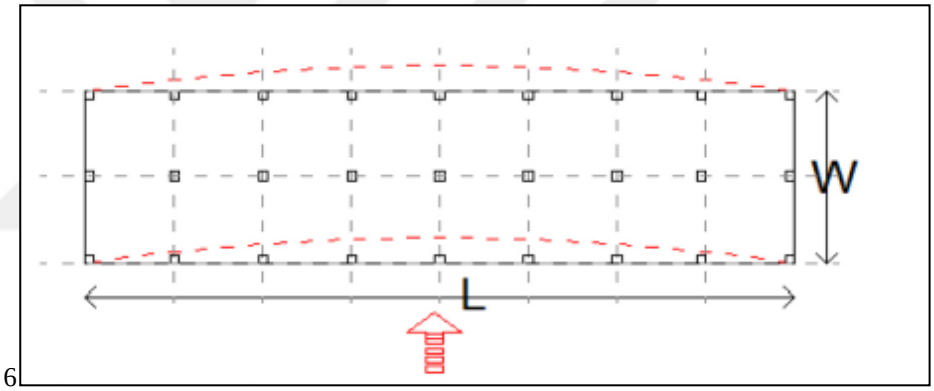
Şekil 1.5 TBDY 2018 yönetmeliğinde planda çıkıntılar bulunması



Şekil 1.6 BIS 2002 yönetmeliğinde planda çıkıntılar bulunması

1.5.2 Boyut oranı düzensizliği

Yapıların boyutları birbirine yakın ise yapı yatay yüklerin etkisi altında kararlı bir davranış sergiler. Boyutlar arasındaki farkın artması plandaki narinliği artırmakta ve plandaki narinliğin etkisi yapıda titreşim, ısı, büzülme ve farklı oturmalardan dolayı farklı davranışlar oluşturmaktadır. Düzensizlik başlığı altında incelenen kodlardan sadece üç tanesi plan geometrisine dayalı tanımlamalar içermektedir ancak bu kodlarda sınır değerler farklılık göstermektedir. Meksika deprem yönetmeliğine (FDGM, 1995) ve Eurocode-8'e (CEN, 2004) göre narinlik oranının sınırı sırasıyla 2,5 ve 4'tür. Yeni Zelanda yönetmeliğinde (NZSEE, 2014) bu düzensizlik, farklı değer aralıklarında taşıyıcı sistem aks aralığının bina genişliğine oranına göre detaylı olarak incelenmektedir. Boyut oranı düzensizliği ile ilgili açıklayıcı görsel Şekil 1.7'de gösterilmektedir [16].



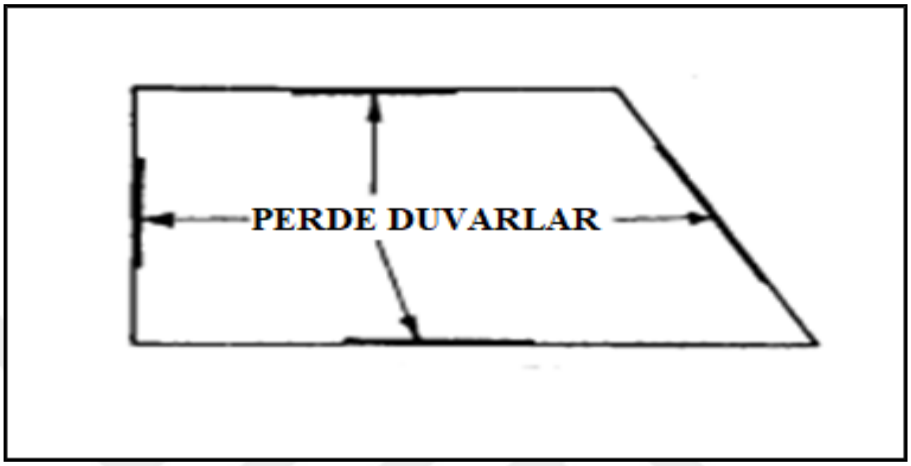
6

Şekil 1.7 Boyut oranı düzensizliği

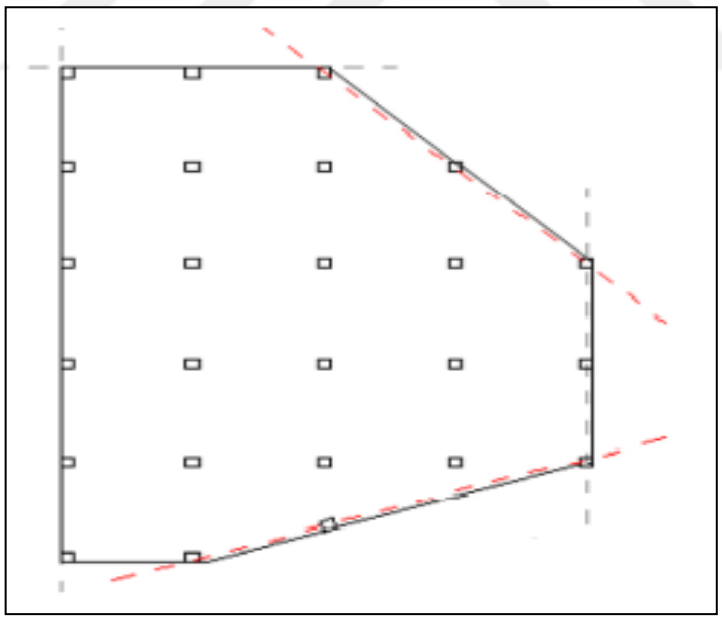
1.5.3 Paralel olmayan yapısal sistemler

Yanal kuvvete karşı olan düşey elemanlar deprem sistemin asal ortogonal eksenlerine ne paralel ne de simetrik ise paralel olmayan sistemde düzensizliği vardır. [20] Bu tür düzensizlikler genellikle sokak kesişmelerin sonucu olarak veya tasarımdaki mekân organizasyonu gerekliliklerinden kaynaklanır. Mimarlar planlamaya genellikle parsel formuna göre başlar. Bunu yapmaktaki temel amaçları, maksimum parsel alanından malik istekleri doğrultusunda yararlanmaktır [21]. Tasarım sırasında değiştirilmesi çok zor olan bu gerekliliklerin yarattığı bu düzensizlik, binaların burulma veya yerel gerilme yoğunlaşmalarına maruz kalmasına neden olur. Paralel olmayan sistem düzensizliğin tanımı Çin (MOHURD, 2010), İran (BHRC, 2007), Meksika (FDGM, 1995), ASCE/SEI7/16 (ASCE, 2016) ve Hindistan (BIS, 2002) sismik kodlarında ele

alınmaktadır. Genel olarak düşey yapı elemanlarının birbirine dik iki eksene göre paralel veya simetrik olduğundan bahsedilmiştir. Ancak bu konuda herhangi bir sınırlama yapılmamıştır. Hindistan yönetmeliğinde paralel olmayan yapısal sistemler ile ilgili görsel ve paralel olmayan yapısal sistemler ile ilgili açıklayıcı görsel Şekil 1.8 ve Şekil 1.9'da sırasıyla gösterilmektedir [16].



Şekil 1.8 BIS 2002'yinde paralel olmayan yapısal sistemler

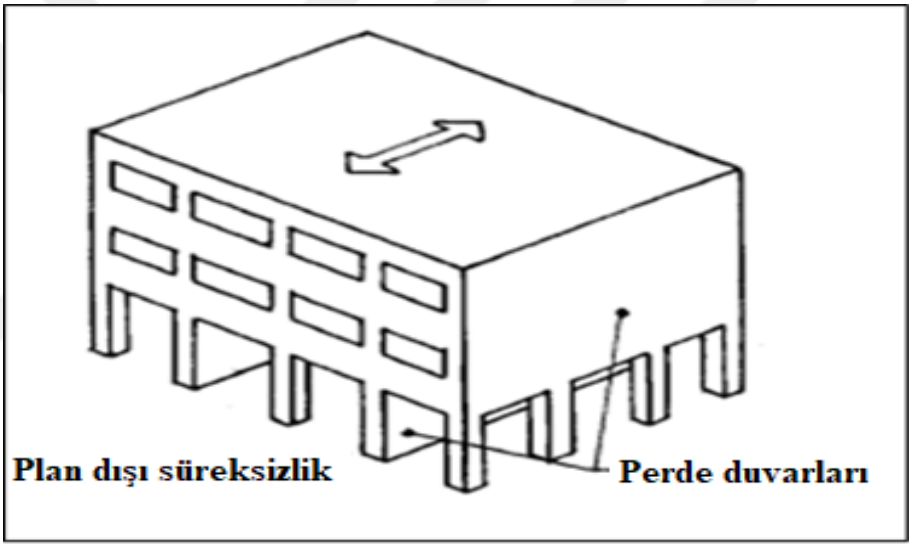


Şekil 1.9 Paralel olmayan yapısal sistemler

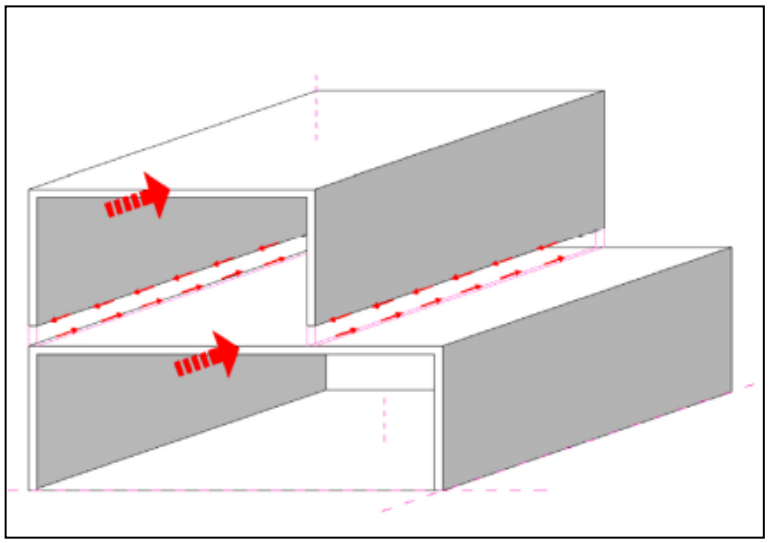
1.5.4 Düzlem dışı denkleştirme düzensizliği

Yapı elemanlarının akslar üzerine yerleşimi ve bu eksenlerin bina yüksekliği boyunca devam etmesi, rasyonel yapı davranışı için önemli bir kriterdir. Taşıyıcı sistemdeki düşey eleman süreksizlik düzensizliğinden farklı olarak, düzlem dışı denkleştirme

düzensizliği, yatay kuvvet taşıyan düşey elemanların yapı yüksekliği boyunca devam eden kendi ekseni yerine başka bir eksen üzerinde yer almalarını ifade eder. Eksenden sapma, binanın rijitlik merkezini belirli bir yöne kaydırmasına neden olur. Yatay kuvvetlerin iletimi sırasında aşırı gerilmelere neden olan bu düzensizlik yalnızca ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2016) ve Hindistan (BIS, 2002) kodlarında ele alınmıştır. Bu yönetmeliklerde düşey yapı elemanlarının düzlem dışı olması durumunda bu düzensizliğin oluşacağı belirtilmiş, herhangi bir sınır değer verilmemiştir. Hindistan yönetmeliğinde düzlem dışı denkleştirme düzensizliği ile ilgili görsel ve düzlem dışı denkleştirme düzensizliği ile ilgili açıklayıcı görsel Şekil 1.10 ve Şekil 1.11'de sırasıyla gösterilmektedir [16].



Şekil 1.10 BIS 2002'yinde düzlem dışı denkleştirme düzensizliği



Şekil 1.11 Düzlem dışı denkleştirme düzensizliği

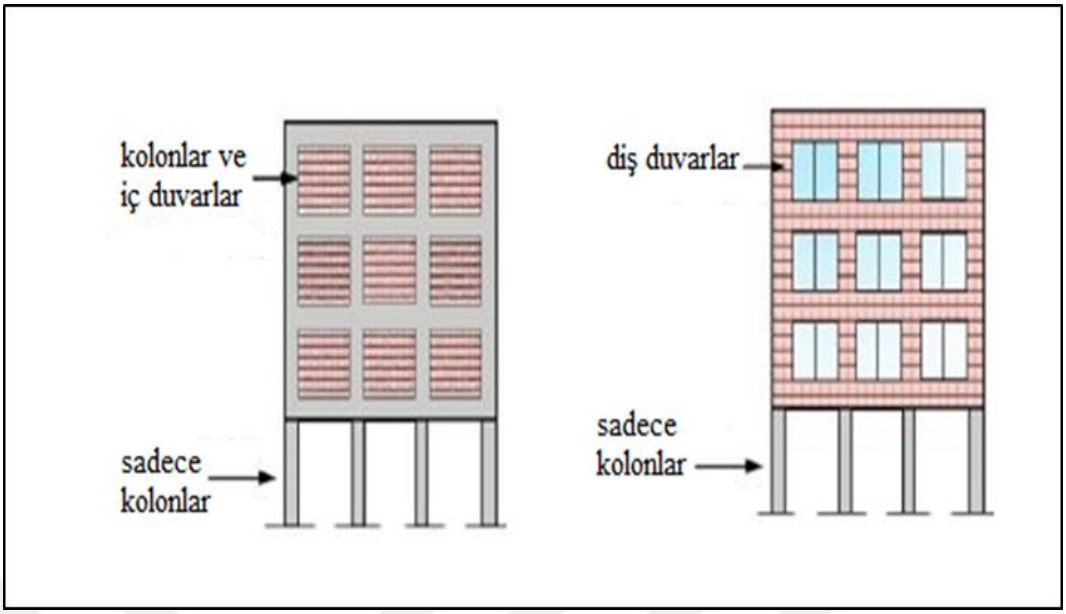
1.6 Düşey Düzlemde Düzenlilik

Bazı mimari ve işlevsel gereksinimleri karşılamak için yatay ve düşey düzlemlerde düzenlilik ve simetri sağlamayan birçok mimari üslup ve mimari tarz kullanmaya başvurulur. Buna karşılık, binaların düşey oluşumu, bu binaların sismik davranışını kontrol eden ana faktörlerden biridir. Sismik gerçekler ve olaylar bunu gösterir ki düşey düzlemlerin şekillerinde yaklaşık simetri olmaması ve yapı elemanlarının bir kattan diğerine rijitliklerindeki büyük farklılıklar olması hem şekil hem de rijitliğin ani değiştiği alanlarda gerilmelerin ve deformasyonların gelişmesine büyük katkı sağlar. Tek bir katın bölümlerinde veya katlar arasında kütle dağılımındaki büyük bir değişiklik, gerilmelerin ve deformasyonların gelişmesine yol açar.

Deprem yüklerinin etkisiyle oluşan hasarlar, öncelikle taşıyıcı sistemdeki zayıf noktalarda ortaya çıkmakta ve bu zayıflığın başlıca nedenleri, yanal deprem yüklerine dayanıklı taşıyıcı sistem tasarımındaki eksikliklerdir. Deprem sırasında bina hasarlarının ve çökmelerinin ana nedenlerinden biri, daha önce de belirtildiği gibi, mimari tasarımdan kaynaklanan yapısal düzensizlikler olup, geçmiş depremlerde düşey yapısal düzensizliklere sahip hasarlı yapılara birçok örnek verilebilir [22-23]. Bu bakımdan, bir binanın taşıyıcı sisteminin neresinde deprem hasarı oluşabileceğini tasarım aşamasında tahmin etmek gerekir. Farklı sebeplerle oluşan düşey yapı düzensizlikleri literatür taraması sonucunda üç ana başlık altında incelenmiştir. Katlar arası düzensizlikler; "rijitlik düzensizliği (yumuşak kat), kütle düzensizliği, mukavemet düzensizliği (zayıf kat)", düşey elemanlarının süreksizliği ve düşey geometrik düzensizlik.

1.7 Katlar Arası Düzensizlikler

Deprem anında yapılarda hasara yol açan en önemli mimari tasarım hatalarından biri de bitişik katlar arasında ani değişimler yaratmaktır. Kat yüksekliklerinin farklı olması, herhangi bir katta bulunan bölme duvarların kaldırılması, düşey taşıyıcı elemanların boyutlarının değişmesi veya ticari amaçlı bodrum katında kullanılan malzemelerin üst katlara göre değişmesi bitişik katlar arasında ani değişimlere neden olan örneklerdir. Katlar arası yaygın düzensizlikler ile ilgili görsel Şekil 1.12'de verilmiştir [3].

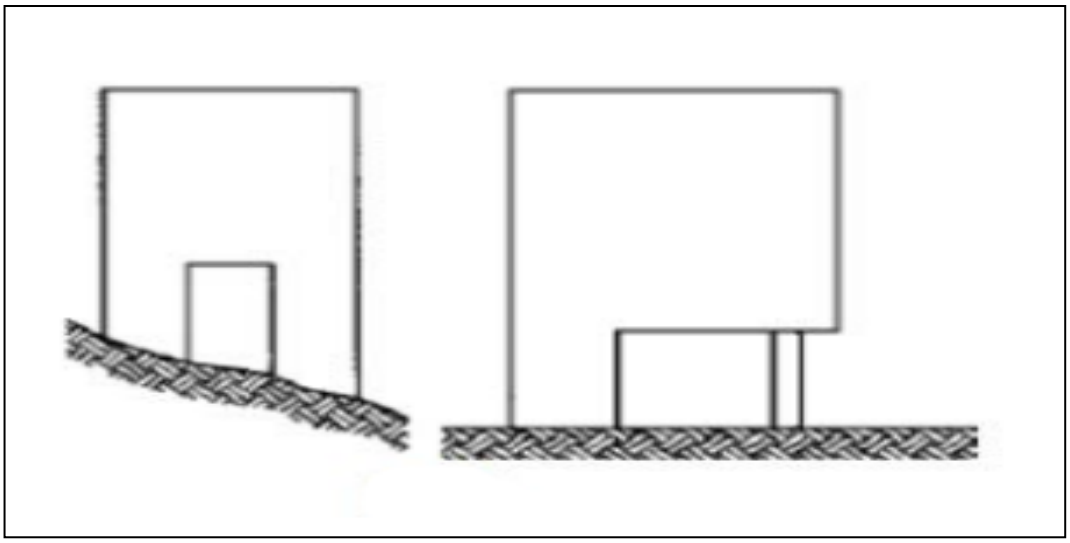


Şekil 1.12 Katlar arası yaygın düzensizlikler

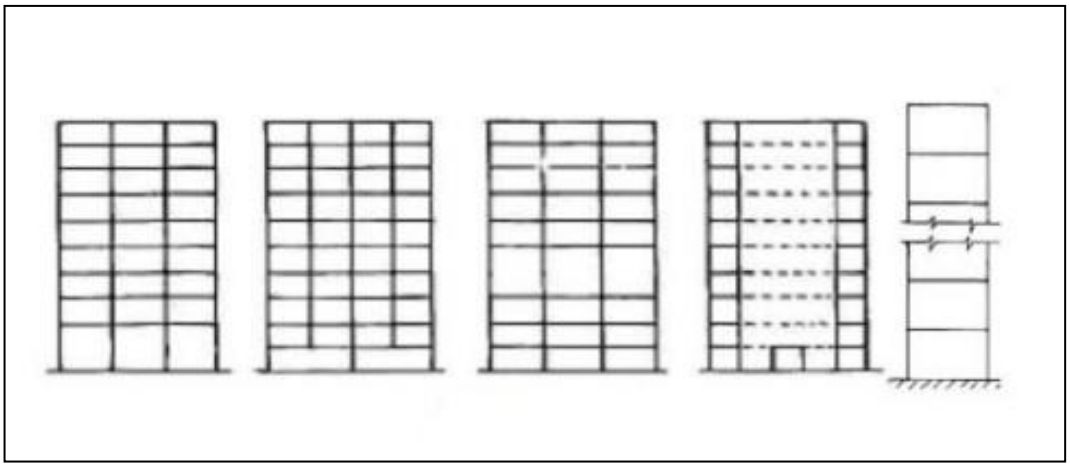
1.7.1 Rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)

Yapısal tasarımın en önemli noktalarından biri sistemin rijitliğidir. Yapı ne kadar rijit olursa, yatay ve düşey yöndeki yüklere maruz kaldığında oluşacak ikinci dereceden moment etkisi o kadar az olacak ve bu sayede oluşabilecek deplasmanlar minimum seviyede kalacaktır. Bu durum daha çok düşey yönde yük taşıyan elemanlarla ilgilidir. Tesisat katlarında ve genel olarak bodrum katlarda kat yüksekliklerinin diğer katlardan farklı olması, herhangi bir katta kolon boyunun diğer katlara göre az olması durumu ve ara bölme duvarlarının kaldırılarak görselliğin arttırılması, ticari amaçlı giriş katları temel tasarım kararlarıdır. Mimari ve teknik nedenlerle katın rijitliğinin ani azalması, yapı elemanlarındaki elastik olmayan davranışın kolonların üst kısımlarında yoğunlaşmasına neden olur. Bu katlar yatay yer değiştirmeler açısından üst katlara göre daha zayıftır. Mimari tasarım kararlarından kaynaklanan yumuşak kat düzensizliğinin en önemli sorunları, kolonlarda mafsal oluşumu nedeniyle sünekliğin sınırlı olması, tüm enerji tüketiminin bir katta yoğunlaşması ve hasar sonrası onarımın zorluklarıdır. Zemin katın rijitliği diğer katların rijitliğine göre çok küçük ise, sünekliğinin yüksek olması zemin kat ve sonraki katın birleştiği bölgede gerilmelerin yoğunlaşmasına neden olur, böylece, binanın yanal deformasyonu Δ bir bölgede meydana gelir. Yani, tek başına zemin kat yaklaşık Δ değerinde bir deformasyona uğrayacaktır, bu değer, şüphesiz bir kat için izin verilen deformasyon değerinden çok daha fazladır. İncelenen standartlar ışığında, her bir deprem yönetmeliğinin deprem

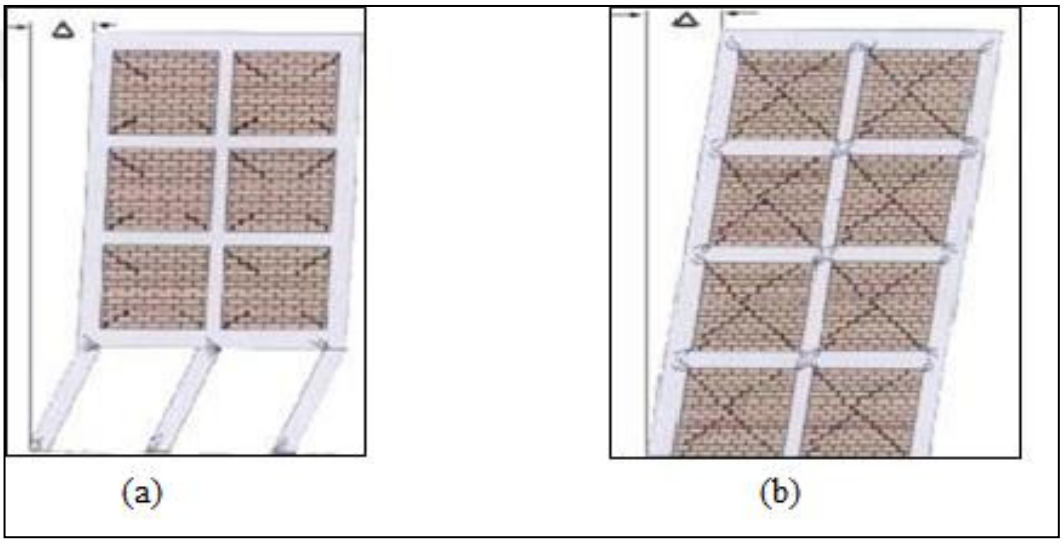
yükü tasarım kriterleri kullanılarak katların yatay rijitliklerine göre rijitlik düzensizlikleri tanımlanmıştır. Ancak limit değerlerin aralıkları farklıdır. Türk Deprem Yönetmeliği'nde ortalama kat ötelemesi oranı kullanılmaktadır. Çin, İran, Yeni Zelanda, Hindistan ve ASCE kodlarında; Bir katın yatay rijitliğinin komşu katın rijitliğine oranı rijitlik düzensizliği olarak tanımlanır. Ayrıca Yeni Zelanda yönetmeliğinde rijitlik oranı değerine göre şiddetli, önemli ve önemsiz olarak detaylı sınıflandırma yapılmıştır. Ancak, Meksika kodu ve Eurocode-8 bu önemli düzensizliğin bir tanımını vermemektedir. Bitişik katlara göre kat rijitliğinin ani azalmasından kaynaklanan rijitlik düzensizliği (Yumuşak kat); kodlar arasında önemli bir usulsüzlük başlığı olup, bu düzensizliğin bir sonucu olarak; yapıda deprem kuvvetlerinin etkisi altında meydana gelen toplam yer değiştirme katlar arasında paylaşılmaz ve dolayısıyla rijitliği az olan katlar daha büyük yer değiştirmelere maruz kalırlar [24]. Yeni Zelanda (NZSEE 2014) ve Hindistan (BIS 2002) yönetmeliklerindeki rijitlik düzensizliği ile ilgili görseller Şekil 1.13 ve Şekil 1.14'te sırasıyla verilmiştir. Binalarda yumuşak kat varlığının etki mekanizması ile ilgili açıklayıcı görseller Şekil 1.15'te: (a) Zemin kat sadece kolonlardan, diğer katlar ise kolon ve duvarlardan oluşmaktadır, (b) Tüm katlar kolon ve duvarlardan oluşmaktadır [3] ve Şekil 1.16'da verilmiştir.



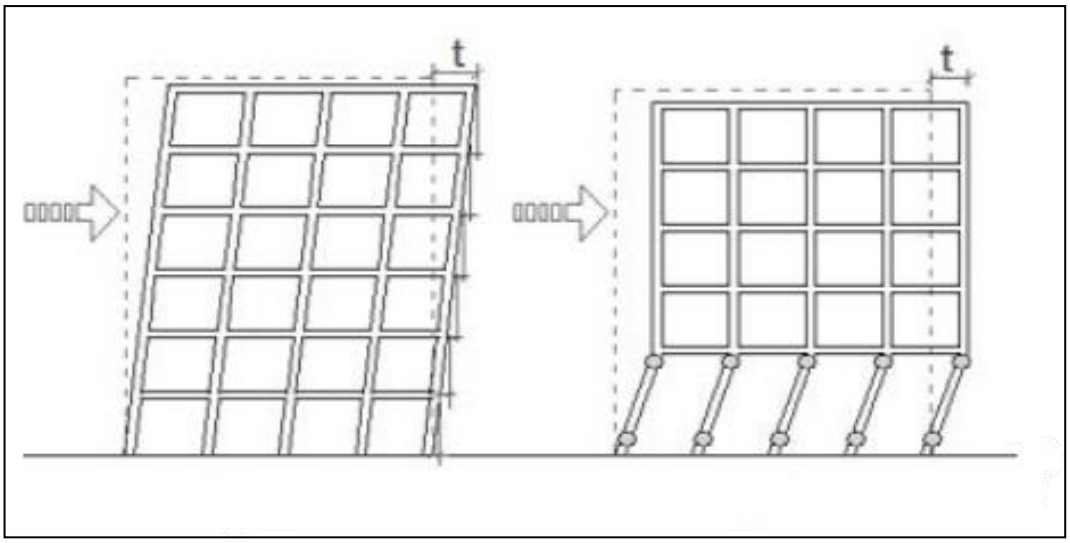
Şekil 1.13 NZSEE 2014'te rijitlik düzensizliği



Şekil 1.14 BIS 2002'yinde rijitlik düzensizliği



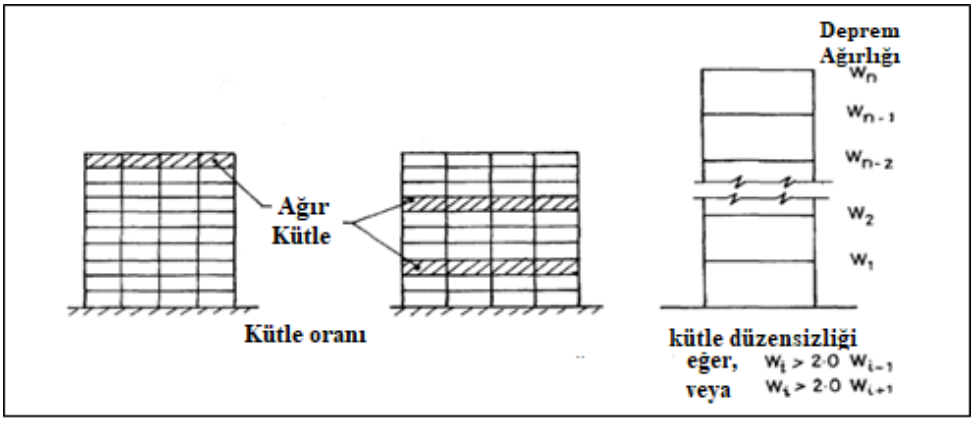
Şekil 1.15 Yumuşak kat varlığının etki mekanizması



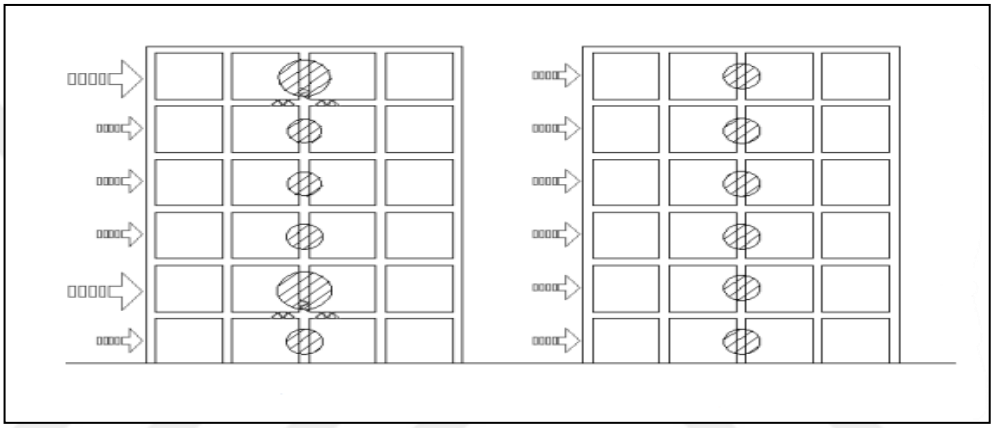
Şekil 1.16 Binalarda yumuşak kat varlığının etki mekanizması

1.7.2 Kütle düzensizliği

Deprem sırasında yapıda meydana gelen kuvvetler atalet kuvvetleridir ve bu kuvvetler yapının toplam kütlesine ve toplam ivmesine bağlı olarak deprem titreşimiyle oluşur [5]. Herhangi bir depremde yapıya etki edecek olan yatay yükler yapının ağırlığı ile doğru orantılıdır. Yani yapı ne kadar hafif olursa olası bir depremde o kadar az yük etki eder. Bu nedenle hafiflik deprem güvenliği için çok önemli bir kriterdir. Deprem anında etkin bir güvenlik için yapı kütlesinin en aza indirilmesi ve daha da önemlisi yapı yüksekliği boyunca homojen olarak dağılması gerekir. Ancak katlar arasındaki kullanım farklılıklarından dolayı kat kütleleri farklı olabilir. Örneğin; ağır makineli bir fabrikada veya herhangi bir katta kütüphane bulunan bir eğitim kurumunda fonksiyonları gereği düzensiz bir kütle dağılımı oluşur. Ya da farklı döşeme tiplerinin kullanılması kütlesel olarak homojen olmayan dağılımlara sebep olur [25]. Kütle düzensizliği, herhangi bir katın sismik ağırlığının komşu katın ağırlığından çok daha fazla olduğu durumlarda meydana gelir. Yönetmeliklerde yapı davranışını olumsuz etkileyen kütle düzensizliği ile ilgili tanımlar, katların kütle dağılımlarının eşit olmaması durumunda bu düzensizliğin oluşacağı ancak kabul edilen sınır değerlerin her deprem yönetmeliği için farklı olduğu vurgulanmıştır. Katlar arası kütle farkı ise; İran kodunda %50, Meksika kodunda %70, ASCE kodunda %150 ve Hindistan kodunda %200. Eurocode-8 yönetmeliği katlar arasındaki ani kütle değişimlerinden kaçınılması gerektiğini belirtmiş ancak sayısal bir sınırlama getirmemiştir. Yeni Zelanda yönetmeliği, bir katın kütlesinin komşu katın kütlesini aşması durumunu şiddetli, önemli ve önemsiz olarak sınıflandırmaktadır. Ancak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ve Çin yönetmeliğinde bu tür düzensizliklere ilişkin bir tanım bulunmamaktadır. Mimari veya teknik nedenlerle yapıya eklenen ağır kütleler yanal kuvvetlerin artmasına neden olur. Bu durum, depremler sırasında ağır kütlelerin yakınındaki kolon ve kirişlere aşırı yüklenmelere neden olmakta ve dolayısıyla bir depremde sistemin hasar görme riskini artırmaktadır. Yapı kütlesinin küçültülmesi ve homojen dağılımı ilkesinden uzaklaşma sonucunda kütle düzensizliği ortaya çıkmaktadır. Hindistan (BIS 2002) yönetmeliklerindeki kütle düzensizliği ile ilgili görsel ve binalarda kütle düzensizliği varlığının etki mekanizması ile ilgili açıklayıcı görsel sırasıyla Şekil 1.17 ve Şekil 1.18'de verilmiştir.



Şekil 1.17 BIS 2002'de kütle düzensizliği

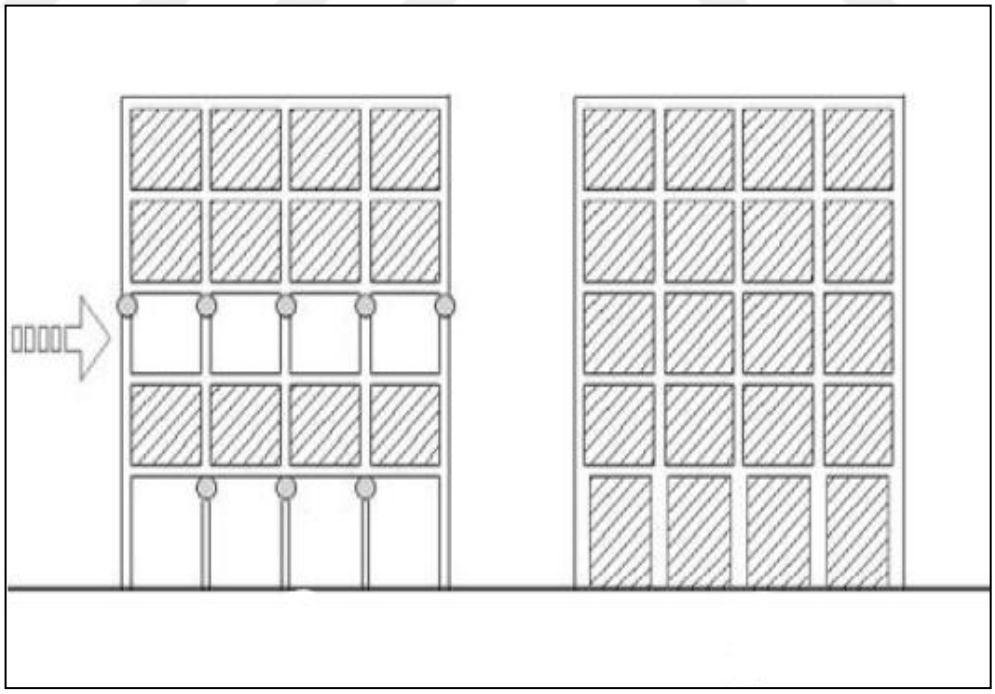


Şekil 1.18 Kütle düzensizliği varlığının etki mekanizması

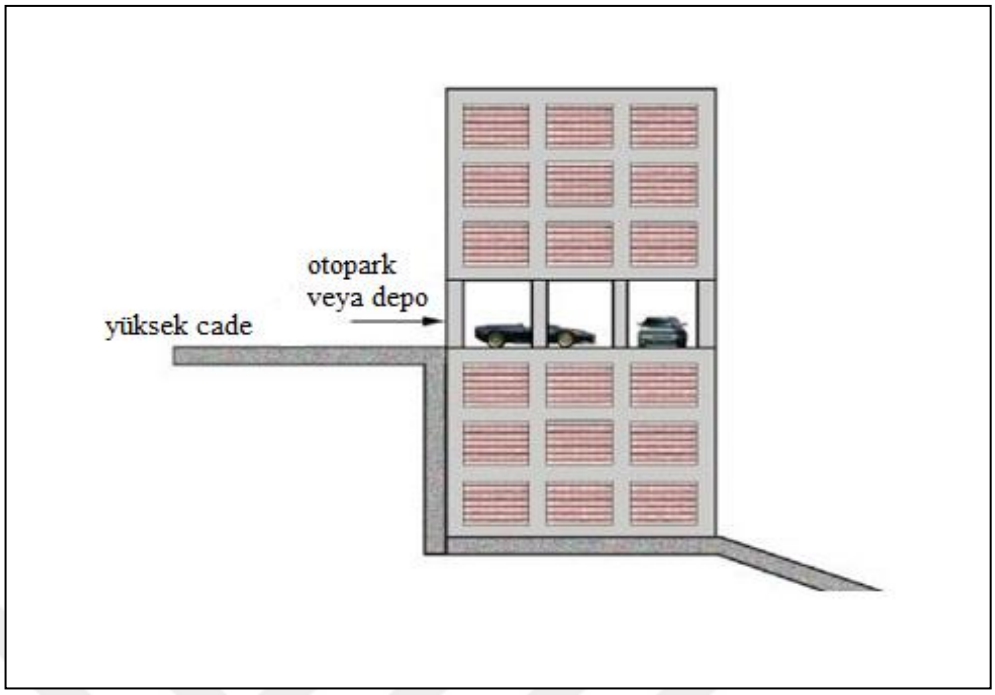
1.7.3 Dayanım düzensizliği (zayıf kat)

Deprem anında yapılara her seviyede yatay bir kuvvet etki eder. Bu yatay kuvvetler yapı elemanları vasıtasıyla alt katlara ve oradan da temele aktarılır. Yatay kuvvetlerin zemine güvenli bir şekilde iletilmesine izin vermek için, her katın yeterli bir etkili kesme kapasitesine sahip olması gerekir. Bu kesme kapasitesi, düşey taşıyıcı elemanların, yani kolonların ve perde duvarların enine kesit alanlarından oluşur. Ayrıca çerçeveler arasındaki dolgu duvarlar da yapıların kesme kapasitesine bir miktar katkıda bulunur [26]. Kesme kuvvetlerinin alt katlara doğru arttığı ve özellikle alt katlarda elemanların dayanımlarının kontrol edilmesi ihtiyacı ortaya çıktığı unutulmamalıdır. Binalarda zemin ve giriş katlarında ticari amaçlı duvar bulunmaması veya estetik nedenlerle yatay yüklerin iletilmesine katkı sağlamayan duvarların olması durumları, ilgili katların diğer katlara göre kayma mukavemeti açısından önemli ölçüde daha zayıf olmasını sağlar. Bu durum tasarım aşamasında dikkate alınmadığı takdirde o katta dayanım düzensizliği yani zayıf kat oluşur ve bu tür yapılar deprem stabilitesi açısından büyük risk altında olacaktır [27].

Bu doğrultuda yapıların yatay kesme kuvvetleri altındaki davranışında etkili olan bu düzensizliğin her yönetmeliğin sismik kuvvetinin tasarım kriterlerine göre dayanım düzensizliği tanımlanmış; katlardaki efektif kesme alanı ve katların yatay dayanımı dikkate alınmıştır. İlk olarak kabul edilen değerler arasında benzerlikler olduğu görülmektedir. Türkiye, Çin, İran ve Hindistan'daki deprem yönetmeliğine göre; herhangi bir katın etkin kayma alanının hemen üzerindeki katın etkin kayma alanına oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliğinin 0,80'den küçük olması gerektiği belirtilmektedir. Meksika kodu için komşu katlar arasındaki karşılık gelen değer 2 olarak verilmiştir. ASCE/SEI 7/16 bu düzensizliği elde edilen değerlere göre %80 ve %65 olarak iki kategoride değerlendirmiştir. Eurocode-8 standardı da herhangi bir sınırlayıcı kriter vermeden bir öneri sunmaktadır. Yeni Zelanda kodunda söz konusu düzensizlik için herhangi bir tanım verilmemiştir. Binalarda dayanım düzensizliği varlığının etki mekanizması ile ilgili açıklayıcı görsel ve fonksiyonel gereksinimlerden dolayı binanın orta katlarında zayıf kat olgusunu ile ilgili görsel Şekil 1.19 ve Şekil 1.20'de sırasıyla verilmiştir [3].



Şekil 1.19 Dayanım düzensizliği varlığının etki mekanizması

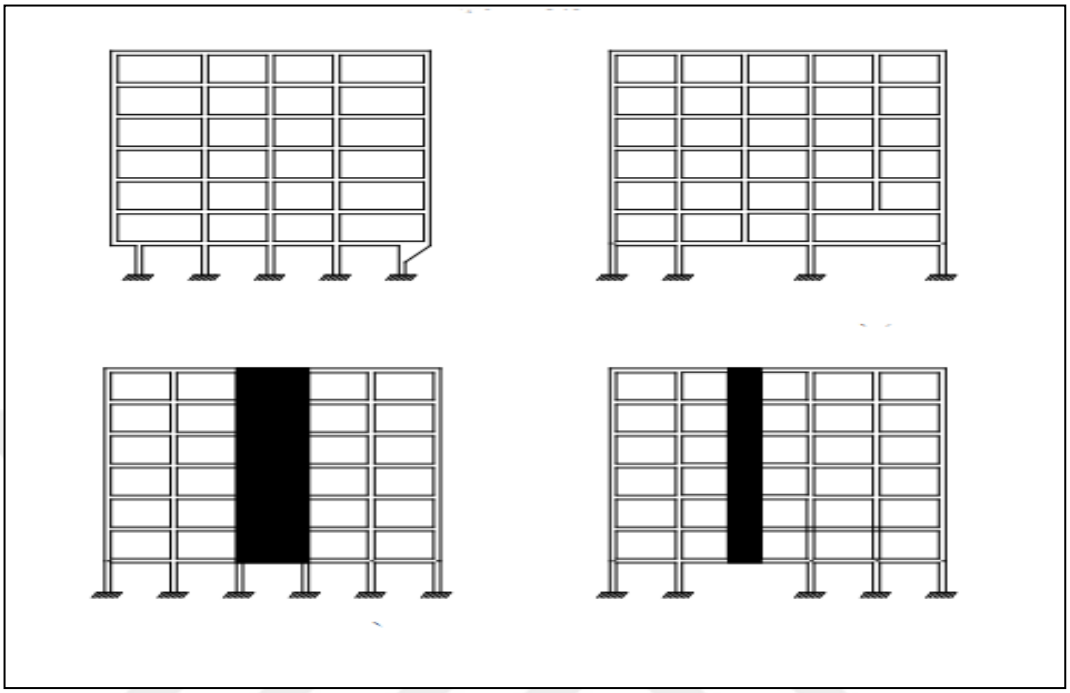


Şekil 1.20 Binanın orta katlarında zayıf kat

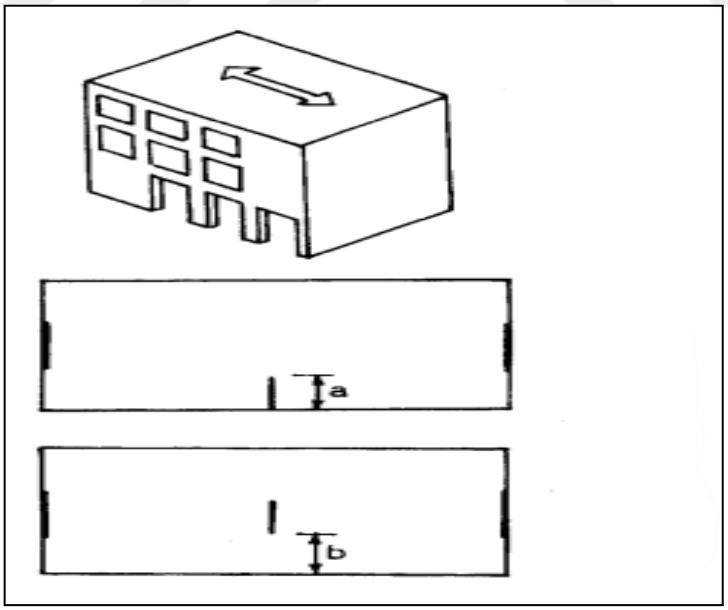
1.8 Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Yapıya etki eden kuvvetler temele aktarılırken özellikle düşey yapı elemanları yapı yüksekliği boyunca sürekli olmalıdır. Bu düşey kuvvetler, elemanların süreksizliği nedeniyle alt katlara düzenli olarak aktarılmadığında birleşim noktalarında ve diğer yapı elemanlarında aşırı gerilmeler meydana gelir [28]. Ayrıca bazı katlarda kolonların ve perde duvarların simetrilerinin düşey yönde konumlarının yer değiştirmesi veya tamamen kaldırılması ile bozulması, yapının deprem yüklerinden (aşırı yer değiştirme, çarpışma etkisi) olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır [29]. Bu düzensizliğin temel nedeni, diğer birçok yapısal düzensizlikte olduğu gibi, mimari talepler nedeniyle bazı katlarda büyük alanlar ve açıklıklar elde edilmek istenmesidir. İncelenen yönetmelik ve standartlardaki düşey kuvvete karşı koyan elemanların düzensizlik tanımlarında; Türkiye, Çin ve Eurocode-8 standartları, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının sürekli olması gerektiğinden bahsetmekte ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2018) düşey süreksizliklerle ilgili bazı kısıtlamalar ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Hindistan kanunu, bu tip düzensizliğin, düşey elemanların bitişik katlara göre konum değişikliğinin, elemanın uzunluğundan daha büyük olduğu durumlarda ortaya çıktığını vurgulamakta ve ASCE/SEI 7/16, bu tip düzensizliğin diğer yapı elemanları üzerinde devrilme kuvvetlerine neden olduğunu belirtmekte. İran ve Yeni Zelanda kodlarında söz konusu düzensizlik için herhangi bir tanım verilmemiştir. Türkiye ve Hindistan

yönetmeliklerinde taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği ile ilgili görseller Şekil 1.21 ve Şekil 1.22'de sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 1.21 TBDY 2018 yönetmeliğinde taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği



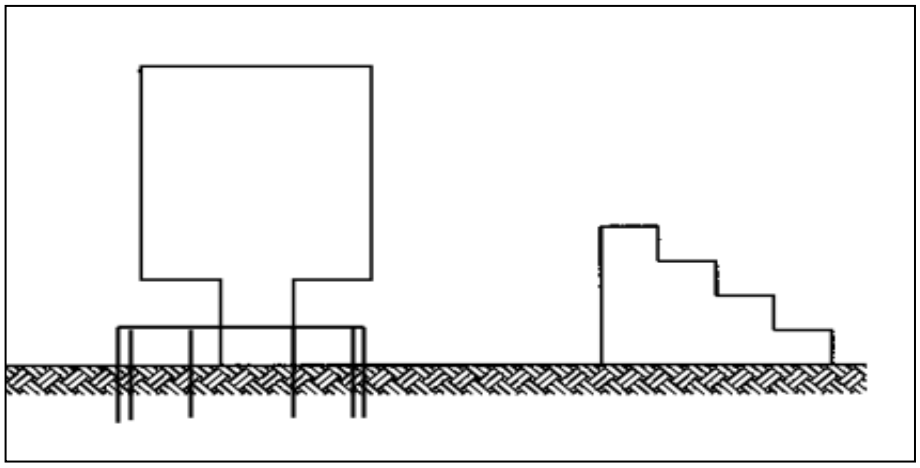
Şekil 1.22 BIS 2002'yinde taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizlik düzensizliği

1.9 Düşey Geometri Düzensizliği

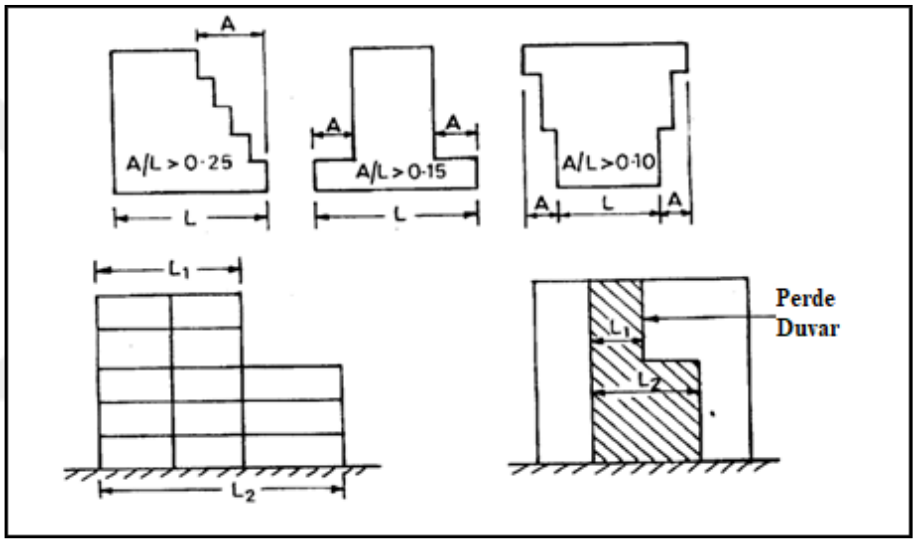
Depreme dayanıklı yapı tasarımında; yatay geometride olduğu gibi düşey planda da sadelik, süreklilik ve simetri en çok istenen özelliklerdir. Ancak günümüz mimarisinde

yapı form tasarımına yönelik yeni arayışlar, estetik kaygılar nedeniyle popüler hale gelmiştir. En basit anlamda bina geometrisi bina yüksekliği boyunca aynı şekilde korunmaz, basamaklar düşey düzlemde çıkıntılar ve gerileme şeklinde ayarlanır. Bu basamak oluşumu birbirine yakın binaların bulunduğu alanlarda yeterli güneş ışığı ve havalandırma sağlamak, bina taban alanı sınırlamalarına uymak ve üst katlarda kullanım alanını artırmak amacıyla tercih edilmektedir. Bu düzensizlik, binanın bir dış duvarının düşey düzleminden yatay yönde sapması olarak tanımlanabilir. Depremde öngörülemeyen davranışlara yol açan farklı planlar arayışından kaynaklanan deprem hassaslığını oluşur. Yani sismik kuvvetlerin bina üzerindeki etkilerinin belirlenmesi büyük ölçüde binaların form tasarımı ile ilgilidir [30]. Örneğin; çıkıntı ve özellikle geri alma planına sahip binalar, bu tip tasarımlarda alt ve üst katların ağırlık merkezlerinin üst üste binmesini engellemekte ve dolayısıyla yapıların yüksekliğinde düzensizlik oluşmaktadır. Bu katlar deprem anında diğer normal katlarla aynı frekansta salınım yapmaz ve ters yönde yer değiştirmenin etkisiyle gerilme birikimlerine neden olur. Bu girintili bölümlerin etkisi, bitişik katların oranlarına ve bu bölümlerin boyutlarına bağlıdır.

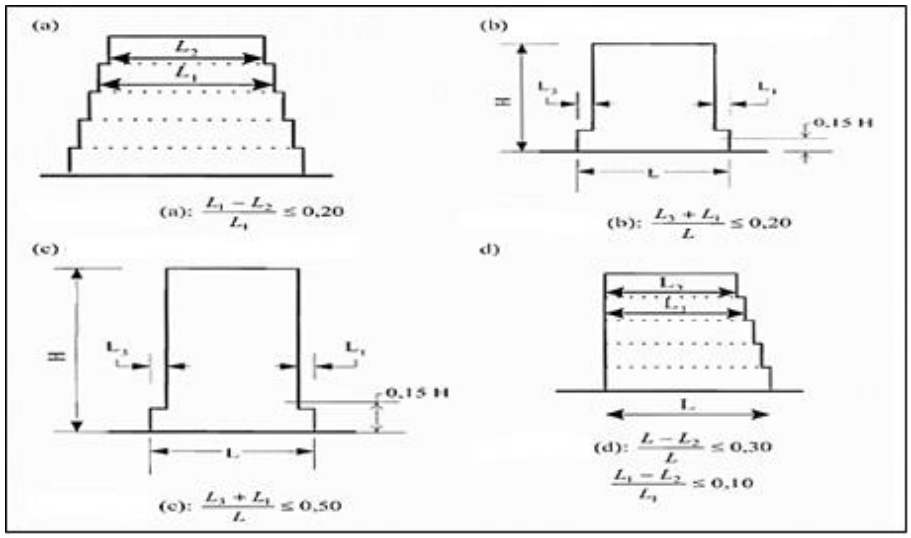
Düşey geometri düzensizliği başlığı altında standartlarda yer alan sınırlama açısından; Çin, ASCE/SEI 7/16 ve Hindistan kodlarının, bitişik katlar arasındaki düşey geometride taşıyıcı sistemin yatay boyutunun oranını ifade ettiği görülmektedir. Bu oranın sınır değerleri sırasıyla %125, %130 ve %150'dir. Eurocode-8'de yapının hem yatay hem de düşey geometrisinde sınırlayıcı oranlar verilerek daha ayrıntılı bir açıklama yapılmış ve düzensizliğin sınırlandırılması tanımlanmıştır. Daha açık ifade etmek gerekirse, Eurocode-8 eksenel simetriye göre farklılık gösteren, girinti ve çıkıntı değişiminin yapının toplam yüksekliğin %15'iden daha düşük olması gibi kriterler belirtmektedir. Yeni Zelanda yönetmeliğinde bu düzensizlik, yanal kuvvete direnen elemanların rijitlik/kuvvet oranına göre şiddetli, önemli ve önemsiz olarak sınıflandırılır. Öte yandan, Türkiye, İran ve Meksika sismik kodları, bu tür geometrik düzensizlikler için herhangi bir sınırlama veya tanımlama getirmemektedir. Yeni Zelanda, Hindistan ve Eurocode-8 yönetmeliklerinde düşey geometri düzensizliği ile ilgili görseller Şekil 1.23, Şekil 1.24 ve Şekil 1.25'te sırasıyla gösterilmektedir. Düşey geometri düzensizliği ile ilgili açıklayıcı görsel Şekil 1.26'da gösterilmektedir.



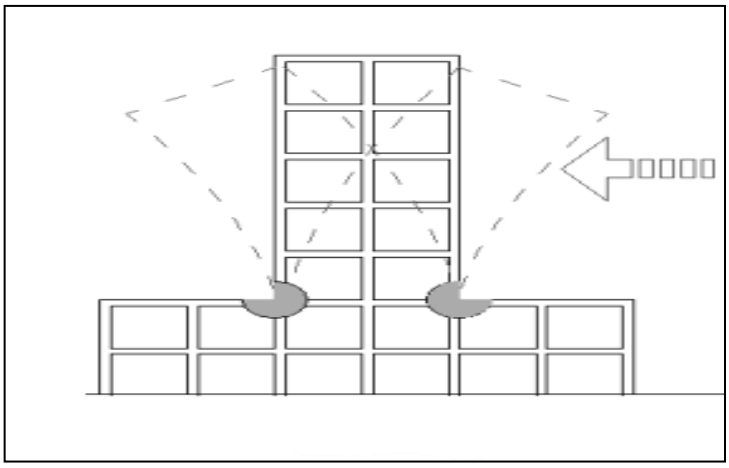
Şekil 1.23 NZSEE 2014'te düşey geometri düzensizliği



Şekil 1.24 BIS 2002'yinde düşey geometri düzensizliği



Şekil 1.25 Eurocode-8'de düşey geometri düzensizliği



Şekil 1.26 Düşey geometri düzensizliği

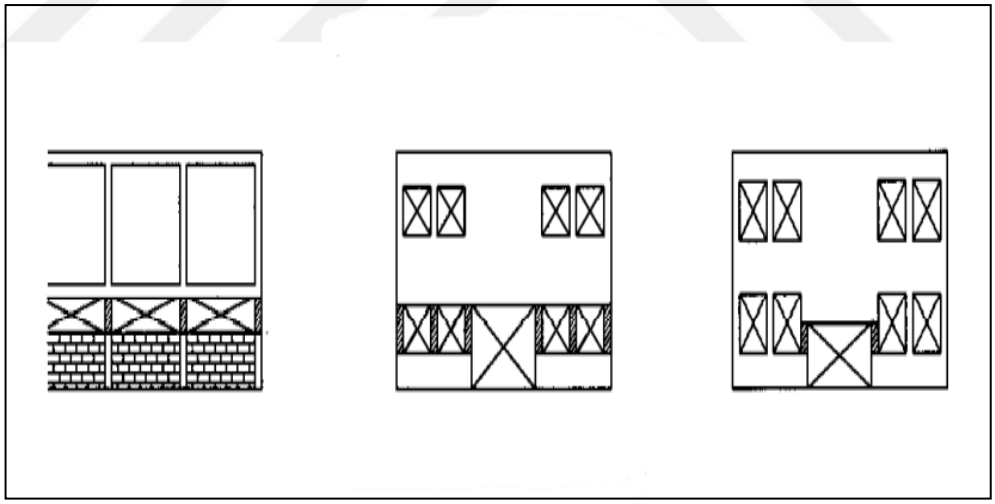
1.10 Kısa Kolonlar

Kolonlar sadece düşey yüklerin (ölü ve hareketli yükler) etkisi altında tasarlandığında, binalarda kısa kolonların bulunması olumlu olarak değerlendirilir, bunun nedeni, bu kolonların yapı için sağladığı sağlamlık ve stabilitedir. Ancak bu binalar yatay yüklere (yatay deprem kuvvetleri) maruz kalırsa, bu durumda kısa kolonlar bu binaların sismik davranışını olumsuz etkiler ve bu durum dünyada meydana gelen tüm depremler tarafından gösterilmiştir. Yatay sismik kuvvetlerin kısa kolonlara etkisi, bu kolonların yanal rijitliğinden kaynaklanmaktadır. Sismik kuvvetler, her biri rijitliğine göre düşey yapı elemanlarına dağıtılır. Yani, daha sağlam kolonlar, diğerlerinden daha fazla sismik kuvvet payına sahiptir. Bilindiği gibi kolonların rijitliği yüksekliklerinden büyük ölçüde etkilenir (kolonun rijitliği kolonun yüksekliğinin küpü ile ters orantılıdır). Kirişlerden önce kolonların erken çökmesinin depreme dayanıklı binaların temel felsefesiyle çeliştiğini belirtmekte fayda var. Esas olarak tesislerin sismik davranışının güvence altına alınmasına bağlı olan, güçlü depremlerin etkisi altında meydana gelebilecek herhangi bir çökmenin kademeli olarak başlaması gerektiği ilkesiyle ve önce kirişlerde (güçlü bir kolon ve zayıf bir kiriş tasarlama felsefesi) yani kolonlarda değil kirişlerde plastik mafsal oluşturmak; bazı kolonların çökmeye başlaması durumunda, bu geri kalan elemanların gücünde ani ve hızlı bir değişime yol açacaktır. Böylece binanın ek eğilme momentlerine maruz kalma olasılığı artar, bu da binada tamamen veya kısmen hasara ve çökmeye neden olabilir. (EERI) Enstitü'nün sismik olayları ve raporları, kısa kolonlarda meydana gelen bazı çökmelerin, binalarda toplam çökmelerin gelişmesine yol açtığını gösterdi. Kısa kolonların oluşum nedenlerinden yola çıkılarak Japonya ve Güney Amerika'nın bazı ülkelerde birçok

okul ve önemli binalarda meydana gelen hasar ve çökmelerin kısa kolonlarda olduğu kaydedildi. Kısa kolonlardaki çökmeler ile ilgili görseller Şekil 1.27'de ve Yeni Zelanda deprem yönetmeliğindeki kısa kolonlar ile ilgili görsel Şekil 1.28'de gösterilmektedir [3].



Şekil 1.27 Kısa kolonlardaki hasarlar



Şekil 1.28 Yeni Zelanda deprem yönetmeliğindeki kısa kolonlar

1.11 Kapalı Çıkma Sistemleri

Sismik olaylar, binalarda konsol sistemlerin olması veya aşırı kullanımının, özellikle bu konsolların uzantıları büyük olduğu durumlarda ve bu konsolların üzerinde ağır duvarlar bulunduğunda, bu binaların sismik hasara karşı duyarlılığının yüksek olmasına katkıda bulunur, Yerel bina modellerinde konsollu sistemlerinin ve yüklü kapalı çıkmaların kullanımı ile ilgili görseller Şekil 1.29'da gösterilmektedir [3].

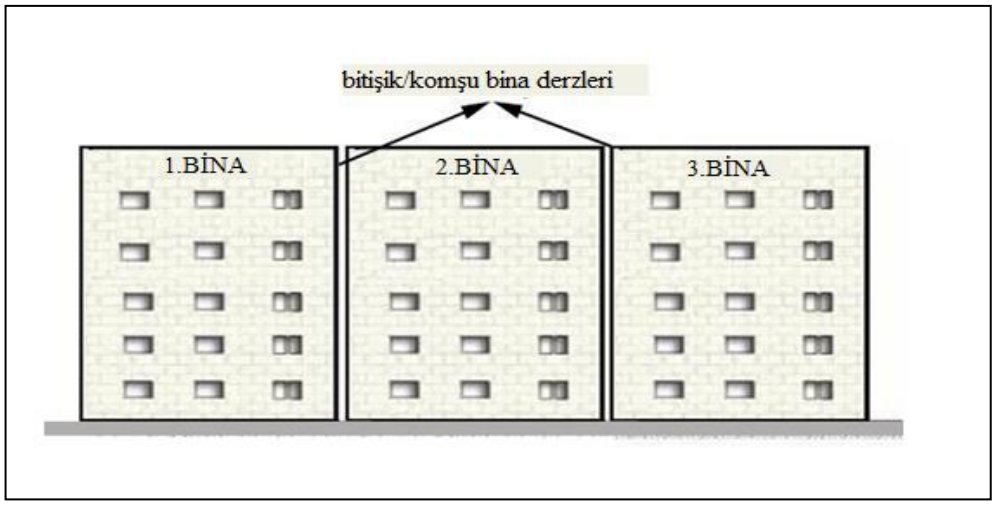
Çünkü bu tip yapı sistemi hem yatay hem de düşey deprem kuvvetlerinden oldukça etkilenir. Dolayısıyla bu tip mimari ve yapısal oluşumların kullanılması gerekiyorsa bu duruma uygun çözümler geliştirilmelidir ve bu tip sistemlerin sismik tasarım ve uygulama kontrollerine bağlı kalınmalıdır. Ne yazık ki, yerel ve yaygın bina tiplerinde (özellikle yüklü olanlar) yer alan kapalı çıkmaların çoğu, sismik standart ve gereksinimlere göre tasarlanmadı ve uygulanmadı.



Şekil 1.29 Yerel bina modellerinde konsollu sistemleri ve yüklü kapalı çıkmalar

1.12 Bitişik Bina Sistemleri

Genellikle bitişik bina sistemleri eski bir mevcut binanın bitişiğine hiç mesafe bırakmadan yeni bina inşa etmek veya tek bir binanın bölümleri arasında deprem derzi, oturma derzi gibi uygulamalar nedenleriyle kullanılır. Yerel bina tiplerinde bitişik binalar arasındaki bölme derzler ile ilgili görseller Şekil 1.30'da gösterilmektedir. İki binanın (veya bir binanın bölümlerinin) yakınlığı veya yapışıklığı, deprem durumunda birbirleriyle çarpışmasına neden olabilir ve bu çarpışma bu binalarda bariz hasarlara ve bazen çökmelerine yol açabilir. İki bitişik bina için deprem derzinin genişliği şu şekilde hesaplanır: birinci ve ikinci binaların her biri için yanal yer değiştirmenin eklenmesi ve yer değiştirmelerin toplamına 2-3 cm eklenir. Yetersiz sismik derz genişliği nedeniyle bina çarpışması ile ilgili görseller Şekil 1.31'de [3] gösterilmektedir.



Şekil 1.30 Yerel bina tiplerinde bitişik binalar arasındaki bölme derzler



Şekil 1.31 Yetersiz sismik derz genişliği nedeniyle bina çarpışması

1.13 Eski Binaların Üzerine Bina İnşası

Eski binaların üzerine bina yapmak gibi aynı binada birden fazla yapısal sistemin kullanılması; eski binaların titreşim davranışları ve biçimleri, frekansları farklı olduğundan modern betonarme binalara göre binanın deprem sırasında hasar görme kabiliyeti önemli ölçüde yüksektir. Bu da ek gerilmelere ve kuvvetlere yol açacaktır. Eski mevcut binaların üzerine bina yapılması ile ilgili görseller Şekil 1.32'de gösterilmektedir; (A) üst üste üç yapı sistemi, (B) taşıyıcı sistemi betonarme kolon ve kirişlerden oluşan iki katı taşıyan donatısız taşıyıcı duvarlar (zemin ve birinci katlar) [3]. Eski binaların üzerine acil bir inşa ihtiyacı olması ve bu binaların taşıyıcı sistemlerinin hâlihazırda kullanılan yapı modellerinden farklı olması durumunda, yeni binanın modellenmesi ve yapısal analizi tüm unsurlar dikkate alınarak yapılmalıdır.

Kullanılan yapısal sistemler, sismik davranışı bilerek, bu tür bir yapı için genellikle çok karmaşıktır, beceri ve yenilikçi yapısal çözümler gerektirir.



Şekil 1.32 Eski mevcut binaların üzerine bina yapılması

1.14 Duvarlardaki Boşlukların Dağılımı

Sismik olaylar, hasar ve bozulmaların genellikle çevre bölgelerde kapı ve pencere açıklıkları veya bu açıklıkların yapılarının uçlarında yoğunlaştığını göstermektedir. Çevre bölgelerdeki olası hasarları ve çökmeleri sınırlamak için, Çevre bölgelerdeki açıklıklar genellikle özel donatılarla sağlanır, bu açıklıkların boyutları ve mesafeleri ile ilişkiyi ayarlama ihtiyacı vardır. Ayrıca donatısız taşıyıcı duvarlarda açıklıkların boyutları ve mesafeleri ayarlamak daha önemlidir. Donatısız taşıyıcı duvarlarda kritik alanlar (görünen çatlak alanları) ile ilgili görseller Şekil 1.33'te [3] gösterilmektedir.



Şekil 1.33 Donatısız taşıyıcı duvarlarda kritik alanları

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bhasker ve Menon [31] yaptıkları bir çalışmada, her biri normal rijitlik dış merkezsizliği, burulma yarıçapı-kütle dönme yarıçapı oranı ve normal mukavemet dış merkezsizliği farklı bir kombinasyonu ile karakterize edilen 13 üç-katlı plan asimetrik modele odaklanan sayısal bir araştırma sunmaktadır. İki yönlü sismik hareket altında maksimum göreli kat öteleme, ortalama spektral ivme ve normal rijitlik dış merkezsizliği, burulma yarıçapı-kütle dönme yarıçapı oranı ve normal mukavemet dış merkezsizliği burulma düzensizliği tanımlayıcıları ”Torsional İrregularity Descriptors” (TID'ler) tahmin değişkenleri olarak dikkate alınarak formüle edilir. Yukarıdaki talep modeli ve uygun kapasite eşikleri kullanılarak formüle edilen limit durum fonksiyonları üzerinde sayısal simülasyonlar yapılarak sismik kırılganlık tahmin edilmektedir. Yukarıdaki tahminlerle uyumlu bir lognormal kırılganlık fonksiyonunun parametreleri, maksimum olabilirlik yöntemi kullanılarak belirlenir. TID'ler ve kırılganlık fonksiyonu parametreleri arasında güçlü bir korelasyon gözlenir.

Usta ve ark. [32] yaptıkları çalışmada, farklı perde çerçeveli betonarme bina modelleri tasarlanmaktadır. Model binalar düzenli bir plana sahiptir. Perde duvar yerleşimi her planda farklı varyasyonlara sahiptir. Bu yapı planları temel olarak burulma düzensizliklerine göre burulma düzensizliği olan yapılar ve burulma düzensizliği olmayan yapılar olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Yapısal mühendislik uygulamaları ve düzensizlikler içinde gelecekteki ilgili çalışmalar için yapay zekâ tabanlı çerçevelerin yeteneği.

Onat ve Usta [33] yaptıkları çalışmada, yüksek betonarme yapılardaki perdelerin ve perdelerin yapı içerisindeki yerleşimlerinin yapıların deprem performansına etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli 20 katlı bir yapı seçilmiştir ve farklı yerleşim şekilleri üzerinden 4 model oluşturulmuştur. Yapı modelleme ve deprem analizinde analizlerinde SAP2000 V22 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

Gudainiyan ve Parihar [34] yaptıkları bir çalışmada, Hindistan Sismik Kodunun IS 1893 (Bölüm 1): 2016 ve IS 1893 (Bölüm 1): 2002'ye göre burulma düzensizliği kriterleri (1. tür plan düzensizliği) hakkında kapsamlı bir analiz yapmayı

amaçlamaktadır. Farklı planlara sahip düzensiz binalar STAAD.Pro Connect Edition bilgisayar yazılımı ile modellenmiş ve IS 1893 (Bölüm 1): 2016 ve IS 1893 (Bölüm 1): 2002'ye göre burulma düzensizliği kontrollerinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yeni IS1893(Bölüm 1): 2016'ya göre burulma düzensizliği kontrolü kriterlerinin eski IS 1893 (Bölüm 1): 2002'ye kıyasla daha ayrıntılı ve basit olduğu bulunmuştur. Yeni sismik kod, bina modelinde yaklaşık 2,7 kat daha net burulma düzensizliği göstergesi verdiği tespit edilmiştir.

Suci ve Arturo [35] yaptıkları tez çalışmasında, dört katlı ve yarı bodrumlu bir köşe binanın aşırı burulma problemini incelenmiştir. Başlangıç noktası, mimari planlar ve bir temel yapı olan Teknik Standart E030-2016 kullanılarak sismik olarak analiz edilen beş model önerilmiştir. Daha sonra beş modelden birini seçmiş ve binanın tüm unsurlarının ilgili yapısal tasarımını gerçekleştirmişler. Ayrıca 2003, 2016 ve 2018 yıllarına ait üç deprem dayanım teknik standardı altında burulma analizine katma değer sağlamaktadır. Çözüm modelinin ilgili Zaman-Tarih analizinin yapılması önerilmektedir. Sonuç olarak rijitlik, perdelerin büyük boylarındaki artışa değil, kalınlıklarına ve yapı içindeki konumlarına bağlıdır.

Aliakbari ve ark. [36] yaptıkları araştırmada, tepki spektrumu analizlerinde maksimum kat ötelemesinin ortalama kat ötelemesine oranını hesaplamak için üç yöntemin etkinliğini değerlendirmek için farklı plan düzenlerine ve kat sayısına sahip dokuz çelik bina yapısı analiz edilmiş ve tasarlanmıştır. Bu yöntemlerden birinin ETABS yazılımının güncel sürümü tarafından kullanılan yaklaşım olduğu ve diğerlerinin bu makalede önerildiği belirtilmelidir. Önerilen yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar, zaman alanı analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar, bu yöntemlerden birinin, incelenen tüm modellerde belirtilen oranı olduğundan daha az tahmin ettiğini, ancak diğer iki yöntemin benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ayrıca, plan yerleşimlerinin ve düzensizliklerin, bu yöntemlerin zaman alanında analizi ile elde edilen oranlara kıyasla oranları nasıl tahmin ettiğini etkileyebileceği bulunmuştur. Genel olarak, tüm bu yöntemlerin, oranı kabul edilebilir hatalarla doğru bir şekilde tahmin edebildiği sonucuna varılabilir.

Ulusoy [37] yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, dünyanın çeşitli yerlerine dağılmış olan bazı betonarme yüksek yapılardaki düzensizlikler gözden geçirilmiştir. Bu düzensizliklerin binaların deprem sırasındaki davranışlarına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmadan sonra mimarlar ve mühendisler için faydalı bilgiler ve öneriler hazırlanmıştır.

Izadıfard ve Adıbzadeh [38] yaptıkları çalışmada, üst katlardaki bağ kirişleri ortadan kaldırılarak perde duvarların eğilme rijitliğinin azaltılması, çerçevedeki eğilme momentinin ve kesme kuvvetinin daha az olmasını sağlayabilir iddiası ile sayısal modellemede aynı bölgede ve farklı katlarda bulunan burulma düzensiz betonarme orta katlı 5 adet bina ele alınmış, farklı kat adetleri dikkate alınmıştır. Daha sonra bağ kirişleri silinmiştir. Tüm modellerde burulma düzensizliği, kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında mesafe bırakılarak oluşturulmuştur. ASCE-16 ve ACI 318 kodları, ETABS 2016 yazılımındaki yapıların spektral analiz yöntemi ile analiz edilmesi ve tasarlanması için kullanılmıştır. Yer değiştirme ve maksimum gerilme önemli ölçüde değişmedi sonucuna varılmıştır.

Ayar [39] yaptığı yüksek lisans tez çalışma kapsamında, depremin belirsizliklerinden biri olan deprem kayıt çiftlerinin yapıya eleman asal eksenleri dışında bir doğrultuda gelmesi durumu ve yapıların planda düzenli veya düzensiz olması durumundaki etkileşimi çalışılmıştır. Deprem kayıtları kullanılarak "zaman tanım alanında analiz" uygulamaları yapılmış ve deprem kuvvetlerinin etkitirilmesindeki belirsizliklerin bir kısmı ortadan kaldırılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapıların burulma düzensizliği, depremin kuvvetlerinin farklı doğrultularda etkimesi ve yönetmeliklerde önerilen birleştirme formülleri ile analiz yöntemleri incelenecektir. Yapı tipleri farklı parametrelere bağlı olarak sınıflandırılacak ve "kritik açı etkisi doğrultusu kavramı" araştırılacaktır.

Mesut [40] tarafından yapılmış olan yüksek lisans tez çalışmasında, farklı deprem bölgelerindeki betonarme yapılarda A1 düzensizliği incelenmiştir. Bu çalışma, farklı deprem bölgelerinde burulma düzensizlik modülünün farklılaşmasını saptamak amacıyla yapılmıştır. Yapılan çalışmalarla, aynı geometrik özelliklere ve rijitliğe sahip tipik bir binada burulma düzensizlik modülünün farklı bölgelerde yer alan deprem

alanlarına bağlı değişiklik göstermediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca perde öğelerinin plandaki yerinin öneminin üzeri tekrar çizilmiştir.

Jikamo [41] yaptığı tez çalışma kapsamında, plan asimetrili betonarme binaların deprem yükü altındaki burulma davranışını burulma etkilerini yansıtan parametreler aracılığıyla incelemek ve burulma etkilerini azaltmak için pratik çözüm önerileri sunmak istemiştir. Çalışmayı gerçekleştirmek için hem düzgün referanslı hem de L planlı asimetrik on üç katlı binalarda üç boyutlu sonlu eleman modelleri geliştirilmiş ve ETABS 2016'da EBCS EN 1998 2015'e göre modal tepki spektrumu yöntemi ile analiz yapılmıştır. Şiddetli plan asimetrisine sahip binaların, burulma davranışından kaynaklanan normal karşılığı olanlardan daha savunmasız olduğu tespit edilmiştir. Plan asimetrisinden kaynaklanan burulma düzensizliği etkilerini azaltmak için pratik çözüm olarak iki yol önerilmektedir; bunlar eşdeğer bir perde duvar ve diagrid sistemidir. Çalışmada, bu sistemler yanıt talebinde önemli bir azalma sağlamıştır; Bu sonuçlara dayanarak, benzer planlı asimetrik yapılarda bu yollar önerilmektedir.

Çavdar ve ark. [42] yaptıkları çalışmada, 2003 Bingöl depremi sırasında yıkılan betonarme perde duvarlı bir binanın sismik davranışını, doğrusal olmayan statik analiz ve doğrusal olmayan dinamik analiz ile incelenmiştirler. Seçilen betonarme perde duvar yapısı Bingöl, Türkiye'de bulunmaktadır. Seçilen betonarme perde duvarlı binanın sismik performans değerlendirmesini değerlendirmek için yerel mevzuat dikkate alınmıştır. Betonarme perde duvar yapısının performans hedefleri, yönetmeliğin itme (artımlı eşdeğer deprem yükü) yöntemi ve prosedürleri ve doğrusal olmayan dinamik analiz uygulanarak değerlendirilmiştir. Farklı depremler altında performans analizi yöntemlerinin güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini test etmek için bir yıkılmış bina seçilmiştir.

Kewalramani ve Syed [43] çalışmasında, plan düzensizliği olan simetrik ve asimetrik binalar için bina taşıyıcı sistemlerinin burulma davranışının kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını amaçlanmaktadır. Bu tür yapıların performansı, kat ötelemesi, taban kayması, maksimum yanal yer değiştirme, doğal zaman periyodu, frekans ve modal kütle katılım oranı gibi önemli parametreler için geçerli uygulama kurallarında

açıklanan prosedürlere göre değerlendirilir. İlgili burulma düzensizlikleri için yapısal tepki hakkında kapsamlı bir incelemeye yapılmıştır.

Satheesh ve ark. [44] çalışmasında, değişen en-boy oranlarına sahip betonarme perde duvarlı binalarda yanal yüke dayanıklı elemanların (perde duvarlar) pozisyonundaki değişiklikten kaynaklanan plandaki burulma düzensizliği incelenmiştir. Başlangıçta, çapraz olarak zıt köşelerde ve dört köşede L şeklinde perde duvarları olan simetrik binalar düşünülmüştür. Plan boyunca yapısal duvarların konumları değiştirilerek bu bina planında öngörülen bir düzensizlik ortaya çıkar. Asimetrik binaların burulma davranışını taban kesme, hakim zaman periyodu, çatı sehimi ve kat rotasyonundaki değişim açısından değerlendirmek için zaman tanım alanında analizi yapılır. Sonuçlar, perde duvar binalarının dinamik düzensizliğindeki değişimin, her iki bina planında ve burulma tepkisinde değişikliklere neden olduğunu göstermektedir.

Adarsh ve Rajeeva [45] çalışmasında, bina sistemlerinin burulma davranışının daha iyi anlaşılmasını amaçlamıştır. Analizde plan düzensizliği olan simetrik ve asimetrik yapılar karşılaştırılır. Bu çalışmada yapılar üzerindeki burulma etkisini değerlendirmek için, aynı çevre alanına sahip 5 tip yapı düşünülmüş ve perde duvar çekirdeklerinin eklenmesiyle güçlendirilmiştir. Yapılar için eksantrikliğe dayalı basit bir doğrusal karşılaştırma yapılmıştır. Yapıların performansı, Hindistan yönetmeliği IS 1893:2002'de belirtilen prosedüre göre değerlendirilir. Yapının analizi için eşdeğer statik ve tepki spektrumu yöntemleri dikkate alınır. Yapısal modellerin analizi ETABS 2015 yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Prasad ve Mallesh [46] çalışmasında, iki farklı koşul için G+5, G+10, G+15 olmak üzere üç model ele alınmıştır. İlk durumda, kolonlardaki burulma momentlerinin bina yüksekliğine göre değişimi ve tüm deprem bölgelerinde taban kesmesinin değişimi incelenmiştir. Kolonların kritik konumları belirlenmiş. Kolonlara verilen sonuçların nedeni kolonların sismik yüklere karşı daha savunmasız olmasıdır. İkinci durumda, kat burulma momentlerinin değişimi ve burulma tarafından geliştirilen ek kesme incelenmiştir. Bina modellerinin asimetrisinden dolayı sonuçlar her iki X,Y yönünde kaydedilmiştir. Binayı analiz etmek ve tasarlamak için Hindistan standart uygulama kuralları IS 1893:2002 (Kısım I) yönergeleri ve metodolojisi kullanılmış.

Suci [47] tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, sismik etkiler altındaki özel bir binanın üç boyutlu davranışı araştırılmıştır. 4 katlı betonarme kolon-kiriş çerçeve yapı Sap2000 statik analiz programında pushover analiz ve zaman tanım alanında analiz yöntemleriyle çözümlenmiştir. Sonrasında yapı sismik kuvvetlere karşı yetersiz görülerek 4 adet aynı kesit özelliklerine sahip olan perde duvarla güçlendirilmiştir. 12 benzersiz durumda perde duvar lokasyonları değiştirilerek burulma düzensizlikleri elde edilmiştir. Her durum bu yöntemlerle analiz edilerek göreceli kat ötelemeleri ve kesme kuvvetleri gibi performans analizi sonuçları arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Erdem [48], yapıların taşıyıcı sistemlerinin, depreme dayanıklı taşıyıcı sistem seçimi ilkelerine uygun seçilmemesi durumunda, yapıların kütle ve rijitlik merkezlerinin çakıştırılmaması nedeniyle sebep olunan burulma düzensizliğinin etkilerini, kolon boyutlarını değiştirerek farklı eksantrisiteye ve rijitliklere sahip taşıyıcı sistemler oluşturup sonuçları incelemiştir.

Ahmed ve ark. [49], plandaki düzensiz binaların sismik performansını doğrulamak için dokuz model kullanmıştır. Bu modeller, eşdeğer statik yük (ESL) ve tepki spektrumu (RS) yöntemleri kullanılarak ETABS ile analiz edilmiş. Sonuçlar, ciddi düzensizliklere sahip binaların, düzenli planlara sahip olanlardan daha savunmasız olduğunu göstermektedir. Düzensizlikler sonucu burulma kuvveti ortaya çıkar ve deprem doğrultuna dik doğrultuda üretilen kesme kuvveti artar.

Jereen ve ark. [50], sismik performansı, girintili köşeli farklı geometrileri dikkate alarak analiz etti. Bunu başarmak için, rijit ve yarı rijit diyaframlara sahip yapılar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. E, H ve benzer şekillerinde dört model ETABS programı kullanılarak analiz edildi. Sismik performansları uygun değildi çünkü yer değiştirme değerleri dört model için statik analizin dışında olduğu sonucuna varılmıştır.

Thaskeen ve Shajee [51] çalışmasında, bina sistemlerinin burulma davranışının daha iyi anlaşılmasını amaçladı. Analizde plan düzensizliği olan simetrik ve asimetrik yapılar karşılaştırılmıştır. Yapılar üzerindeki burulma etkisini değerlendirmek için,

aynı dış çevre alanına sahip ve perde duvar çekirdekleri ile güçlendirilmiş 4 tip yapı modellediler. G+12 ve G+17 yapıları için eksantrikliğe dayalı basit bir doğrusal karşılaştırma da yapılır. Yapısal modellerin analizi ETABS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İncelemeler üzerindeki araştırmalarından, eksantrikliğin, bir yapının burulma etkileri eğilimini gösterdiği sonucuna vardılar. Model IV (C şekilli yapı), daha yüksek eksantriklik değeri ile burulma etkileri için maksimum eğilime sahipti. En yüksek burulma düzensizlik oranı C şekil yapısı olan model IV için maksimum bulunmuş ve model IV'ün rijitlik merkezinin yapı dışında yoğun olduğu görülmüştür. Sürüklenme ve yer değiştirme değerleri, rijitlik ve kütle konsantrasyonunun yapıya bağımlılığını gösteren değerler vermiştir. Güçlendirilmiş model, daha küçük öteleme limitlerine izin veren daha kısa periyotlar ve ideal simetrik yapı olan daha uzun periyotu yapılar daha büyük öteleme limitlerine izin vermiştir.

Helou ve Awad [52] çalışmasında, olası bir deprem tasarımında can güvenliği performansı sağlamak amacıyla 1997 Tekdüzen Yapı Yönetmeliği'ne uygun olarak tasarlanmıştır. Analiz sonuçlarının uygun perde duvar dağılımı ile karakterize edilen yapısal sistemin, zayıf perde duvar dağılımına sahip alternatif bir sisteme göre önemli avantajın sunmuştur.

Kwang-Ho ve ark. [53] çalışmasında, tepki spektrum analizi (RS) yöntemiyle düzensizliklere sahip çeşitli binalar tasarladı. Korean Building Code KBC (2006) ve Korean Building Code KBC (2009) kodlarına göre büyütme faktörü kullanılmıştır. Deneyler sonrasında, KBC-2006 ve KBC-2009 kodu tarafından zorunlu kılınan burulma büyütme faktörünün yetersiz olduğu ve yapının dinamik genişlemesini doğru bir şekilde yansıtmadığı sonucuna varılmıştır.

Boztaş [54] yüksek lisans tez çalışmasında, burulma düzensizliğine sahip betonarme çerçeveli sistemlerdeki dolgu duvarların sismik hareketlere göre yapısal performansına etkileri araştırılmıştır. Dolgulu ve dolgusuz duvar olarak modellendirilmiştir 5 ve 7 katlı binaların performansları incelendiğinde, dolgusuz duvar modellerde belirgin hasar bölgesinde bulunan kolonlar, dolgulu duvarlarda minimum hasar bölgesine geçtiği görülmüştür. İleri hasar bölgesinde bulunan kirişler ise, dolgulu duvar modellerde belirgin hasar bölgesinde kalmıştır. İncelemeler

sonucunda, can güvenliği performans koşullarını sağlamayan betonarme binaların, dolgu duvarların yatay yükler karşısında yapıya sağlamış olduğu katkı dikkate alındığında can güvenliği performans koşullarını sağladığı tespit edilmiştir.

Sultan ve Peera [55], farklı şekillere sahip çok katlı binaların dinamik analizini incelediler. Çalışmanın önemli amacı, yapının yüksek deprem bölgesindeki davranışının ve kat devrilme momenti, kat sürüklenmesi, yer değiştirme, tasarım yanal kuvvetlerinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla, 15 katlı bir bina dikdörtgen, L şekli, H şekli ve C şekli gibi tamamen farklı dört şekilde modellenmiş, karşılaştırma olarak sonuçlanmıştır.

Arvindreddy ve Fernandes [56], betonarme düzgün ve düzensiz çerçeve yapılarının Sismik analizi hakkında bir inceleme sunmuştur. Düzenli ve düzensiz 15 katlı 2 tip betonarme yapıyı ele almışlar ve statik ve dinamik yöntemler için analiz etmişlerdir. Zaman geçmişi incelemesi için, önemli sayıda yapının tepkisini düşünmek için geçmiş sismik yer hareketi kayıtları alınır. Analiz için altı model düşündüler. Biri genel yapıya sahip ve geri kalanlar öngörülemeyen yapısal modellerdir. İncelemeler üzerindeki araştırmalarından, statik analiz stratejisinin, tepki spektrumu analizi ile karşılaştırıldığında daha az kat yer değiştirmesi gösterdiği sonucuna varmışlardır. Bu varyasyon, doğrusal olmayan kuvvet dağılımından kaynaklanıyor olabilir. Diyafram düzensizliğinde hem statik hem de tepki spektrumu analizinde normal yapılarla karşılaştırıldığında kat ötelemesi ve kat ötelemesinin daha az olduğu gözlenmiştir.

Gupta ve Pajgade [57], yazdıkları makalede, planlı ve düşey düzensizliklere sahip çok katlı binaların burulma davranışı üzerine yapılan inceleme hakkında bir inceleme sunmaktadır. Ayrıca burulma için yapılan kod şartlara da odaklanmaktadır.

Mohamed ve Abbass [58], Modal Tepki Spektrum Analizinde burulma düzensizliğinin dikkate alınması hakkında incelemeyi açıklar. Çalışmalarının arkasındaki motivasyon, sismik kuvvetlerin ve sürüklenmelerin sayımı için MRSA kullanıldığında, ASCE 7-16'a göre burulma düzensizliğinin sismik reaksiyon üzerindeki etkilerini belirlemektir. MRSA'nın ne zaman kullanıldığına bakılmaksızın, burulma düzensizliğinin neden temsil edilmesi gerektiğini tartıştılar. İncelemeler

üzerindeki araştırmalarından, bina diyaframının veya döşeme çerçevelerinin burulma düzensizliğinin, eğilme momentleri ve sürüklenme dahil olmak üzere artan yapısal tepkilere yol açtığı ve yapısal arızalardan ve bina çarpma etkilerinden stratejik bir mesafeyi korumak için hesaplama modelinde temsil edilmesi gerektiği sonucuna vardılar.

Öztürk ve ark. [59], burulma düzensizliğine sahip çok katlı betonarme binaların sismik davranış analizi hakkında bir inceleme sunmuştur. Çalışmalarının amacı, depremin özelliklerini anlamak ve binaların deprem etkisi altındaki davranışlarının doğru belirlenmesi, depreme dayanıklı binalar inşa etmek için en önemli gereksinim olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, çok katlı betonarme binalarda deprem uyarıları sırasında oluşan burulma etkileri incelenmiştir. Bu şekilde betonarme yapıların deprem yükleri altındaki davranışları incelenmekte ve bu sayede burulma düzensizliğine sahip yapıların davranışları aydınlatılmakta ve netleştirilmektedir. Sonuçlardan, düzgün geometrik şekle ve düzgün rijitlik dağılımına sahip binalarda burulma düzensizliğinin oluşabileceğini açıklamışlardır. Gizli burulma düzensizliği olarak adlandırılan bu düzensizliğin nedeni, dış eksenlerde rijitlik olmamasından kaynaklanmaktadır. Bazı durumlarda, merkezi bölgede perde duvar rijitliğinin azalması sonucu burulma düzensizliği azaltılabilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir. Burulma düzensizliği, binanın geometrik planından çok rijitlik dağılımı ile ilgilidir. Bu nedenle bir yapının yük taşıma sisteminin belirlenmesi projenin planlama aşamasında en önemli konudur. Burulma düzensizliğini önlemek için perde duvar konumlarının ve kesit alanlarının doğru seçilmesi ve perde duvarların planda simetrik olması esastır.

Kalkan ve Reyes [60], çok katlı simetrik ve simetrik olmayan yapılara, yakın saha kaynaklı deprem kuvvetleri etkitirilmiş ve bu deprem kuvvetlerinin farklı açılarda etkimesi sonucu elde edilen mühendislik parametrelerini değerlendirmiştir.

Varadharajan, ve ark. [61], düzensiz binaların normal binalara göre farklı davrandığını belirtmişlerdir. Binadaki kütle, rijitlik ve kuvvetleri, düzensizlik indeksi adı verilen tek bir parametre biçiminde ölçmek için bir yöntem önerilmiştir. Temel periyot, maksimum çatı deplasmanı ve maksimum zaman-öteleme ilişkisi gibi sismik tepki

parametrelerini hesaplamak için denklemler kullanılacaktır. Önerilen düzensizlik endeksi, düzensizliğin hem büyüklüğüne hem de konumuna bağlıdır. Ayrıca, sismik tepki parametrelerini tahmin etmek için denklemlerin sonuçları ve dinamik analiz birbiriyle ilişkilidir.

Suryawanshi ve ark. [62] çalışmasında, burulmanın, binanın büyük hasar görmesine veya tamamen çökmesine neden olan en kritik faktör olduğunu bulmuşlardır ve bu konu için daha fazla araştırma yapılması önerilir.

Maske ve Pajgade [63], ETABS ve SAP2000 yazılımlarında modelleme ve analiz yaparak çok katlı planlı asimetrik yapının burulma davranışını inceledi.

Gezmiş [64] yaptığı yüksek lisans tez çalışmada, perdelerin plandaki yerleşimlerinin yapıların deprem karşısında sergiledikleri davranışlara etkisini incelemek için planda düzgün geometriye sahip ve taşıyıcı sistemi perdeli çerçeve sistem olan iki yapı ele alınmıştır. Bu iki yapıdan biri düzenli perde yerleşimine diğeri ise düzensiz perde yerleşimine sahiptir. Sonuç olarak planda düzensiz perde yerleşiminin deprem etkisi altında kalan bir yapıda burulma düzensizliğini arttırdığı görülmüştür.

Özmen [65], yönetmeliklerdeki burulma düzensizliği katsayılarının geçerliliğini incelemek için perde konumları farklı olan 6 grup tipik yapı seçerek bu yapıların aks sayıları 5, 6 ve 7, kat sayıları 1, 2, 4, 6, 8 ve 10 arasında değiştirmiş ve böylelikle burulma düzensizliği katsayılarının değişimini incelemiştir.

Demir ve ark. [66], betonarme bir hastane binasının farklı zemin sınıflarında burulma davranışının değişimini incelemişlerdir. Bu incelemede Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de bahsedilen Eşdeğer Deprem Yükü, mod birleştirme ve zaman tanım alanında analiz hesap yöntemleri ile dört farklı yerel zemin sınıfı için ölçeklenmiş deprem kayıtlarının yapının çeşitli davranışları üzerinde etkisini araştırılmıştır.

Akansel [67] yaptığı yüksek lisans tez çalışma kapsamında, perde duvarlı yapının deprem kuvvetleri altındaki üç boyutlu davranışı, betonun elastik ötesi davranışı ve depreme maruz kalmış yapıların değerlendirmesine yönelik parametrelerin ışığı

altında incelenmektedir. Çalışmada sonlu elemanlar metoduna dayanarak ANSYS programı ile perde duvarlardan teşkil edilmiş üç katlı betonarme bir binanın davranışı incelenmektedir zaman tanım alanında analiz hesap için betonun ve çeliğin lineer ötesi davranışını hesaba katacak olan mikro modelleme tercih edilmiştir. Analitik modelleme sonucu elde edilen davranış parametreleri (ivme, yer değiştirme, birim uzama), deneylerde ölçülmüş olan değerler ile karşılaştırılarak model ve simülasyonun geçerliliği ölçülmüştür.

Yön ve ark. [68], burulma düzensizliğine sahip bir yapıda farklı zemin sınıflarının toplam burulma momentinde meydana getirdiği değişiklikleri incelemek için Türk Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY-2007) belirtilen burulma düzensizliğine göre perdeli-çerçeveli çok katlı betonarme bir bina tasarlayarak, analiz sonuçlarını değerlendirmişlerdir.

Doğan ve Er [69], konut türü yapılarda hareketli yük dağılımının kat düzleminde düzgün yayılı olmamasına bağlı olarak burulma düzensizliği değişimini incelemişlerdir.

Uçar ve Merter [70], perde yerleşiminin betonarme perde-çerçeveli binaların deprem davranışına etkisini burulma düzensizliği katsayılarını da ele alarak incelemişlerdir.
Soyluk ve Yavuz [71], çerçeve sistemli binalarda istinat duvarlarının burulma düzensizliğine etkisini incelemişlerdir.

Demir ve Dönmez [72], çok katlı perde-çerçeve sistemlerin parametrik bir araştırma yöntemi ile "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" koşullarına göre burulma düzensizliklerini etkileyen faktörleri geometrik planları ve perde yerleşimleri farklı olan 6 tip yapı, 4 adet yerel zemin sınıfına göre incelemişlerdir.

Herrera ve Soberon [73], çalışmalarında farklı büyüklükteki sismik olaylar sırasında farklı plan düzensizliklerinden kaynaklanan hasarların analitik bir tanımını göstermiştir. Kare, dikdörtgen, U kesiti, L kesiti ve T kesiti gibi farklı düzensizliklerin etkileri kalitatif ve kantitatif analizlerle incelenmiştir. Elastik yer değiştirme

tepkilerinde farklı plan düzensiz sistemlerin etkisinin parametrik bir çalışması onların çalışmasında sunulmuştur. Bunu yapmak için elastik model veya düzenli sistemler (kare plan) ve dikdörtgen, T, L ve U planlarının düzensiz modelleri SAP2000'de elastik analizlerle yapıların sismik davranışında geometrik formun etkisini belirlemek için modellenmiştir. Gerçekleştirilen parametrik çalışmalar, kırılganlığın en önemli koşullarını niteliksel ve niceliksel olarak belirlemelerini sağlar. Daha düzensiz olduğunda yapıların daha savunmasız olduğu sonucuna vardılar.

Özhendekci ve Polat [74], Etkin mod kütlelerinin bir oranı olan yeni tanıtılan Q parametresi değiştirilmiş ve binaların burulma düzensizliğini tanımlamak için kullanılmıştır. Burulma düzensizliklerinin tanımı için (ASCE 7-05) kodunda önerilen oran, değiştirilmiş Q oranı ile karşılaştırılır. Aynı anda iki ortogonal doğrultuda eksantrikliklere sahip 300 adet tek katlı ve 300 adet beş katlı bina "zaman tanım alanında analiz yöntemi" ile 8 adet tarihi deprem altında toplam 4800 adet analiz yapılmıştır. Yukarıda bahsedilen analizleri tek seferde yapabilen bir bilgisayar programı kodlanmıştır. Bu kod parametresinin kullanılmasının, köşe kolonlarının ötelemelerinde, uyarma yönündeki eksantrikliğin dönme yarıçapına oranına göre maksimum %101'lik bir farkla sonuçlandığı bulunmuştur. Değiştirilmiş Q oranının kullanılması, maksimum %59 farkla sonuçlandı.

Rigato [75] yaptığı doktora tez çalışma kapsamında, uygulanan çift yönlü yer hareketlerinin geliş açısının elastik olmayan yapılar için çeşitli mühendislik talep parametreleri (EDP'ler) üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada ilgilenilen EDP'ler, tepe kayması, tepe süneklik ve tepe levha döndürme talepleriydi. Yapısal modeller, çeşitli derecelerde elastisiteye, plan düzensizliklerine, %5 sönüm oranlarına ve 0,2 saniye ile 2,0 saniye arasında değişen temel periyotlara sahipti. Sert zeminler ve kaya üzerinde kaydedilen yer hareketi takımlarını kullanmıştır. Belirli bir EDP ve çift yönlü yer hareketi için kritik açının (bir EDP'nin maksimuma ulaştığı geliş açısı), hemen hemen her geliş açısında meydana geldiği bulundu. Belirli bir çift yönlü yer hareketi ve belirli bir temel periyot için, kritik açının artan esneklik derecesi ile tahmin edilemez şekilde değiştiği bulundu. Sonuçlar ayrıca, ortalama olarak, elastik olmayan bir binanın sadece asal eksenleri boyunca iki yönlü yer hareketlerinin uygulanmasının,

diğer yer hareketi geliş açılarında elde edilenlerle karşılaştırıldığında, tepe deformasyon taleplerini hafife aldığını göstermiştir.

Döndüren ve ark. [76] yayınladıkları makalede, yapılarda burulma düzensizliğini incelemişlerdir. Plan geometrisi ve rijitlik dağılımı bakımlarından simetrik olan ve olmayan yapılarda burulma düzensizliği durumlarını 15 katlı üçgen, elips, kare, dikdörtgen, daire, L ve T şeklinde geometriye sahip yedi farklı türde çok katlı yapıları ele alarak deprem etkileri altındaki davranışlarını tetkik etmişlerdir. Kenar akslardaki taşıyıcı elemanların boyutları büyütülerek burulma düzensizliğinin giderilebileceği sonucuna varmışlardır.

Rigato ve Medina [77], kritik etki doğrultusu kavramının mühendislik parametreleri açısından değerlendirilmesini, çift doğrultulu analizler uygulayarak, tek katlı düzenli veya düzensiz plan görüntüsüne sahip yapılara uygulamış ve değerlendirmiştir.

Özmen [78], dinamik deprem kuvvetleri etkisi altında her yapının kendine özgü farklı bir kritik doğrultusu vardır. Bu kritik doğrultu binanın geometrisine, elemanlarının yerleşim durumuna ve dinamik özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir.

Fajfar ve ark. [79], plan asimetrik yapıların elastik olmayan davranışının genel gelişimini incelediler. Sismik bileşenlerin düzensizliklerin üzerindeki etkisini iki ortogonal yönde araştırdılar. Bina yüksekliğinde hedef yer değiştirme ve deformasyon dağılımını kontrol etmek için N2 yöntemi kullanılarak (N2 yöntemi, yapıların sismik analizi için basit bir doğrusal olmayan yöntemdir) itme analizi yapılmıştır. Ek olarak, burulma büyütmelerini belirlemek için doğrusal spektral dinamik analiz yapıldı. Plastik aralıkta önerilen itme tabanlı sismik analiz yaklaşımını doğrulamak için, hem tek katlı hem de çok katlı modelleri içeren birkaç test örneğinin üzerinde çalıştılar.

Özmen [6], burulma düzensizliği katsayısının 2.00 üst sınırını aşması için gerekli koşulları parametrik bir araştırma yöntemi ile incelemiş, perdeleri değişik konumlarda olan 8 tipik yapı grubu seçilmiş ve bunların deprem yükleri altındaki davranışları değerlendirilmiştir, Sonuç olarak kat ve eksen sayısı azaldıkça burulma düzensizlik katsayısının maksimum değerine ulaştığı sonucuna ulaşmıştır.

Humar, ve ark. [80], Bir yapının sismik tepkisinin burulma ve öteleme frekanslarının birbirine yakın olduğu durumlarda, burulma bileşeninin yapının genel davranışı üzerinde önemli bir katkısının olmadığını ortaya koymuştur.

Özmen [81], rijitlik dağılımı bakımından düzenli ve düzensiz olan bazı tipik yapıların deprem hesabı ve boyutlandırma sonuçlarını ele aldığı tüm yapılarda geometrik bakımdan düzensizlik etkisi bulunmamasını sağlamak amacıyla plan geometrisini dikdörtgen olarak seçerek incelemiştir.

Moghadam ve Tso [82], asimetrik çok katlı binalar için Euro Code 8'deki statik burulma düzenlilikleri için kütle merkezini ve burulma yarıçapını belirlemek için bir prosedür önerdiler. Kodun burulma düzenliliklerinin etkili bir şekilde sonuçlanması için minimum burulma rijitliğinin gerekli olduğu gösterilmiştir. Bu minimum burulma rijitliğinin, binaların dönmelerinin ortalama rijitlik yarıçapı kullanılarak belirlenebileceğini göstermişlerdir. Bununla birlikte, çok katlı bir bina için esnek olmayan burulma tepkisini hesaplamak için, her kat için eşdeğer eksantrikliklerin belirlenmesinin zor olduğunu ve her kat diyaframındaki rijitlik merkezinin konumunun değişmesi nedeniyle açıklandığını bulmuşlardır.

Stonehouse ve ark. [83], Perde duvarlı betonarme sistemlerde sismik etki ve bu sistemlerin dayanımları incelenmiştir. Çalışma, yatay yüklere maruz kalan yüksek yapılarda burulma düzensizliklerinin etkilerinin incelenerek perde duvarların öneminin ölçülmesine ve bu duvarların varlığı ve yokluğunda oluşacak hasarların belirlenmesine odaklanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Plan asimetrik betonarme binanın burulma davranışını incelemek için, planda asimetrik binalar sonlu elemanlar yazılımı ETABS 2020'de modellenmiştir. İkinci olarak, sismik davranışı elde etmek için iki farklı deprem yönetmeliği ve iki farklı analiz yöntemleri kullanılmıştır.

3.1 Bina Modellerinin Tanımı

Perde duvarlar ve moment dayanıklı çerçevelerinden oluşan ikili sistemin sismik analizi için üç boyutlu modeller ve sonlu elemanlar yöntemleri sunulmaktadır. Perde duvarların uzunluk ve kalınlıklarının yanı sıra konumları da değiştirilerek inşa edilen binaların planındaki yatay düzensizlikler için sismik davranışları incelenmiştir. Ayrıca, model 16'daki merdiven ve asansör beton çekirdeğin konumu değiştirilmesi ile sunulmaktadır.

3.1.1 Yapı modellerinin ayrıntıları

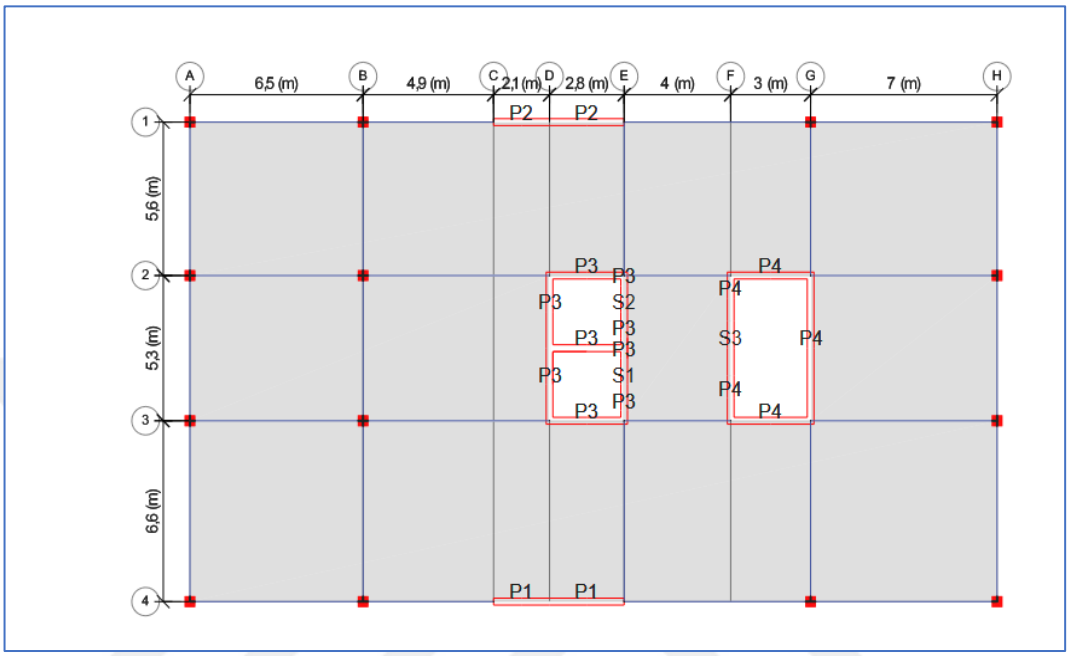
Tasarlanan yapılar çok katlı betonarme yapıları olup binaların tamamı zemin kat ve dört kattan oluşmaktadır. Binanın zemin seviyesinden toplam yüksekliği 15 m'dir. Kat yükseklikleri 3 m'dir. Her katın ölçüleri ise, DX=30.3m ve DY=17.5m. Yapı elemanlarının (kirişler, kolonlar ve duvarlar) kesitleri ve döşeme kalınlıkları Tablo 3.1'de gösterilmektedir. Belirtilen beton basınç dayanımı (f_c)=30 MPa. ASCE7 16 yönetmeliğine göre tasarlanan modellerde elastisite modülü 29440 MPa olarak kullanılmıştır. TBDY 2018 yönetmeliğine göre tasarlanan modellerde ise elastisite modülü 32000 MPa olarak kullanılmıştır. Hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 kodlarının modellerinde Poisson katsayısı için 0,2 değeri alınmıştır. Her iki kodda da kullanılan donatı çeliği ve malzeme bilgileri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Yapı elemanlarının ayrıntıları ve malzeme bilgileri

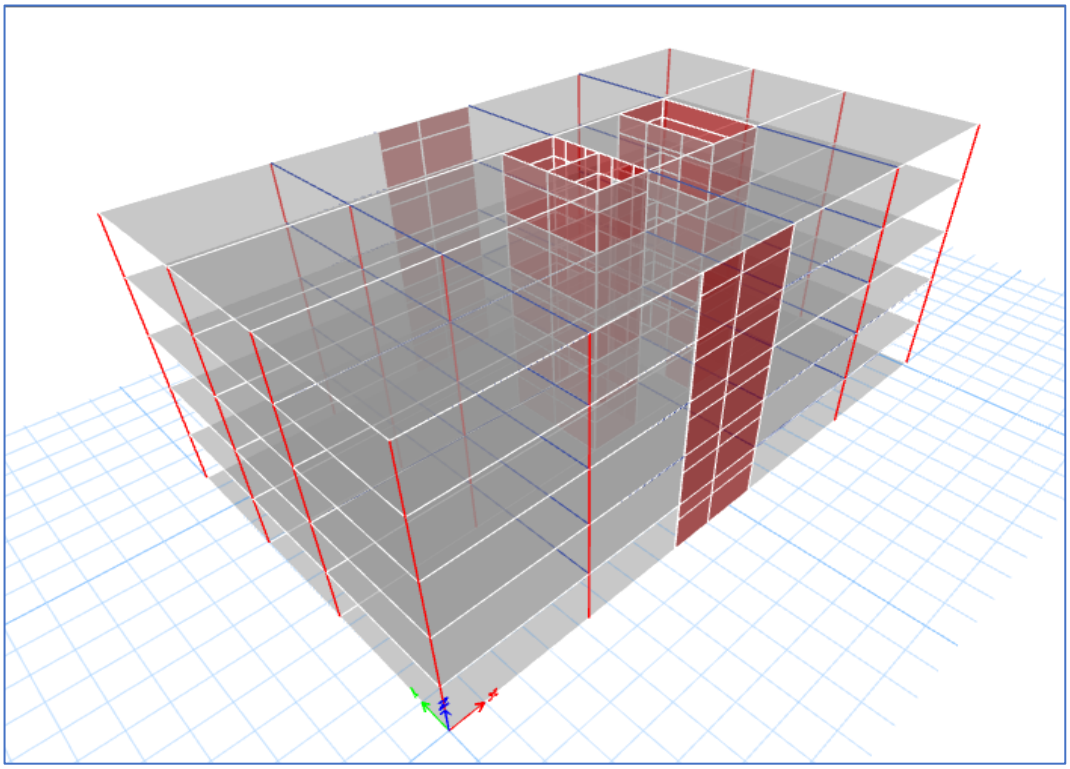
	ASCE7 16	**TBDY 2018**
Kiriş boyutları	30*60 cm	30*60 cm
Kolon boyutları	40*40 cm	40*40 cm
Döşeme kalınlığı	15 cm	15 cm
Perde duvar kalınlığı	25 cm	25 cm
Minimum akma dayanımı	Fy=400 MPa	Fy=420 MPa

3.1.2 Yapısal modeller

ETABS yazılımında üç boyutlu bir yapısal modelleme kullanılmaktadır. Birinci modelin kat planları Şekil 3.1'de ve üç boyutlu görseli Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

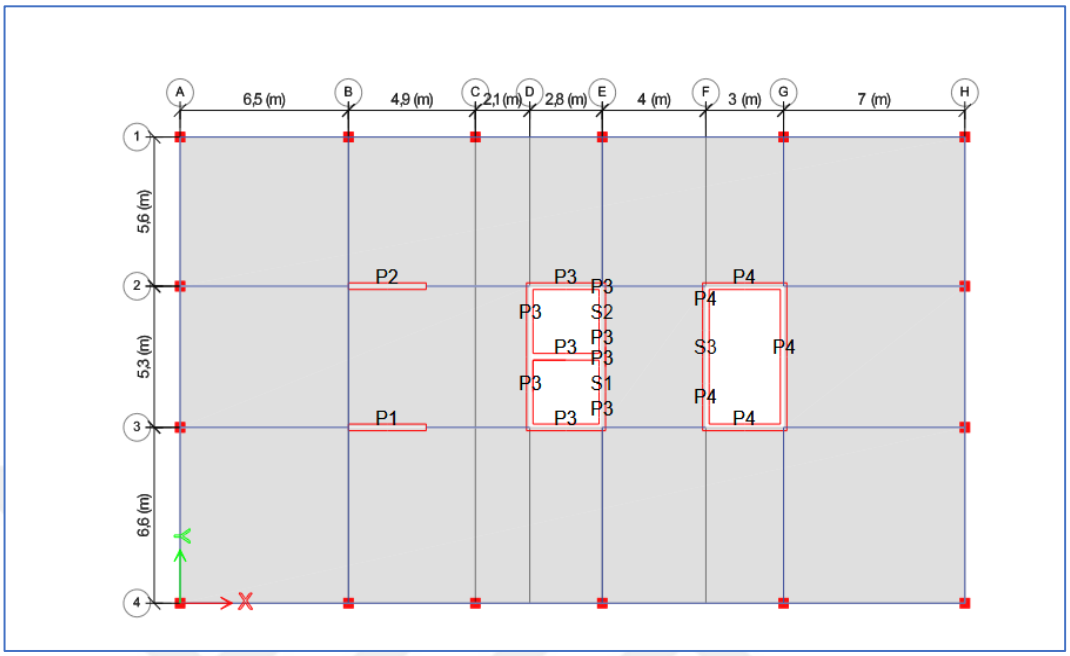


Şekil 3.1 Birinci modele ait kat planı

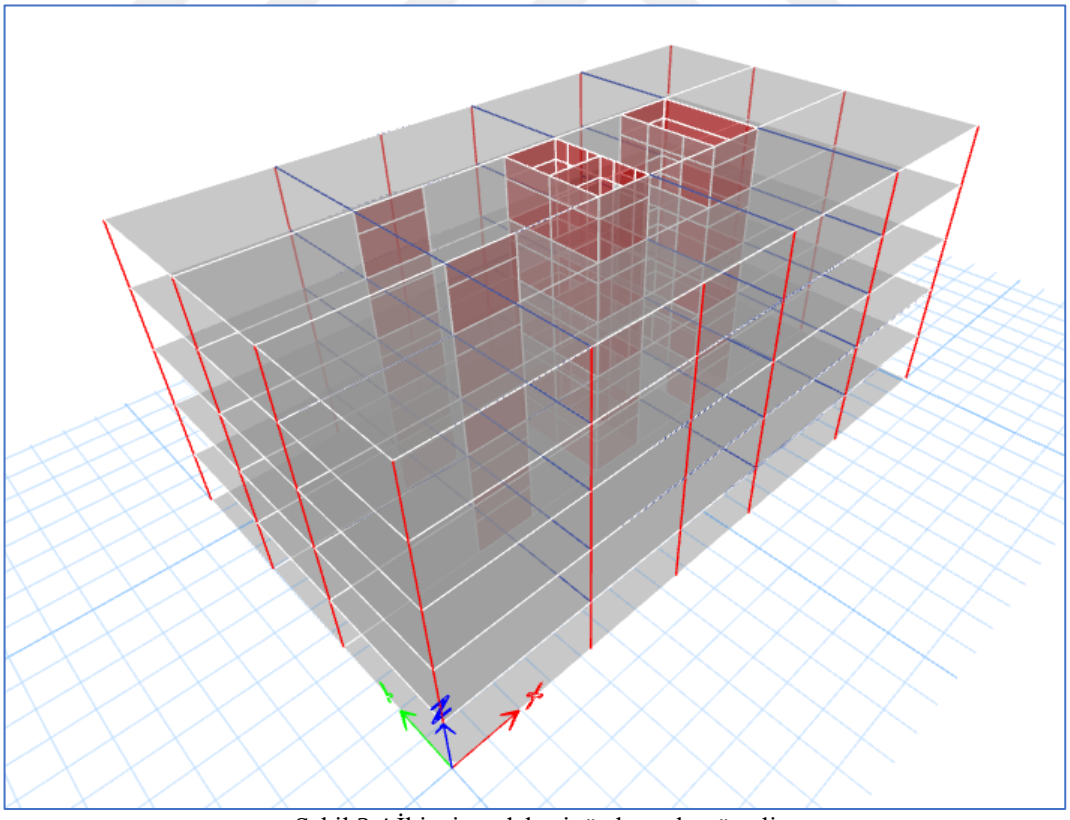


Şekil 3.2 Birinci modele ait üç boyutlu görseli

İkinci modelin kat planları Şekil 3.3'te ve üç boyutlu görseli Şekil 3.4'ta gösterilmiştir.

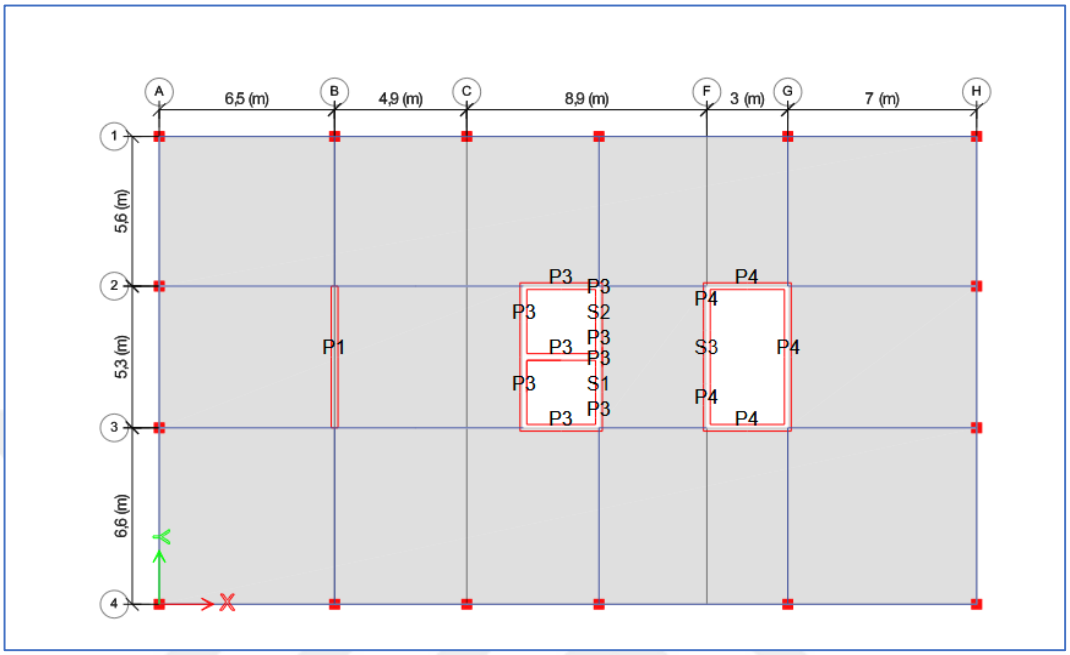


Şekil 3.3 İkinci modele ait kat planı

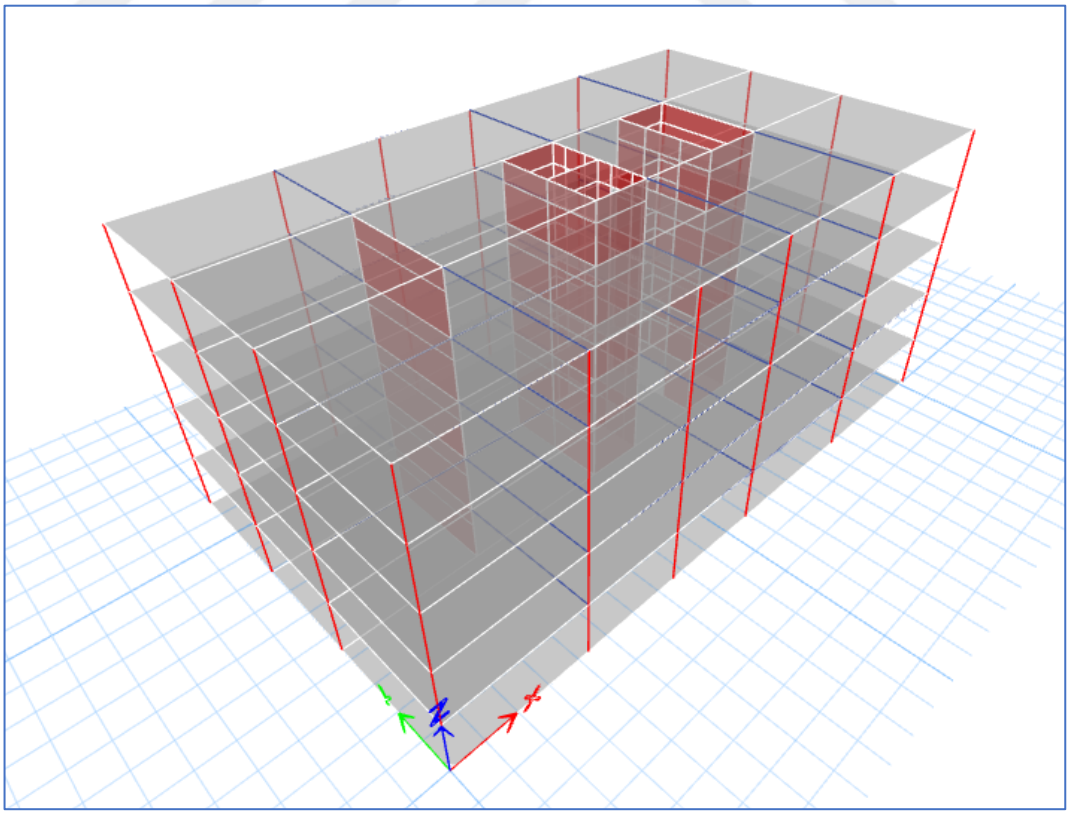


Şekil 3.4 İkinci modele ait üç boyutlu görseli

Üçüncü modelin kat planları Şekil 3.5'te ve üç boyutlu görseli Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

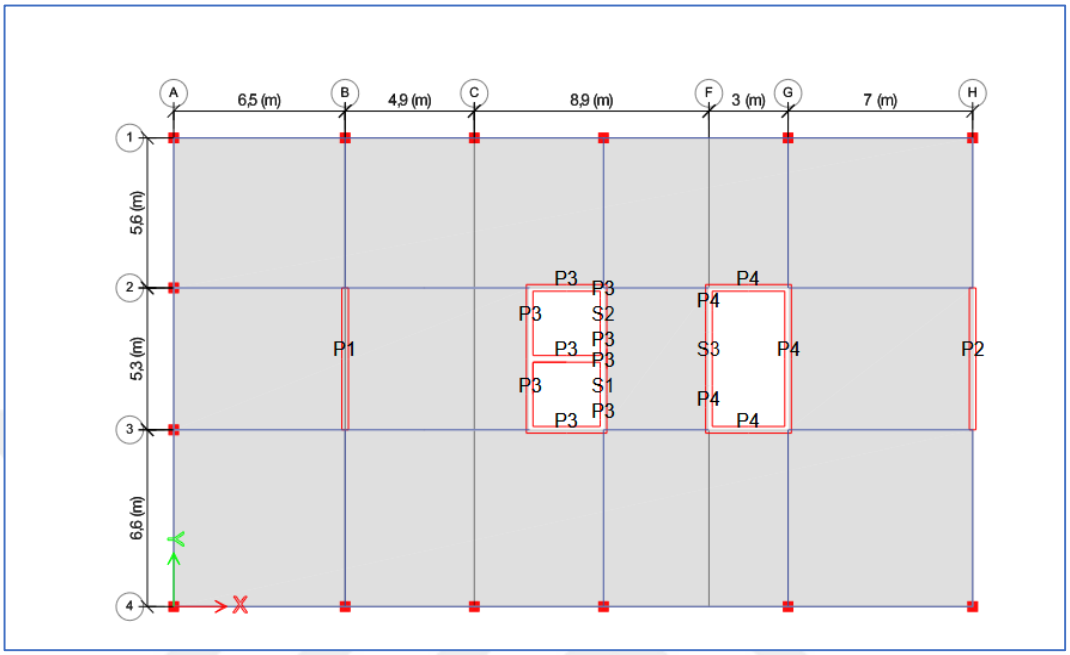


Şekil 3.5 Üçüncü modele ait kat planı

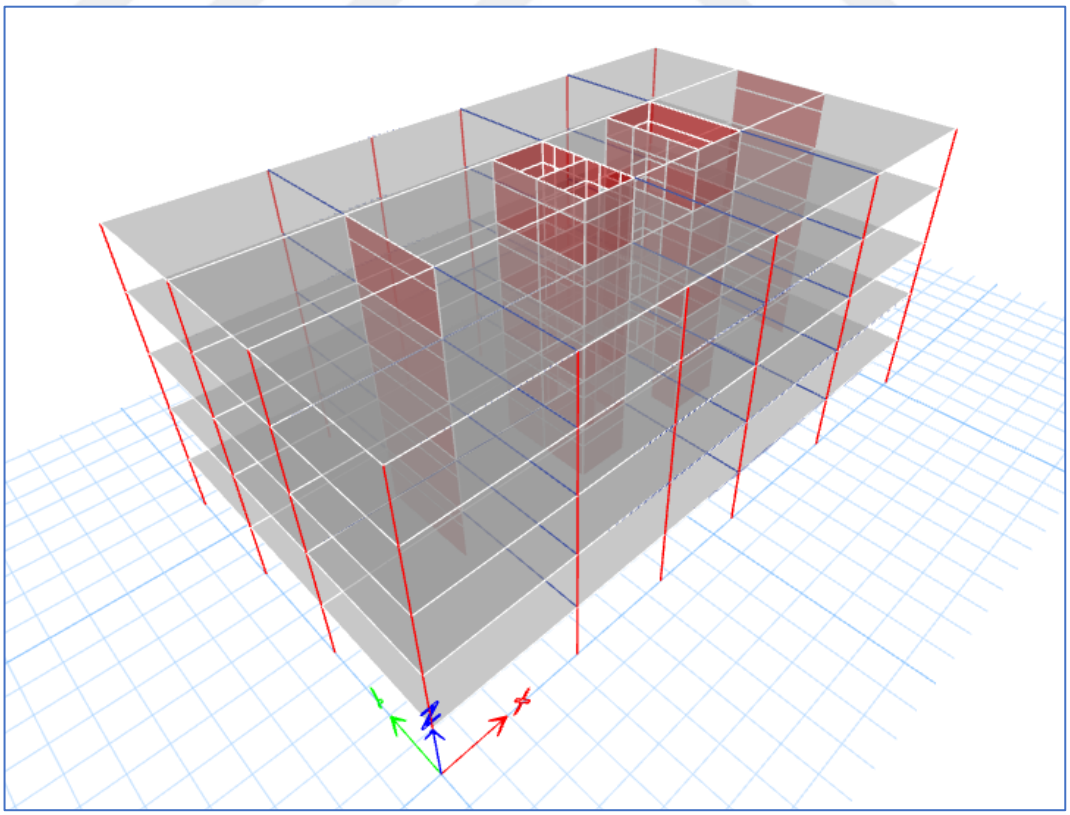


Şekil 3.6 Üçüncü modele ait üç boyutlu görseli

Dördüncü modelin kat planları Şekil 3.7'de ve üç boyutlu görseli Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

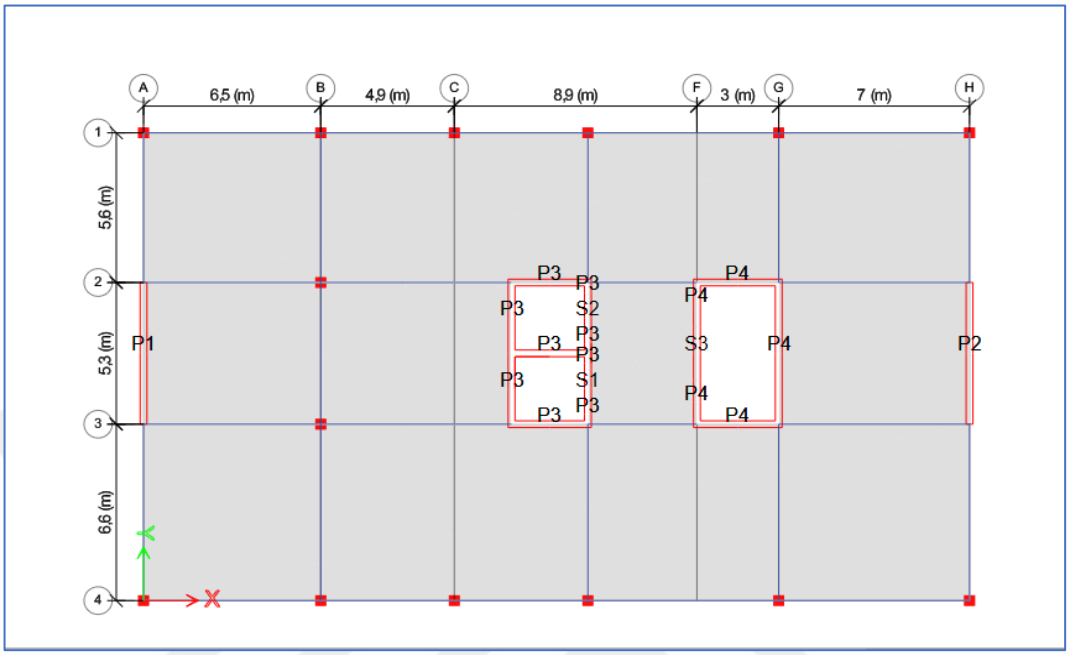


Şekil 3.7 Dördüncü modele ait kat planı

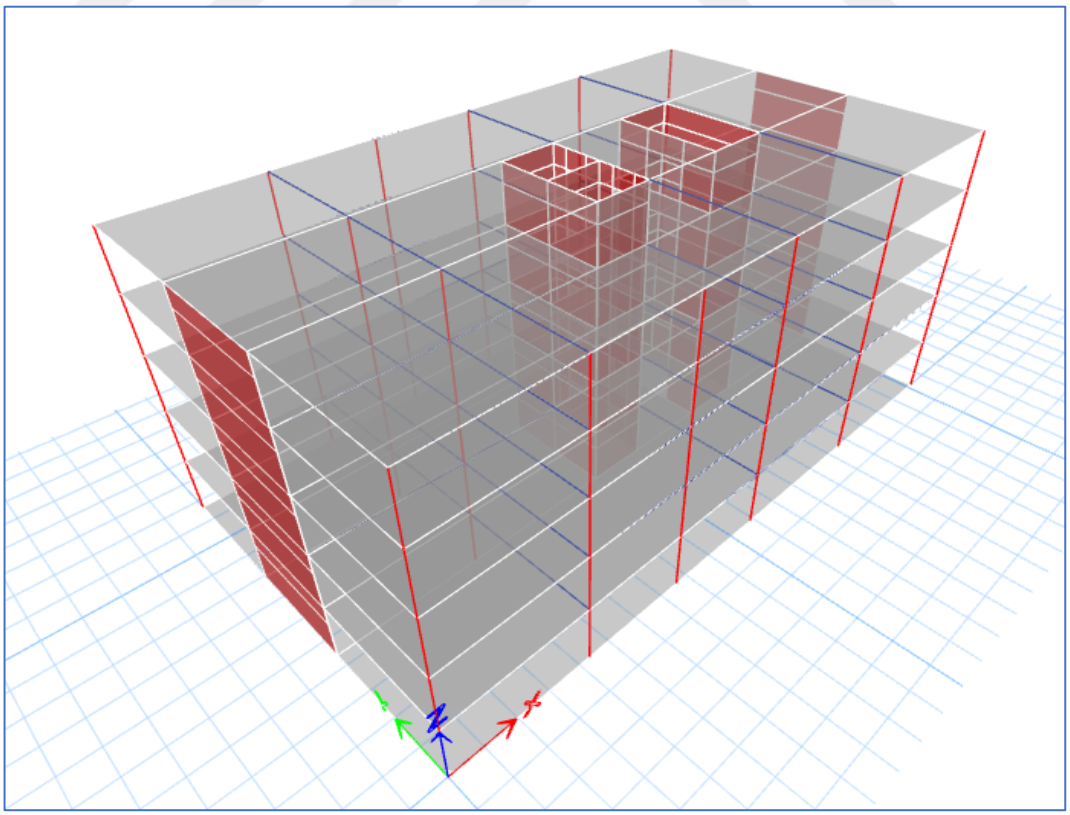


Şekil 3.8 Dördüncü modele ait üç boyutlu görseli

Beşinci modelin kat planları Şekil 3.9'da ve üç boyutlu görseli Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

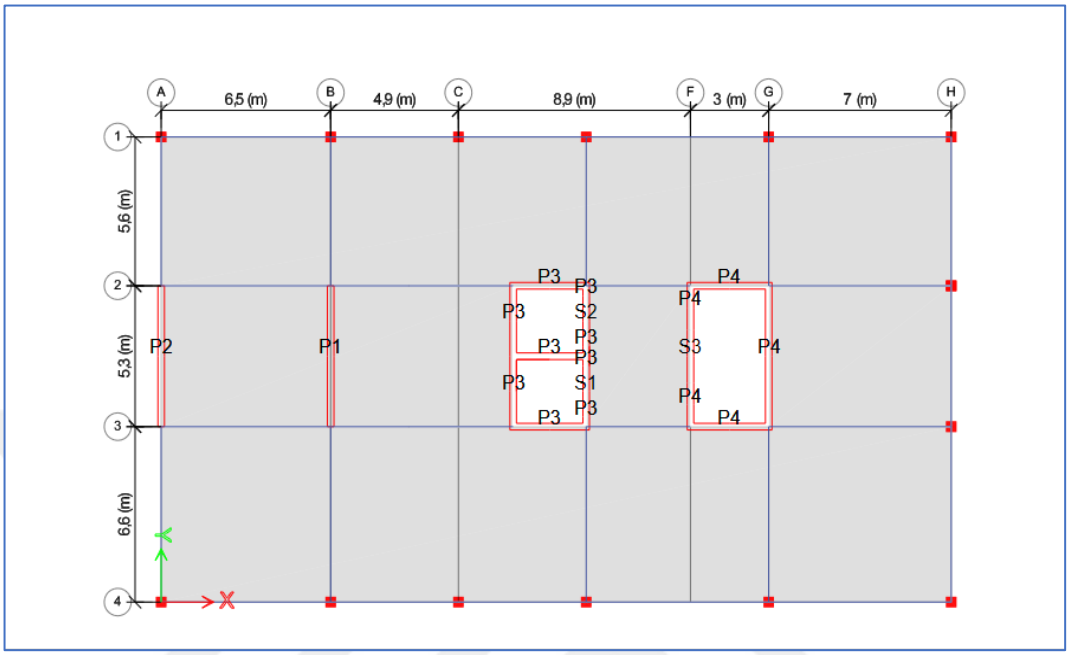


Şekil 3.9 Beşinci modele ait kat planı

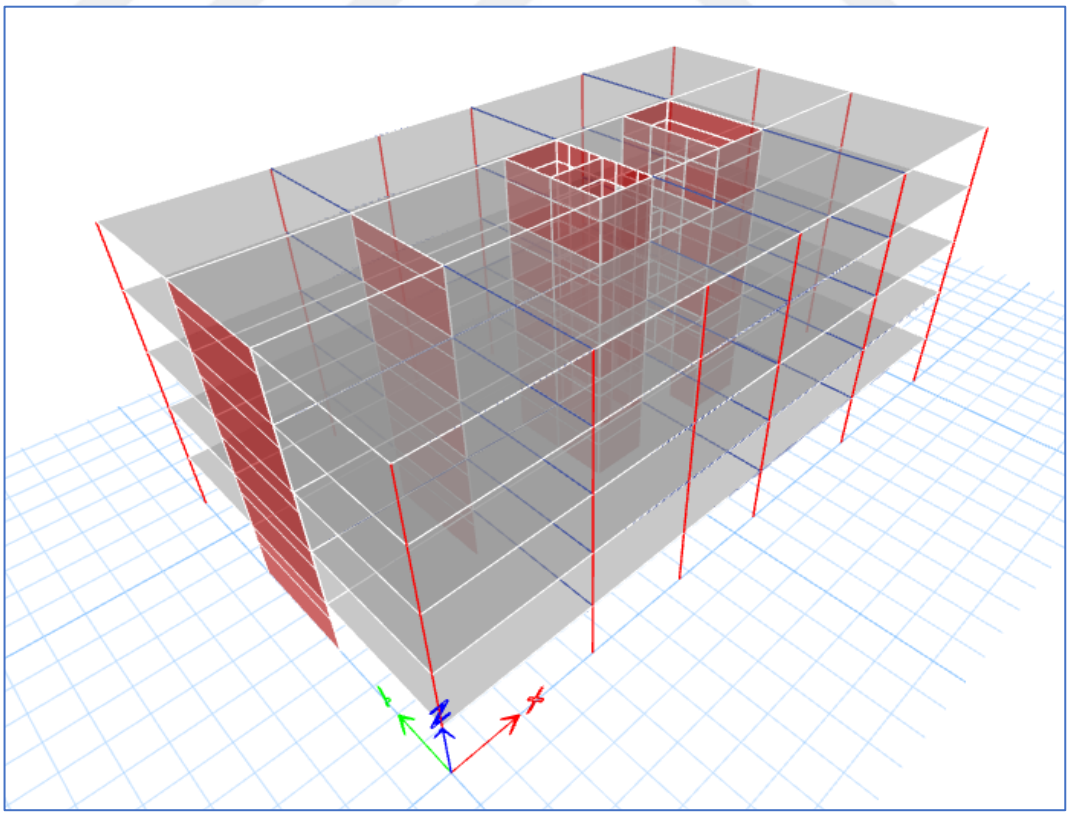


Şekil 3.10 Beşinci modele ait üç boyutlu görseli

Altıncı modelin kat planları Şekil 3.11'de ve üç boyutlu görseli Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

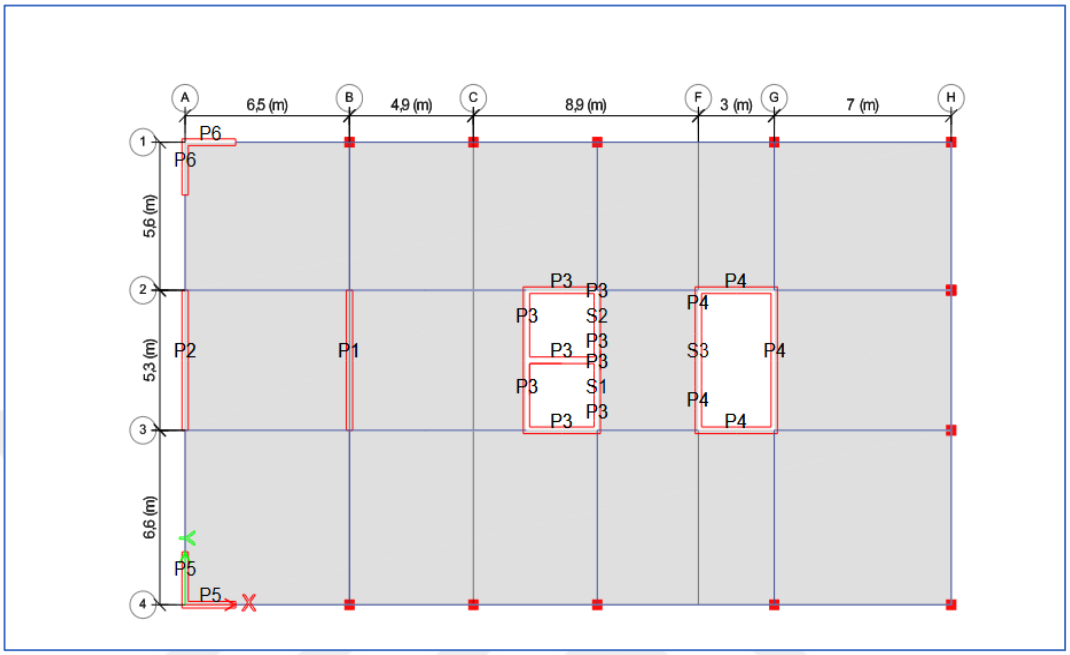


Şekil 3.11 Altıncı modele ait kat planı

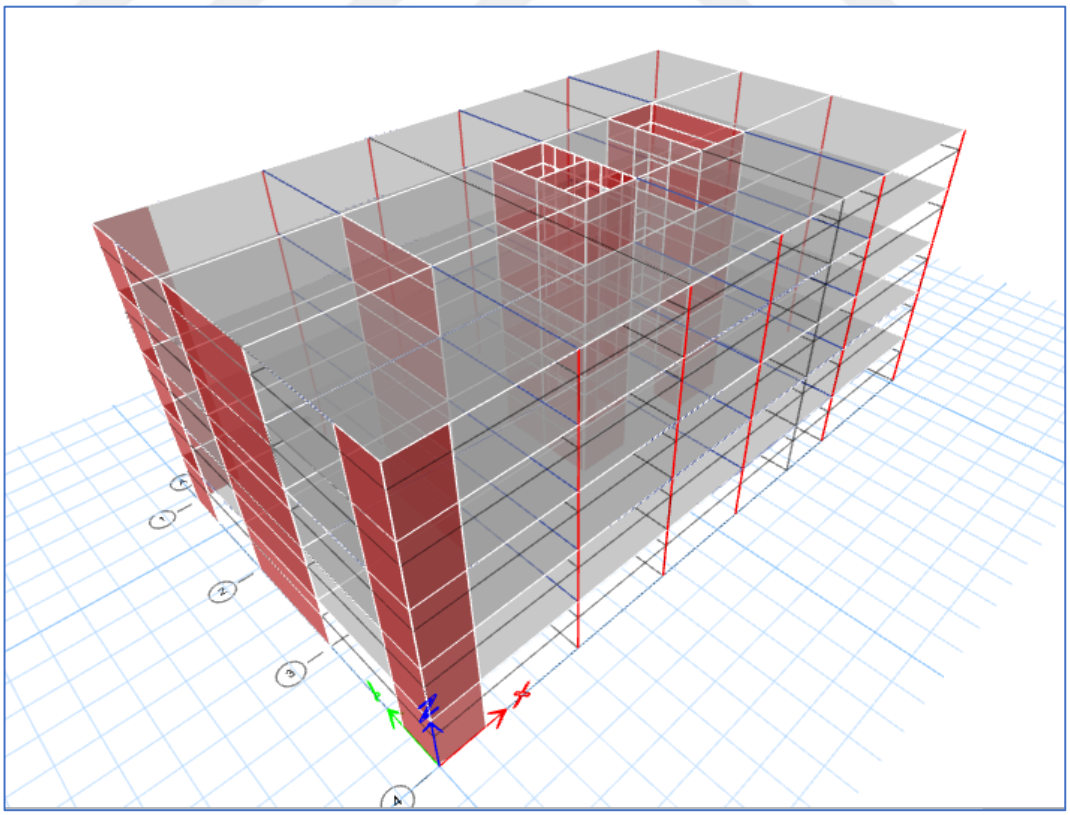


Şekil 3.12 Altıncı modele ait üç boyutlu görseli

Yedinci modelin kat planları Şekil 3.13'te ve üç boyutlu görseli Şekil 3.14'ta gösterilmiştir.

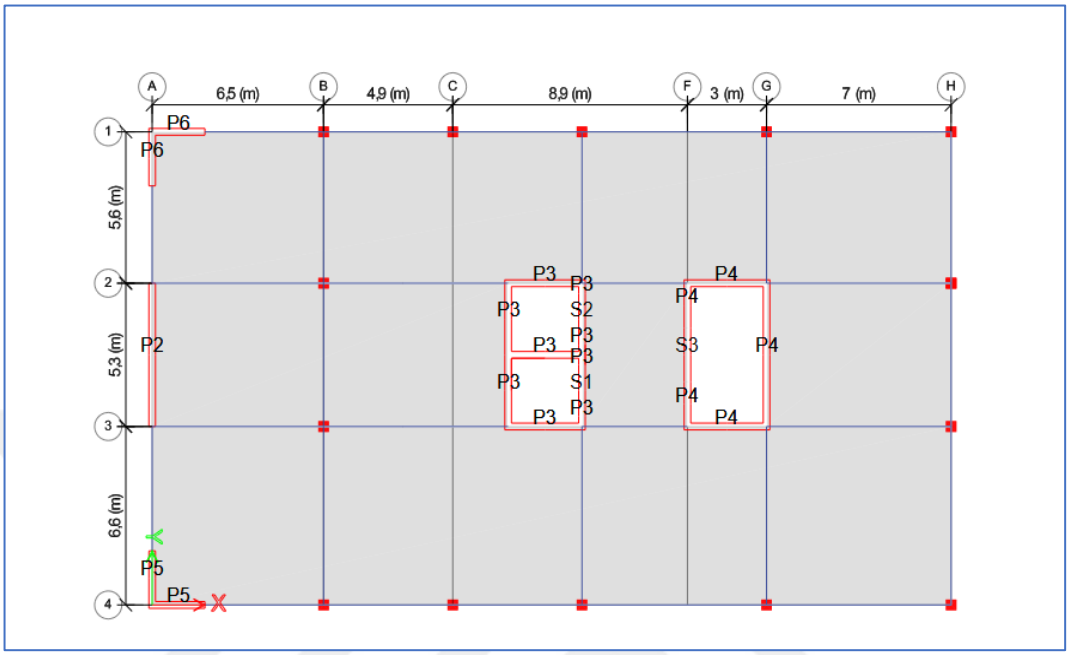


Şekil 3.13 Yedinci modele ait kat planı

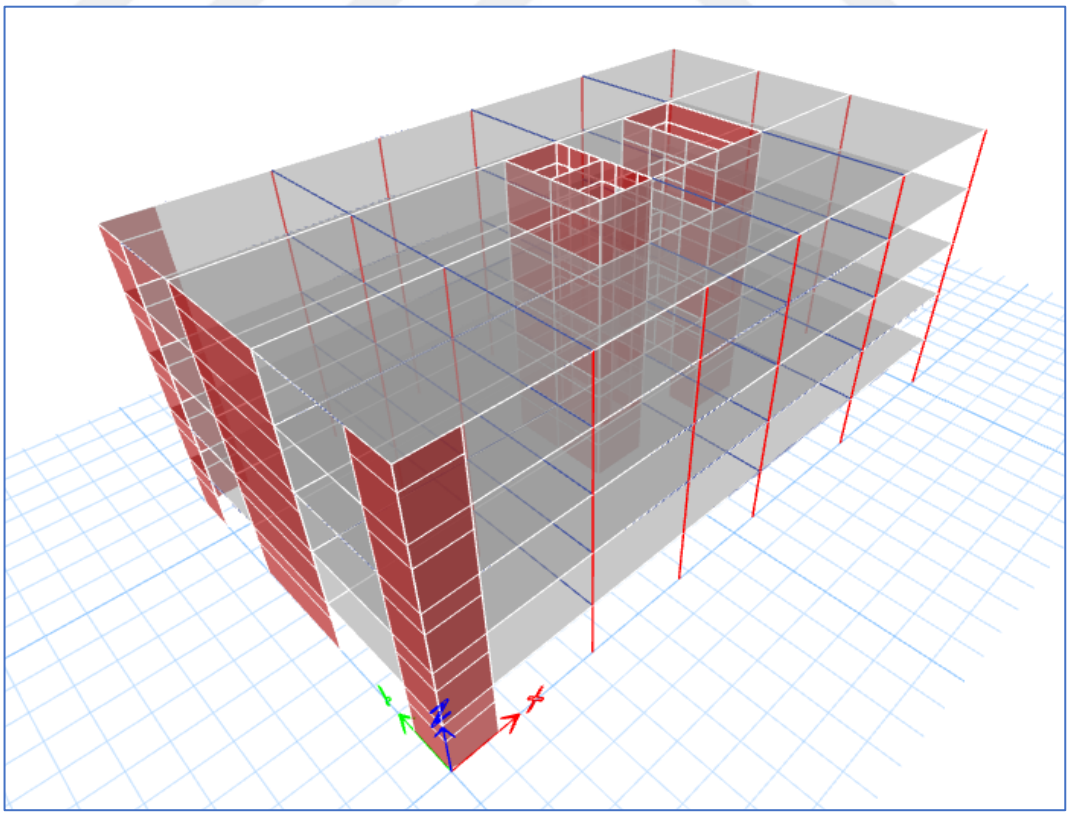


Şekil 3.14 Yedinci modele ait üç boyutlu görseli

Sekizinci modelin kat planları Şekil 3.15'te ve üç boyutlu görseli Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

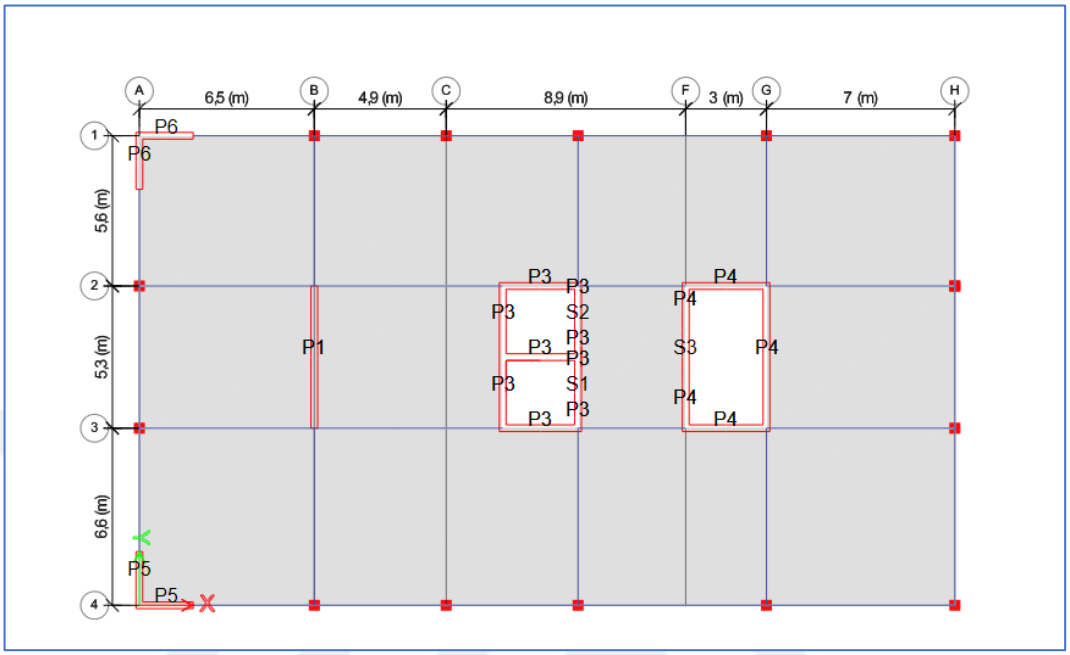


Şekil 3.15 Sekizinci modele ait kat planı

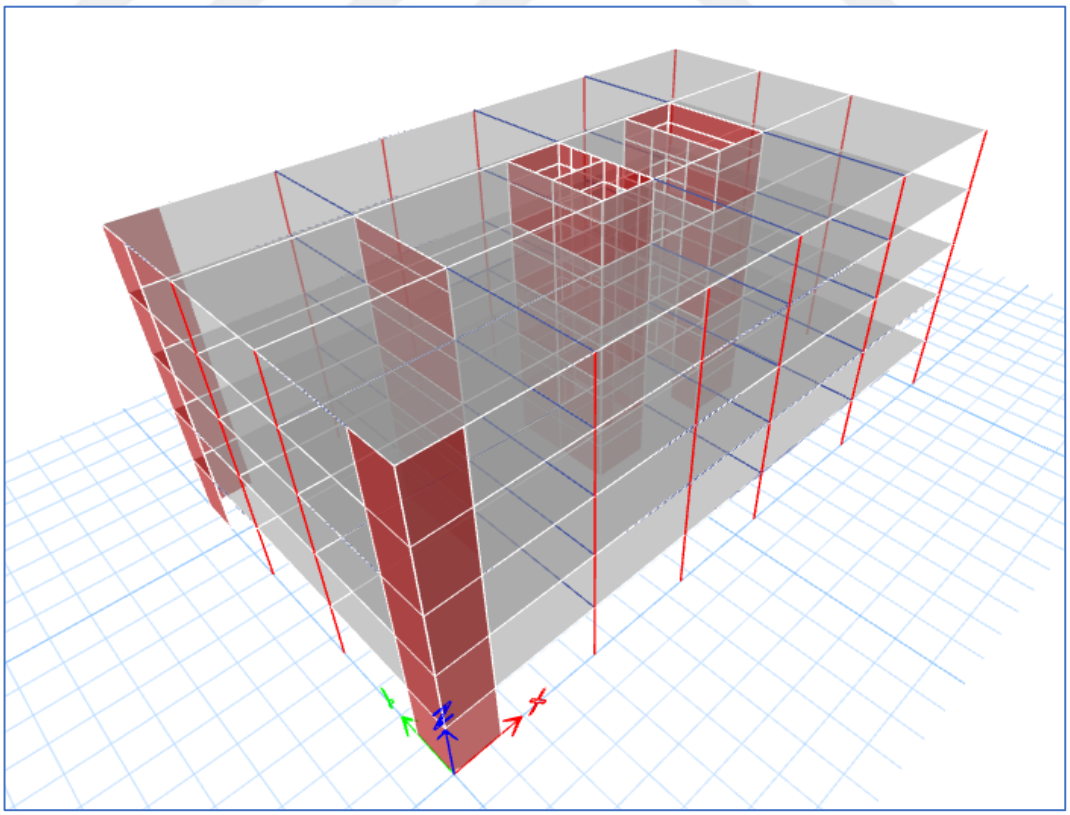


Şekil 3.16 Sekizinci modele ait üç boyutlu görseli

Dokuzuncu modelin kat planları Şekil 3.17'de ve üç boyutlu görseli Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

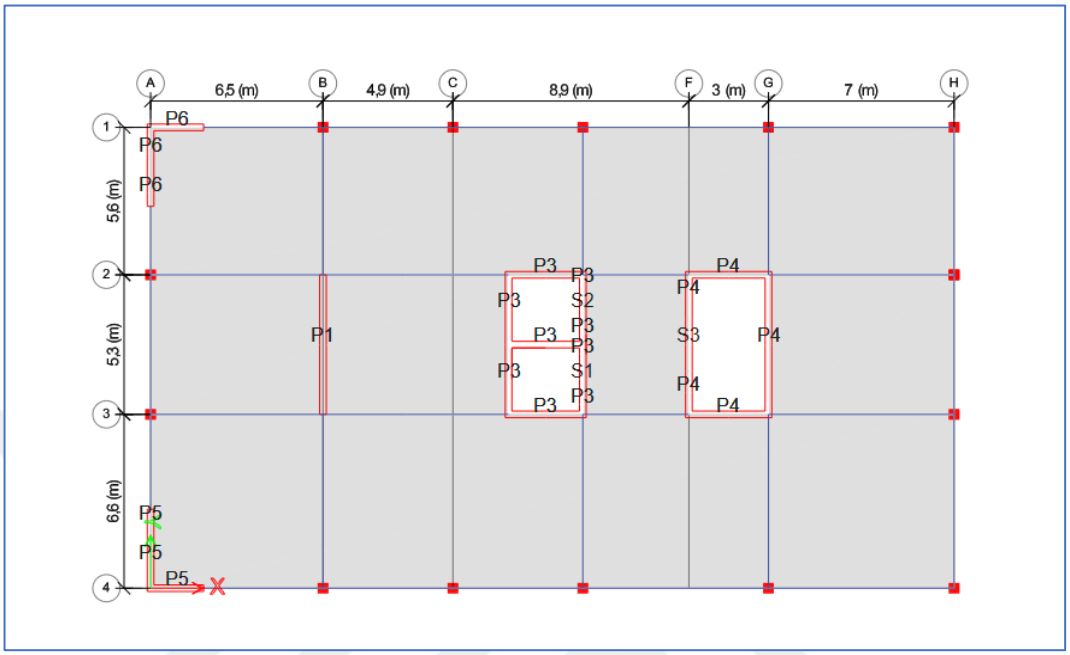


Şekil 3.17 Dokuzuncu modele ait kat planı

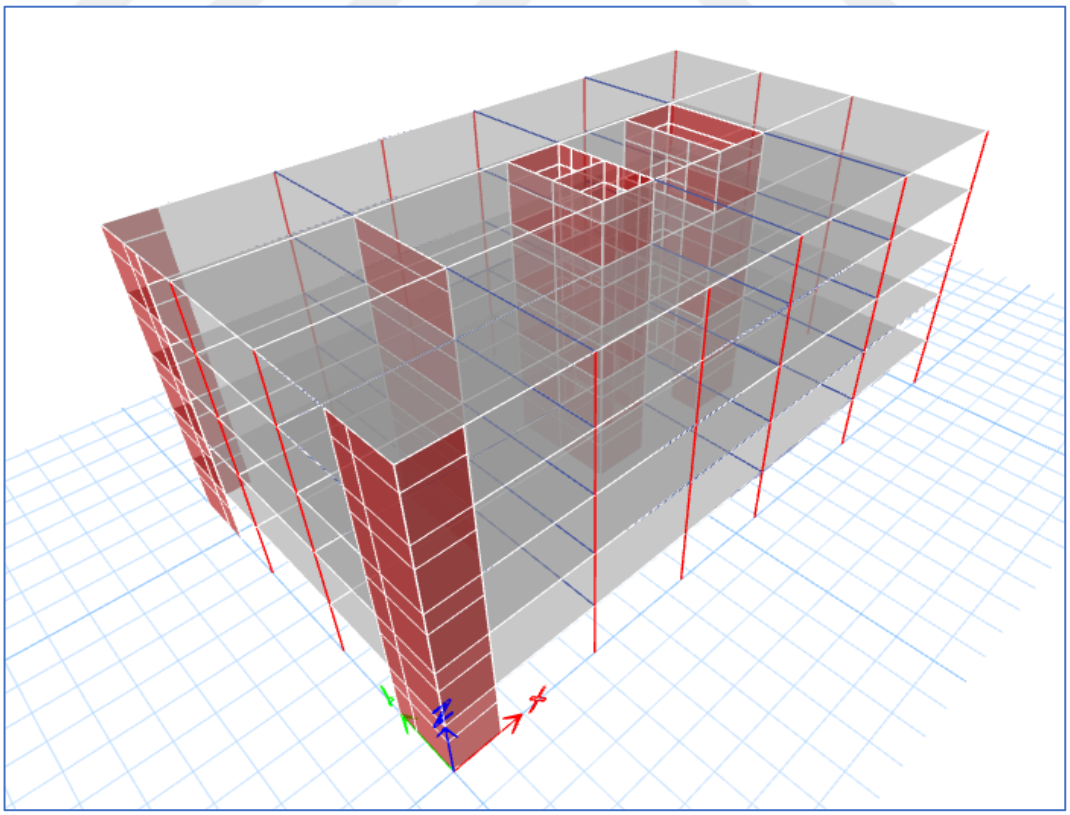


Şekil 3.18 Dokuzuncu modele ait üç boyutlu görseli

Onuncu modelin kat planları Şekil 3.19'da ve üç boyutlu görseli Şekil 3.20'de gösterilmiştir.

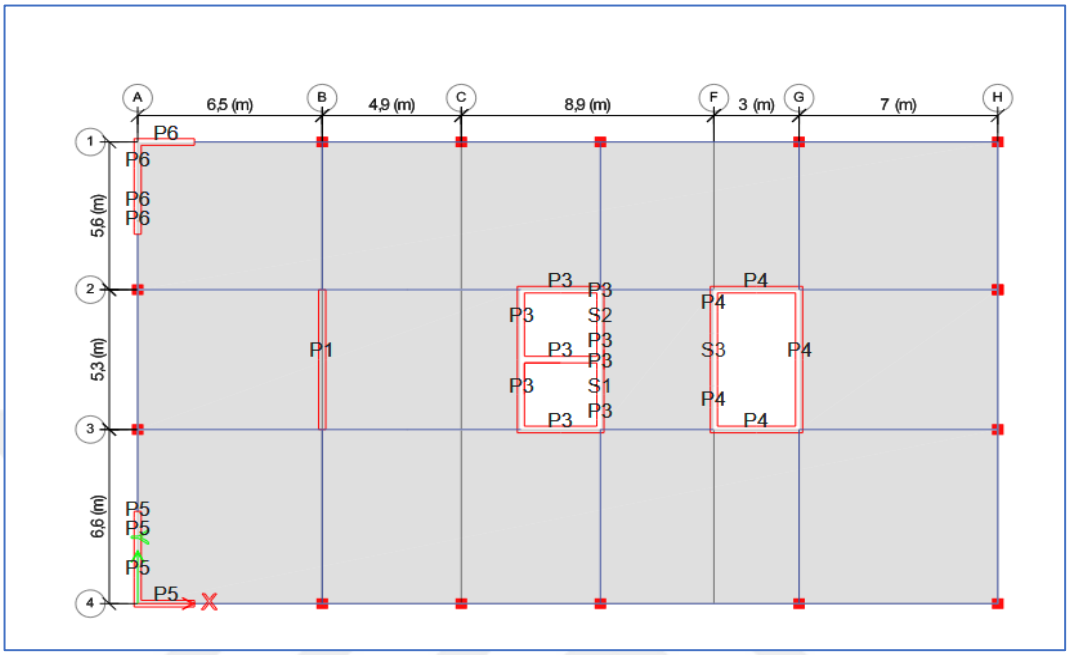


Şekil 3.19 Onuncu modele ait kat planı

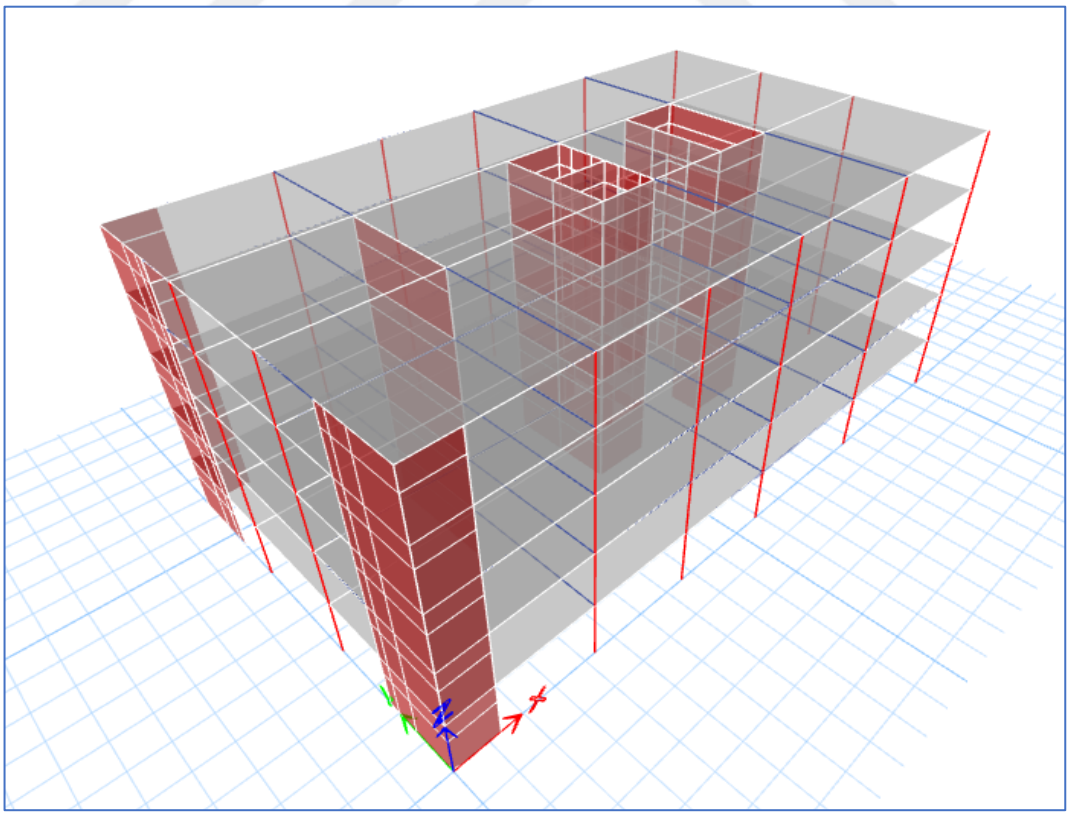


Şekil 3.20 Onuncu modele ait üç boyutlu görseli

On birinci modelin kat planları Şekil 3.21'de ve üç boyutlu görseli Şekil 3.22'de gösterilmiştir.

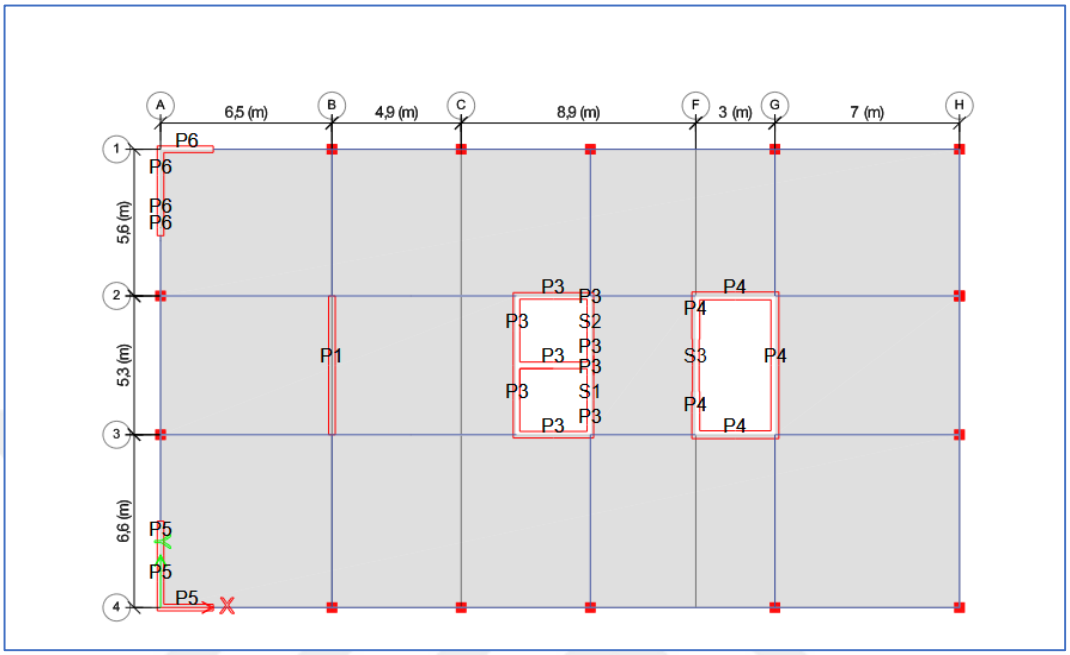


Şekil 3.21 On birinci modele ait kat planı

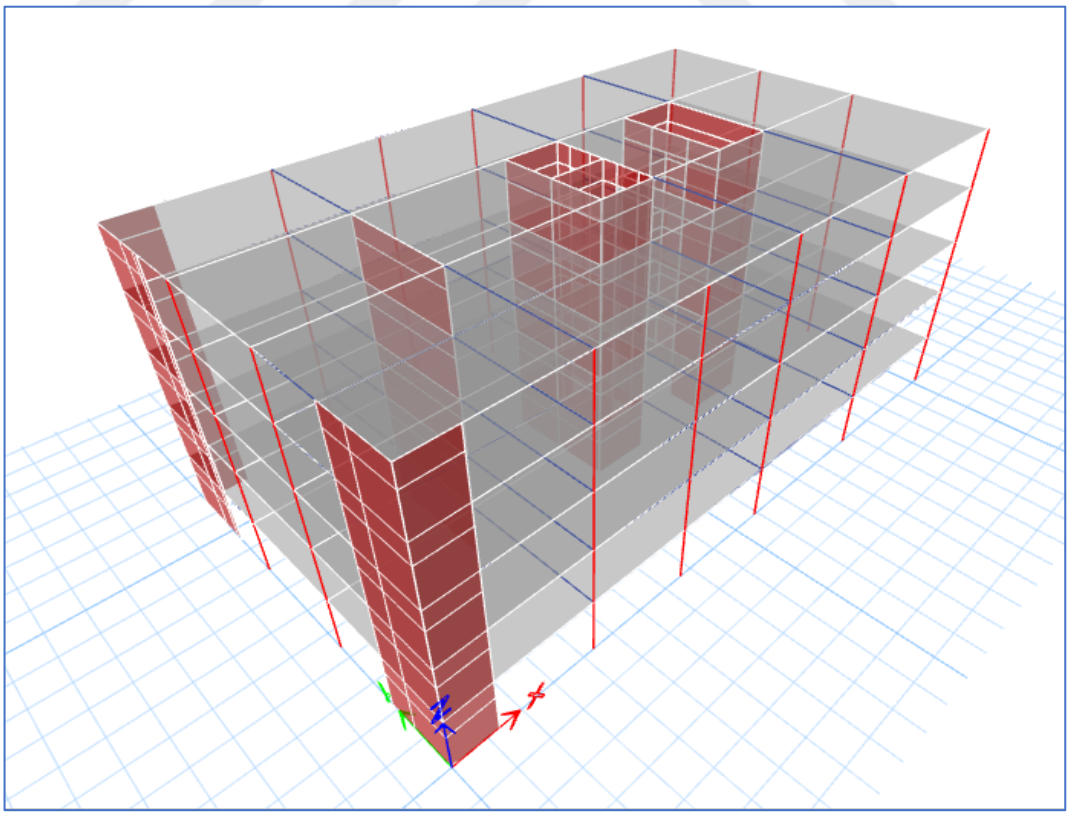


Şekil 3.22 On birinci modele ait üç boyutlu görseli

On ikinci modelin kat planları Şekil 3.23'te ve üç boyutlu görseli Şekil 3.24'ta gösterilmiştir.

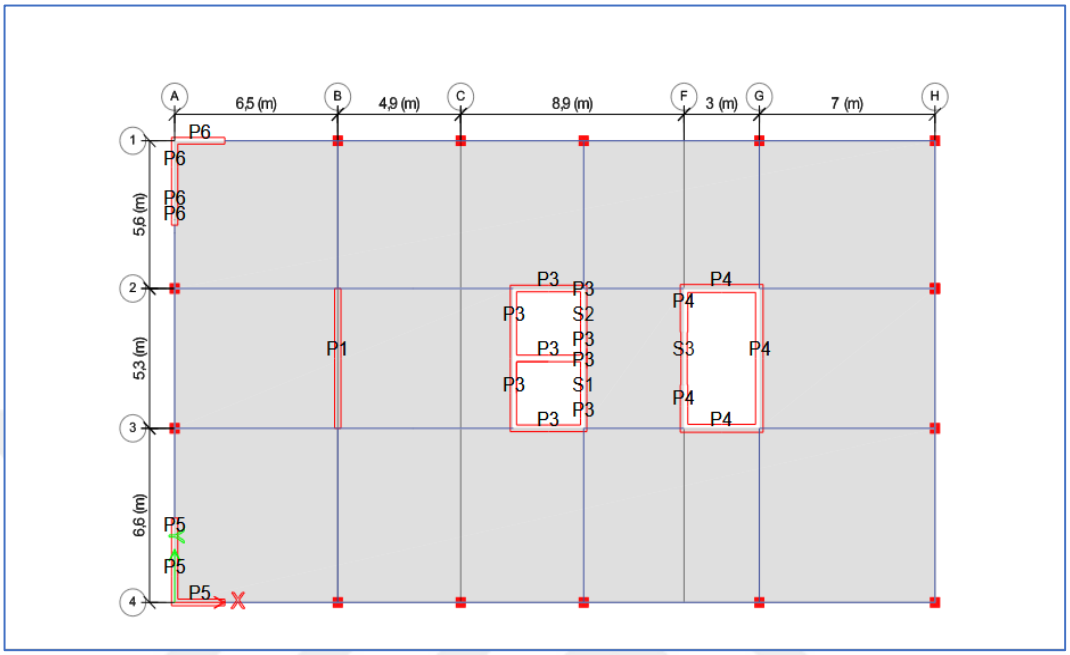


Şekil 3.23 On ikinci modele ait kat planı

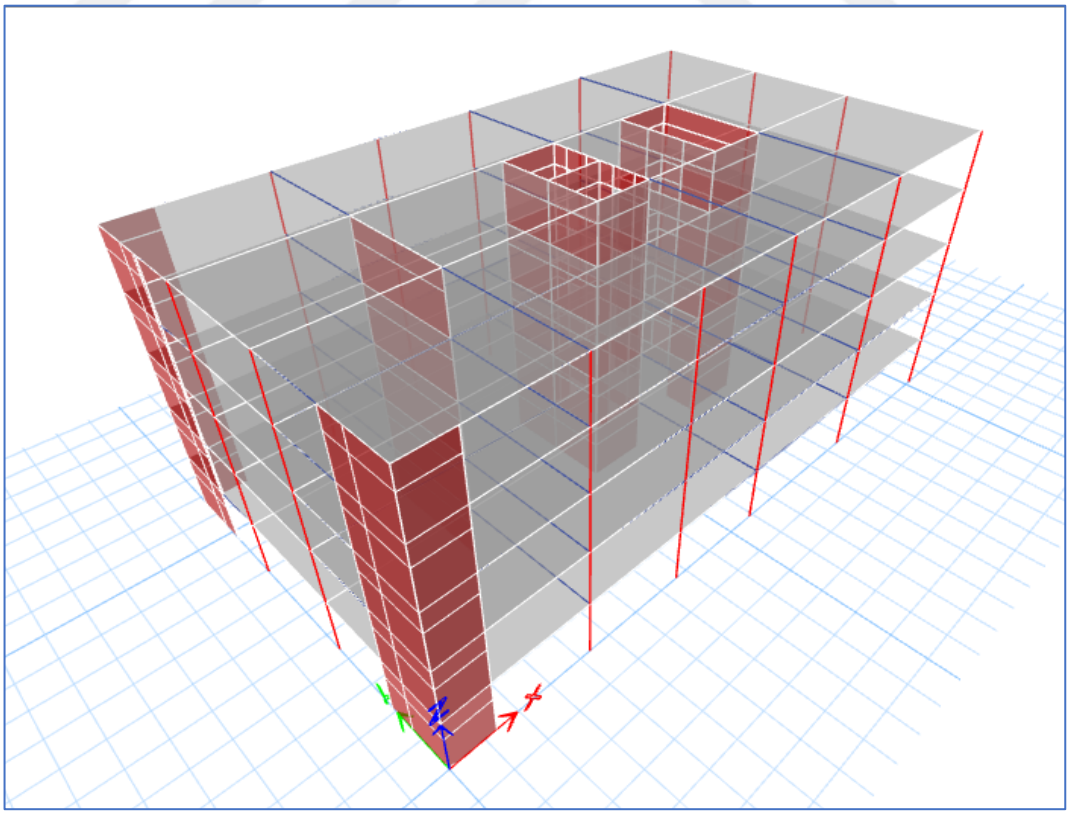


Şekil 3.24 On ikinci modele ait üç boyutlu görseli

On üçüncü modelin kat planları Şekil 3.25'te ve üç boyutlu görseli Şekil 3.26'da gösterilmiştir.

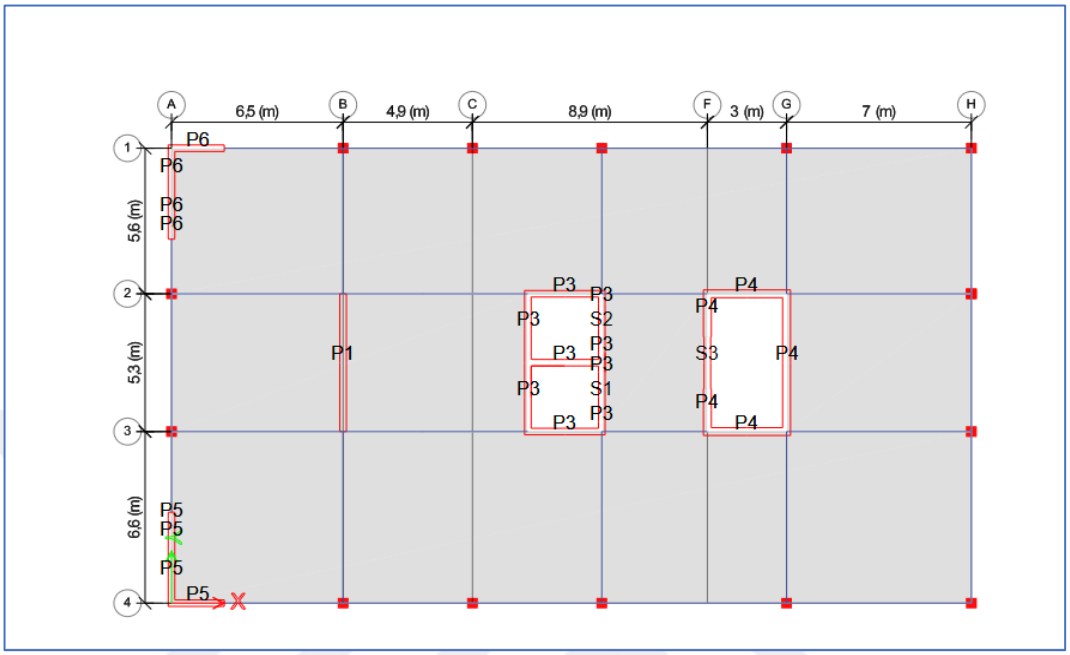


Şekil 3.25 On üçüncü modele ait kat planı

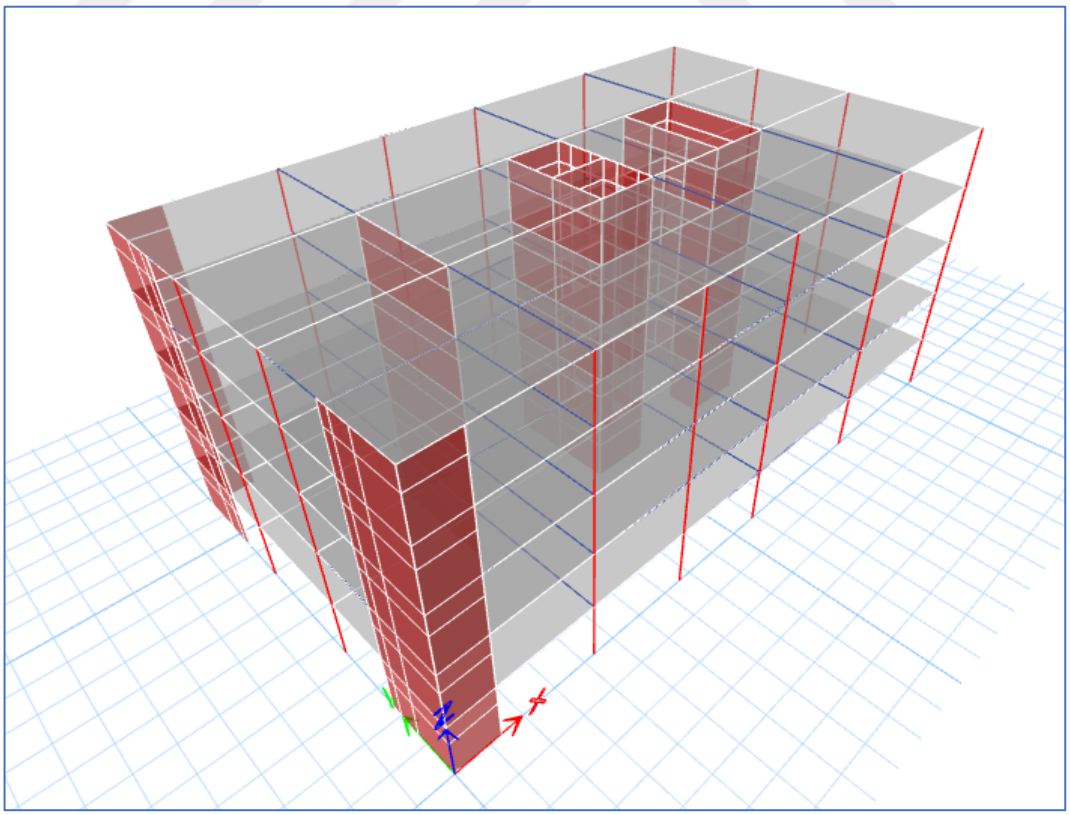


Şekil 3.26 On üçüncü modele ait üç boyutlu görseli

On dördüncü modelin kat planları Şekil 3.27'de ve üç boyutlu görseli Şekil 3.28'de gösterilmiştir.

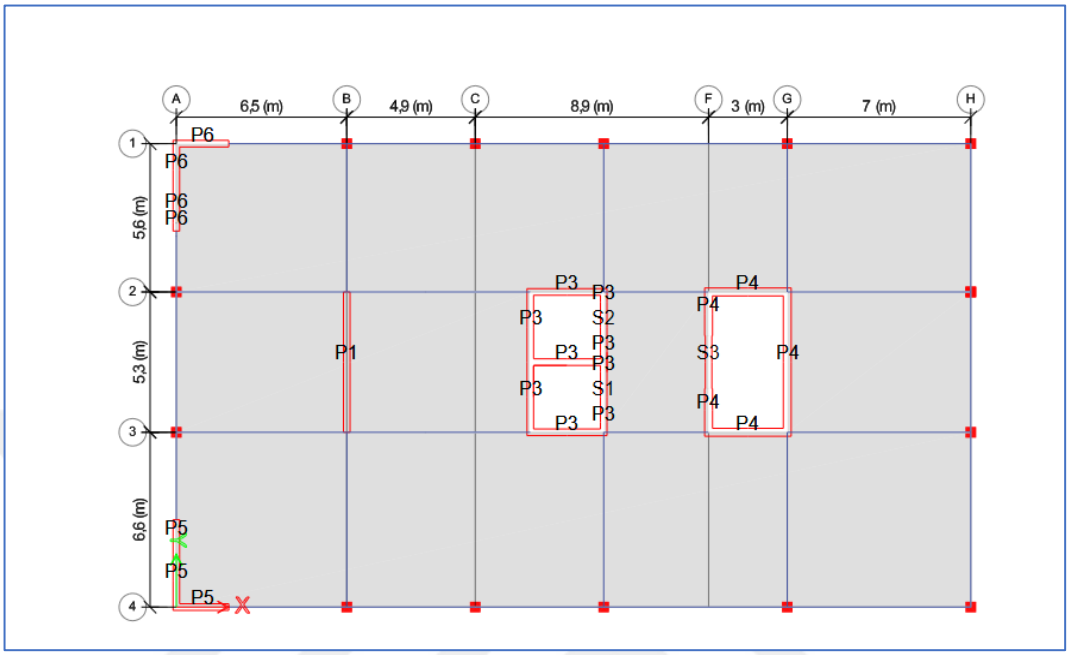


Şekil 3.27 On dördüncü modele ait kat planı

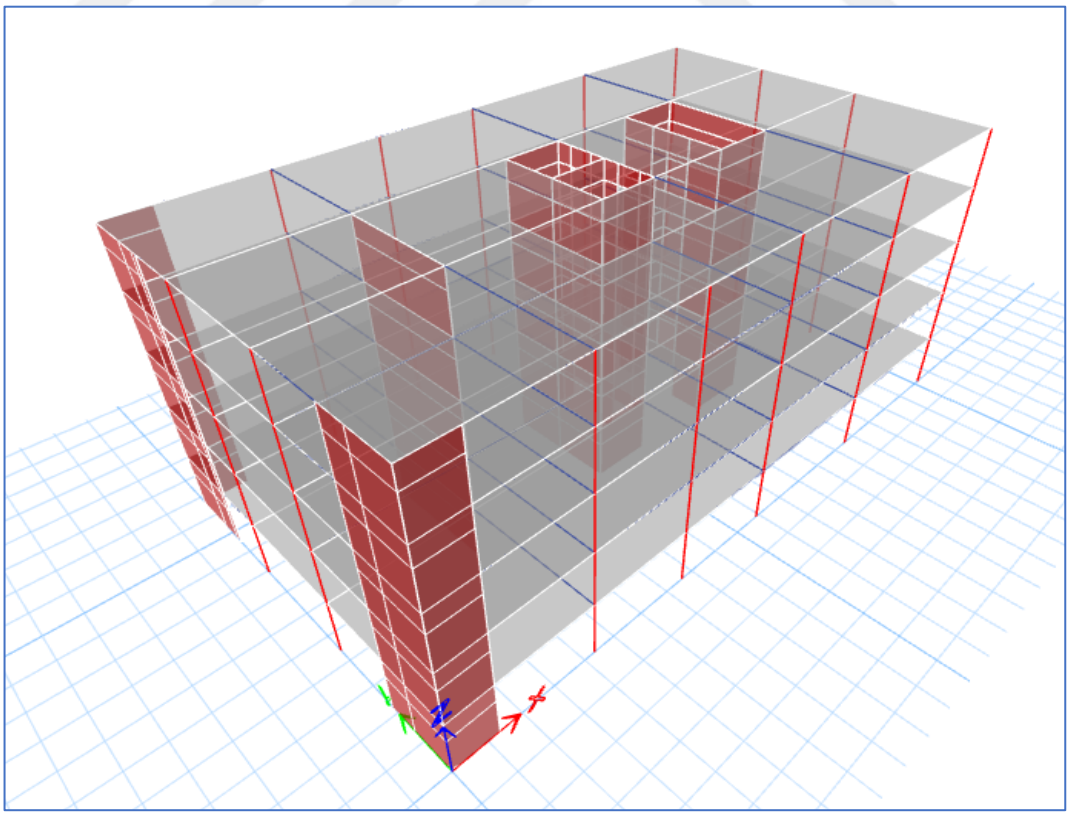


Şekil 3.28 On dördüncü modele ait üç boyutlu görseli

On beşinci modelin kat planları Şekil 3.29'da ve üç boyutlu görseli Şekil 3.30'da gösterilmiştir.

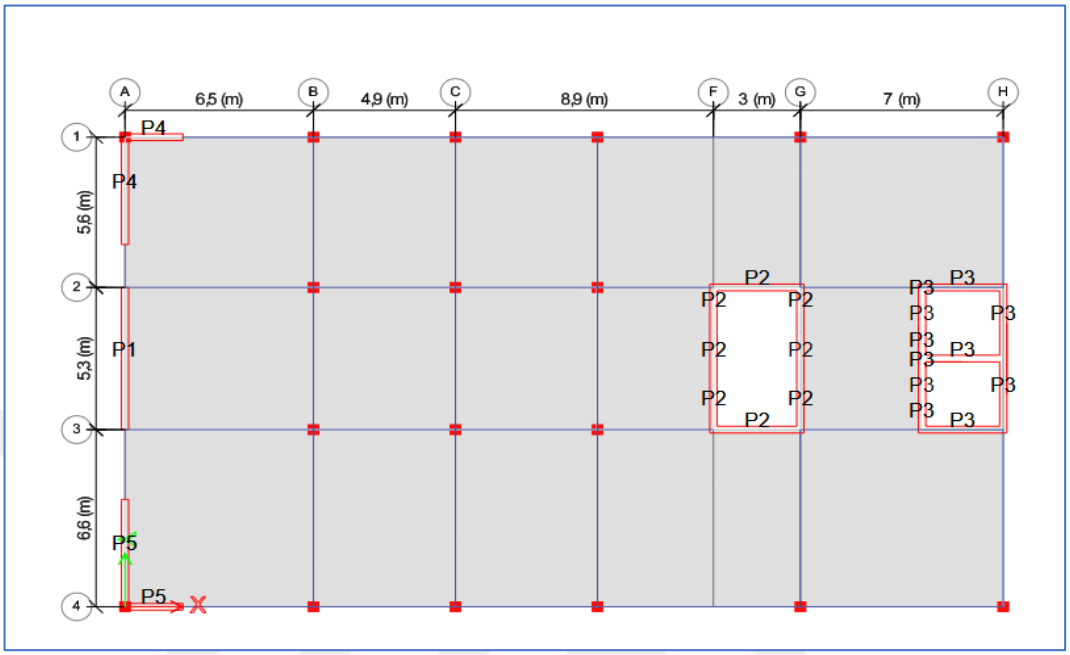


Şekil 3.29 On beşinci modele ait kat planı

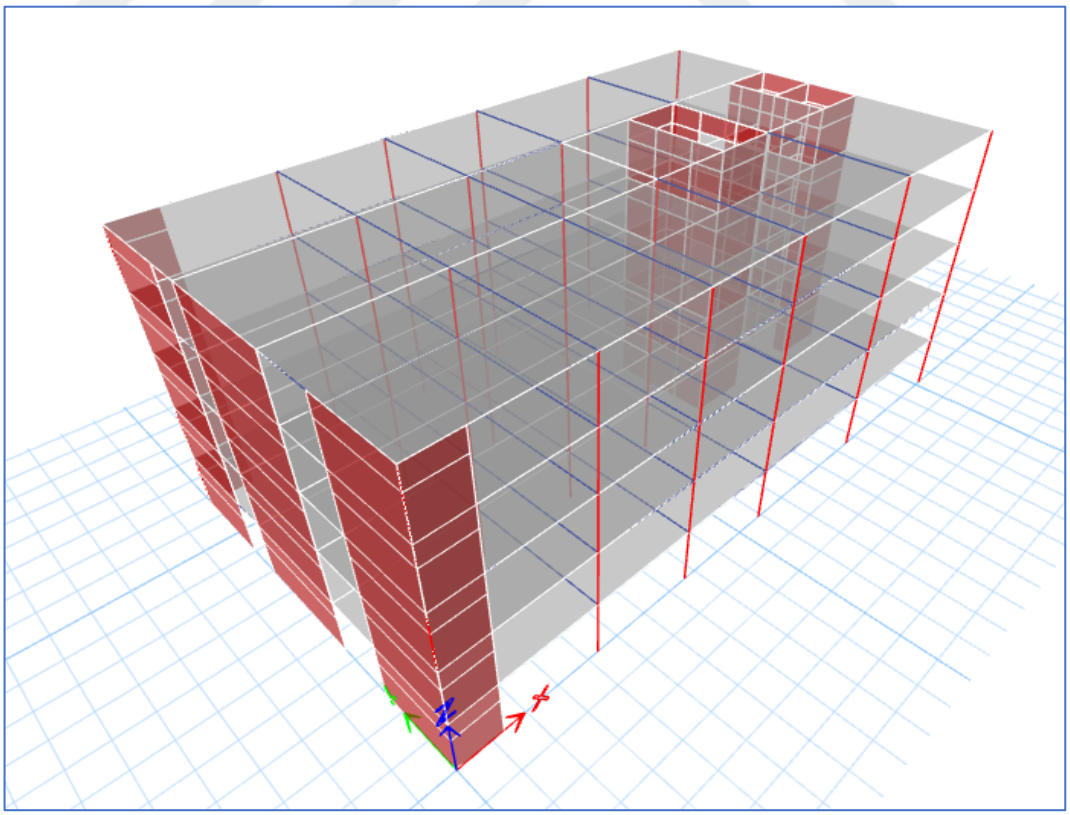


Şekil 3.30 On beşinci modele ait üç boyutlu görseli

On altıncı modelin kat planları Şekil 3.31'de ve üç boyutlu görseli Şekil 3.32'de gösterilmiştir.



Şekil 3.31 On altıncı modele ait kat planı



Şekil 3.32 On altıncı modele ait üç boyutlu görseli

Modellerin temel özellikleri şu şekildedir:

• Kiriş ve kolonlar çubuk elemanı olarak modellenmiştir.

• Döşemeler ve duvarlar kabuk inceliğinde modellenmiştir.

• Tüm elemanlar tamamen temele sabitlenmiştir.

• Çerçeveler ve duvarlar her kat seviyesinde rijit diyaframlarla (yatay düzlemde) birbirine bağlanmıştır.

• Ani meydana gelen burulma etkileri TBDY 2018 ve ASCE7 16 göre dikkate alınır.

• Modellerde dolgu duvar etkisi dikkate alınmamıştır.

• Tablo 3.2'de gösterildiği gibi, tüm modellerde ve hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 kodları için çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri dikkate alınmıştır.

Tablo 3.2 Çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri

Eleman	**ASCE7 16**	**TBDY 2018**
Kiriş	I22 = I33 = 0,35	I22 = I33 = 0,35
Kolon	I22 = I33 = 0,7	I22 = I33 = 0,7
Perde duvarı	F22 = 0,7, M11 = M22 = M12 = 0,1	F11 = F22 = F12 = M11 = M22 = 0,25
Bağ kirişi	F11 = 0,35 , M11 = M22 = M12 = 0,1	M11 = M22 = 0,15
Döşeme	F11 = F22 = F12 = M11 = M22 = M12 = 0,25	F11 = F22 = F12 = M11 = M22 = 0,25

3.2 Sismik Etkiler

Bina sistemlerinin sismik tepkileri, benimsenen analiz yönteminin türüne büyük ölçüde bağımlıdır. Analiz yöntemleri doğrusal yöntem ve doğrusal olmayan yöntemlere ayrılabilir. Doğrusal yaklaşımda, kuvvetin zamanla sabit olduğu varsayılır. Bu yaklaşım, doğrusal statik ve doğrusal dinamik yaklaşım olarak alt sınıflara ayrılabilir. Yapıyı etkileyen sismik yükü ASCE7 16 ve TBDY 2018 deprem yönetmeliklerinde bulunan mod birleştirme yöntemini (response spektrum analizi) ve zaman tanım alanında analiz yöntemini (time history analysis) kullanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu, sonuçlar ve çıktılar arasındaki karşılaştırma sürecinin daha sonra gerçekleşmesi için iki yöntemden alınmıştır. Sonlu eleman analizinde kullanılan bina hakkındaki bilgiler ve sismik parametreler Tablo 3.3'te verilmiştir.

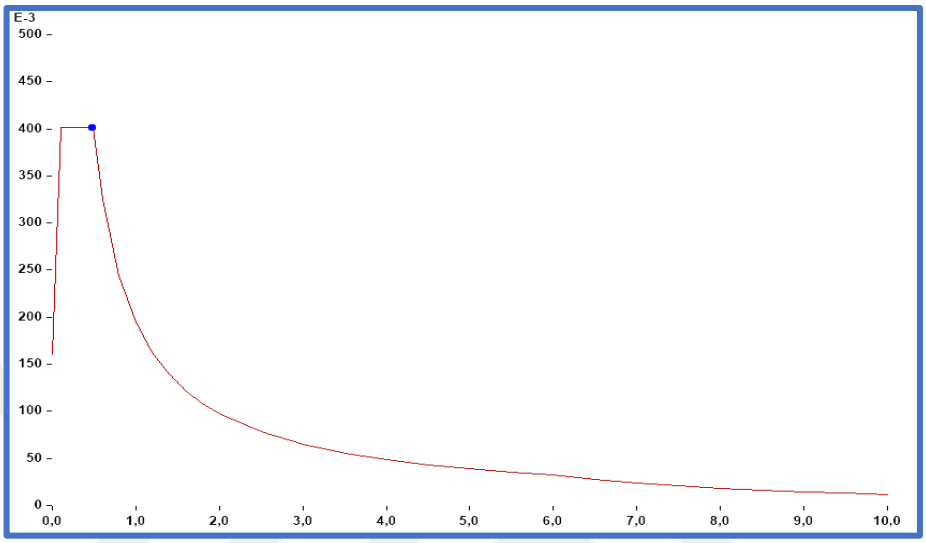
Tablo 3.3 Sonlu eleman analizinde kullanılan yapı hakkındaki bilgiler

	TBDY 2018	**ASCE7 16**
Deprem yer hareketi düzeyi	DD-2	DD-2
Yerel zemin sınıfı	ZC	ZC
Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı	Ss= 0,309	Ss= 0,309
1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	S1= 0,13	S1= 0,13
Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı	Fs= 1,3	Fa=1,3
1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı	f1=1,5	Fv= 1,5
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	$S_{DS} = Fs*S_S = 0,4017$	$S_{DS} = 2/3 * Fa*S_S = 0,268$
1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	$S_{D1} = F_1*S_1 = 0,195$	$S_{D1} = 2/3 * Fv*S_1 = 0,13$
Bina kullanım sınıfı (BKS):	3	2
Bina önem katsayısı (I)	1,00	1,00
Deprem tasarım sınıfı (DTS)	3	B
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	7	6,5
Dayanım fazlalığı katsayısı (D)	2,5	2,5

3.2.1 Mod birleştirme yöntemi

Yapıların sismik analizinde deprem davranış spektrumu en popüler araçtır. Tepki Spektrumu, önceden belirlenmiş bir yer hareketine maruz kalan bir Tek Serbestlik Derecesi (SDOF) sistemleri maksimum tepkilerini (ivme, hız ve yer değiştirme) tahmin etme yöntemidir. Bu yöntemdeki dinamik kuvvetler, kodlarla belirtilen davranış spektrumu şeklinde yapıya uygulanır. Bir yanıt spektrumu, olası tüm SDOF osilatörlerinin maksimum yanıtı (yer değiştirme, hız veya ivme) olarak tanımlanır; doğal frekansları ve sönüm katsayıları, doğal periyodu ile tanımlanabilir; bir dizi Tek Serbestlik Derecesi (SDOF) sistemi analiz edilerek elde edilebilir. Tepki spektrumu analizi, tüm bina türleri için uygulanabilir. Tepki Spektrumu prosedürü, rijitlik, kütle veya geometrinin düşey veya yatay düzensizliği ile yüksekliği yüksek olan yapılar için zorunludur. Bu nedenle, doğrusal statik yaklaşımla karşılaştırıldığında yapısal tepki hakkında daha fazla bilgi sağlar. Ayrıca, her moddaki sismik tepki, farklı modal kombinasyon kuralları (SRSS, ABS ve CQC) kullanılarak toplam sismik tepkiyi elde etmek için ayrı ayrı birleştirilir [84- 85]. Tüm bina modellerinin Mod Birleştirme Yöntemi, Tablo 3.3'te bulunan deprem verileri ve TBDY 2018 ve ASCE7 16 ilkeleri dikkate alınarak ve adımları takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'deki parametreler kullanılarak şekilde gösterildiği gibi Spektrum Eğrisi oluşturuldu. Doğal

titreşim modlarının belirlenmesinde, tam karesel birleştirme (CQC) bağlantı kullanılacaktır. Modal Sönüm (Modal Damping) değeri de 0,05 olarak alınacaktır. Ek dışmerkezi her iki deprem doğrultusu için 0,05 olarak dikkate alınmıştır. DD-2 deprem düzeyi yatay elastik tasarım spektrumu Şekil 3.33'te verilmiştir.



Şekil 3.33 DD-2 deprem düzeyi yatay elastik tasarım spektrumu

TBDY 2018 ve ASCE7 16'ya göre ele alınan bir depremin herhangi bir yer hareketi düzeyi için, yatay elastik tasarım spektral ivmesi, Denklem (3.1)'deki temel titreşim periyoduna bağlı olarak, yatay elastik tasarım ivme spektrumunun koordinatı olan S_{ae} (T) yerçekimi ivmesi (g) cinsinden belirlenir.

$$
\begin{aligned}
&S_{ae}(T) = (0{,}4+0{,}6*(T/T_A))*S_{DS} && [0 \le T \le T_A] \\
&S_{ae}(T) = S_{DS} && [T_A \le T \le T_B] \\
&S_{ae}(T) = S_{D1}/T && [T_B \le T \le T_L] \\
&S_{ae}(T) = (S_{D1}*T_L)/T^2 && [T_L \le T\,]
\end{aligned}
\qquad (3.1)
$$

Burada;

S_{DS} = kısa periyotlarda tasarım spektral yanıt hızlanma parametresi

S_{D1} = 1 saniyelik bir periyotta tasarım spektral yanıt hızlanma parametresi

T = Doğal titreşim periyodu [s].

$T_A = 0{,}2(S_{D1}/S_{DS}) = 0{,}097$ [s].

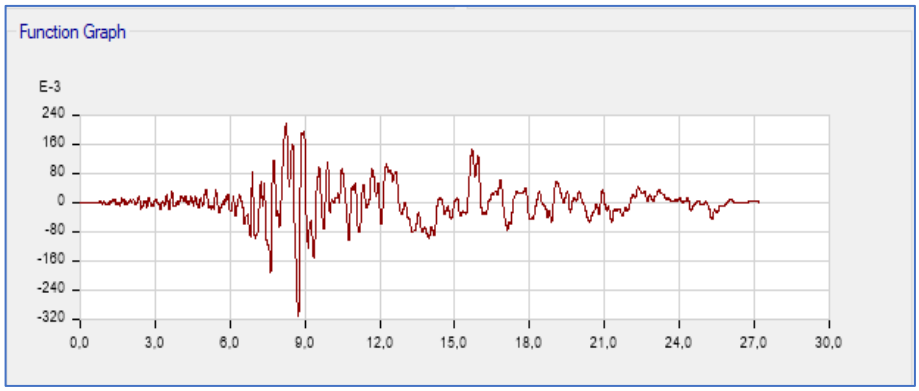
$T_B = S_{D1}/S_{DS} = 0{,}485$ [s].

T_L = sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu, [s].

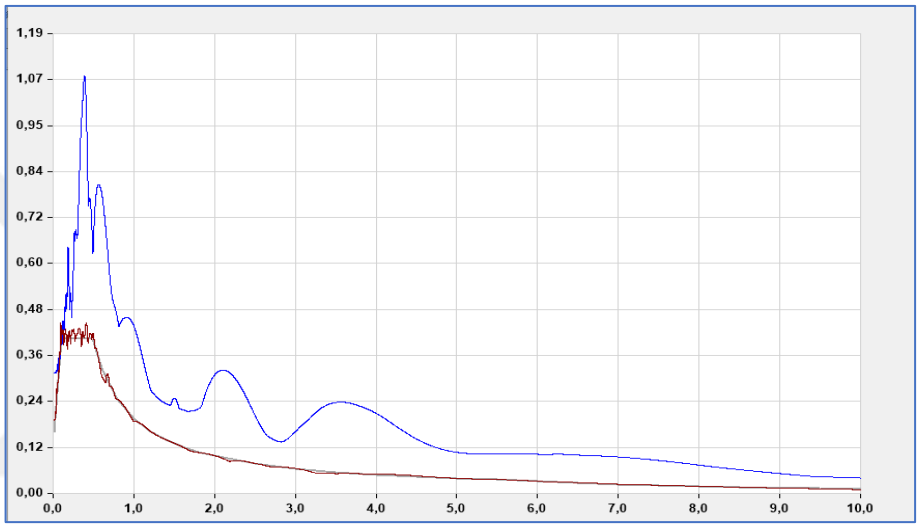
Tablo 3-3'te verilen S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve S_{D1} 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, TBDY 2018 ve ASCE7 16 yönetmeliklere göre farklı olduğundan dolayı Sae (T) değeri farklı olsa bile Denklem (3-1)'deki T_A (ASCE7 16'ya göre T_0) , TB (ASCE7 16'ya göre T_S) aynı değerler elde edinmiştir ve T_L değeri TBDY 2018'e göre 6 saniye iken ASCE7 16'ya göre 8 saniye almaktadır.

3.2.2 Zaman tanım alanında analiz yöntemini

Zaman tanım alanında analiz yöntemini kullanan dinamik analiz, temel hareket olarak ayrı ayrı kaydedilmiş veya sentetik zaman geçmişlerini kullanarak ayrık zaman adımlarında bina tepkisini hesaplayacaktır. Tepki parametreleri her zaman tanım alanı analizi için hesaplanmalıdır. ASCE7 16'ya göre üç veya daha fazla zaman tanım alanı analizi yapılırsa, tasarım için ilgilenilen parametrenin maksimum yanıtı kullanılmalıdır. Zaman tanım alanı analizi için yedi veya daha fazla tutarlı yatay yer hareketi kaydı çifti kullanılıyorsa, tasarım için ilgilenilen parametrenin tüm yanıtlarının ortalamasının kullanılmasına izin verilmektedir. TBDY 2018'e göre en az on bir zaman tanım alanı analizi kullanılmalıdır ve tasarım için tüm yanıtlarının ortalamasının kullanılmasına izin verilmektedir. Bu yöntemde mod süper pozisyon yöntemi uygulanmaktadır. Belirli bir yerde inşa edilecek bir yapının sismik analizinin ve tasarımının yapılabilmesi için gerçek zaman tanım kaydı gereklidir. Tablo 3.3'inin içerisinde verilmiş parametrelere uygun, zaman tanım alanı analizlerde TBDY 2018 ve ASCE7 16'nda verilen elastik spektruma uygun olarak ayrı ayrı ölçeklendirilmiş deprem kayıtları kullanılmış ve analizler yapılmıştır. Zaman tanım alanında analizler yapılırken, ölçeklendirilme ETABS 2020 yazlım yardımı ile gerçekleştirilmiştir. TBDY 2018'e ait analiz için 11 deprem kaydı kullanılmıştır. ASCE7 16'ya ait analiz ise 7 deprem kaydı kullanılmıştır. Kocaeli, 08.17.1999, depremine ait "Düzce, 180" kaydı sadece TBDY 2018'e ait analizinde kullanılmıştır. Kocaeli, 08.17.1999 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) – periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.34'te verilmiştir. Kocaeli, 08.17.1999 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.35'te verilmiştir.

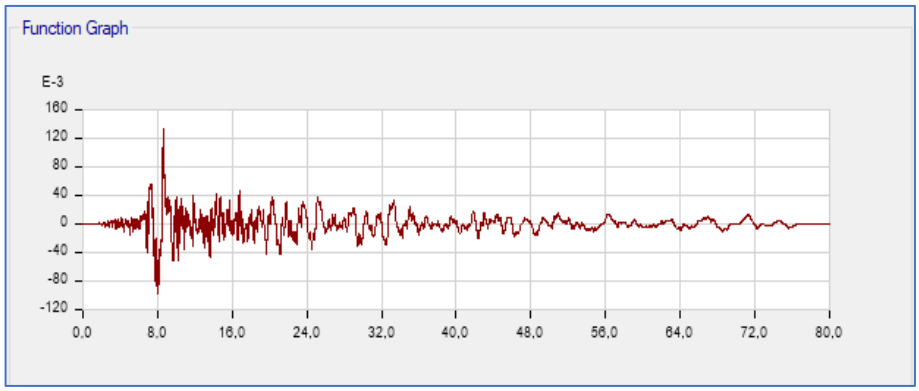


Şekil 3.34 Kocaeli, 08.17.1999 depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği

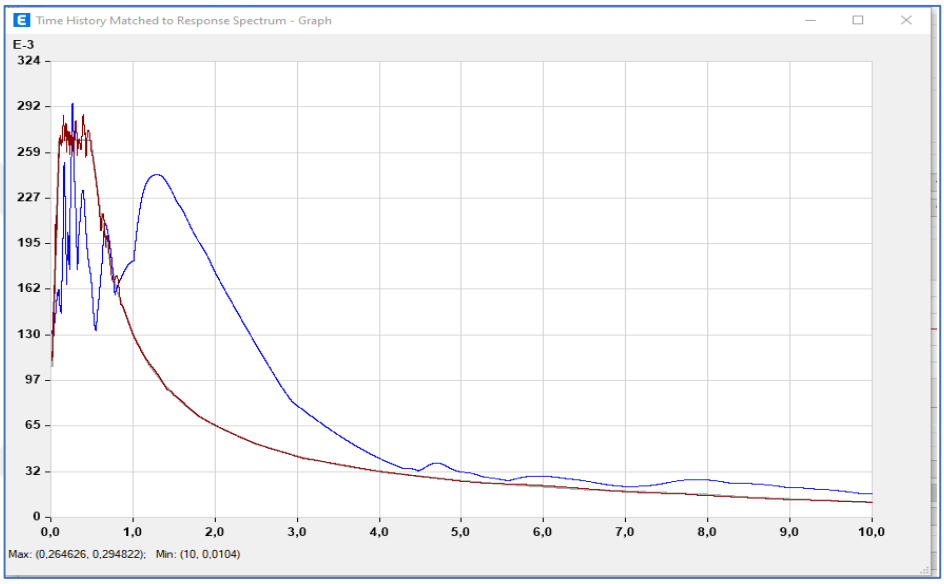


Şekil 3.35 Kocaeli 99, TBDY 2018elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

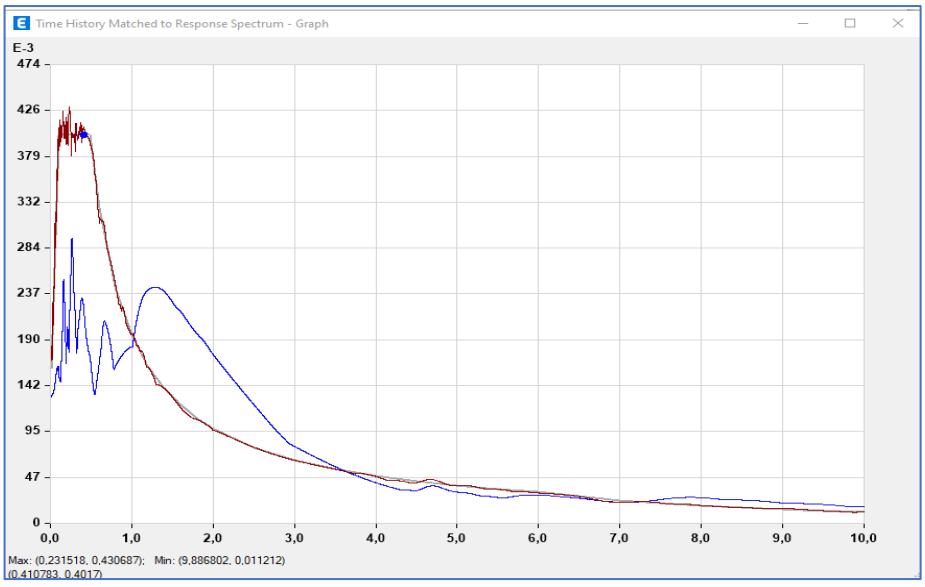
Borrego 68 Mtn, 04.09.1968, depremine ait "El Centro Array #9, 180" kaydı ASCE7 16 ve TBDY 2018'e ait analizlerde kullanılmıştır. Borrego 68 Mtn, 04.09.1968 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) – periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.36'da verilmiştir. Borrego 68 Mtn, 04.09.1968 depremi ASCE7 16 yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.37'de verilmiştir. Borrego 68 Mtn, 04.09.1968 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.36 Borego 68, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği

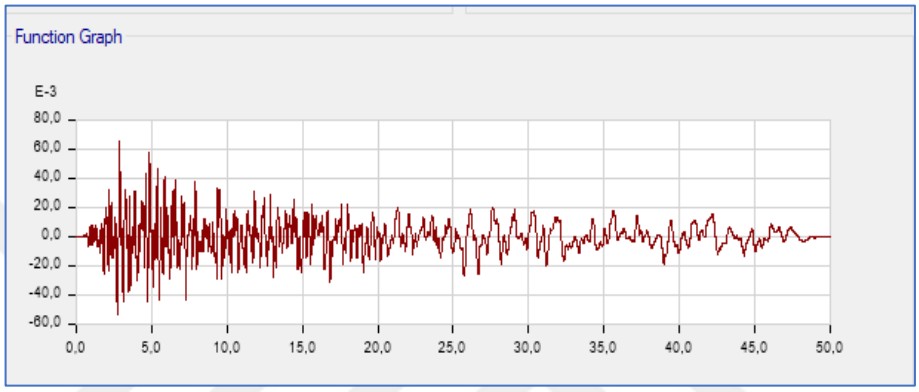


Şekil 3.37 Borego 68, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

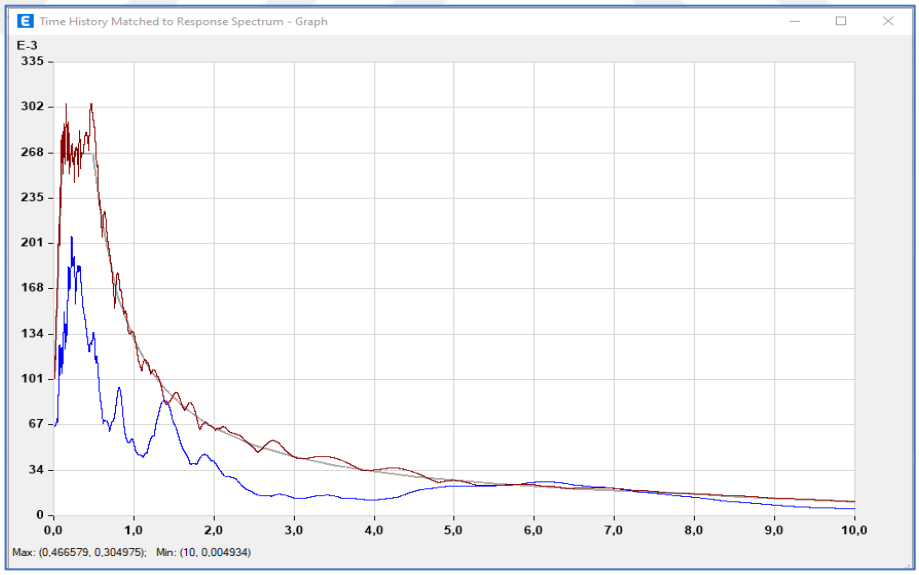


Şekil 3.38 Borego 68, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

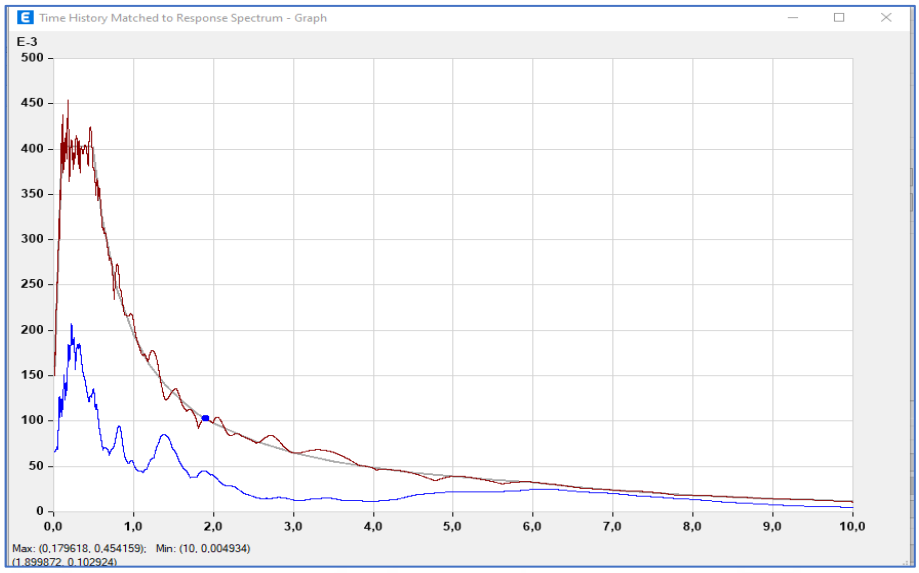
Borrego 42, 10.21.1942, depremine ait “El Centro Array #9, 0” kaydı ASCE7 16 ve TBDY 2018’e ait analizlerde kullanılmıştır. Borrego 42, 10.21.1942 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) –periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.39’da verilmiştir. Borrego 42, 10.21.1942 depremi ASCE7 16 yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.40’ta verilmiştir. Borrego 42, 10.21.1942 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.41’de verilmiştir.



Şekil 3.39 Borego 42, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği

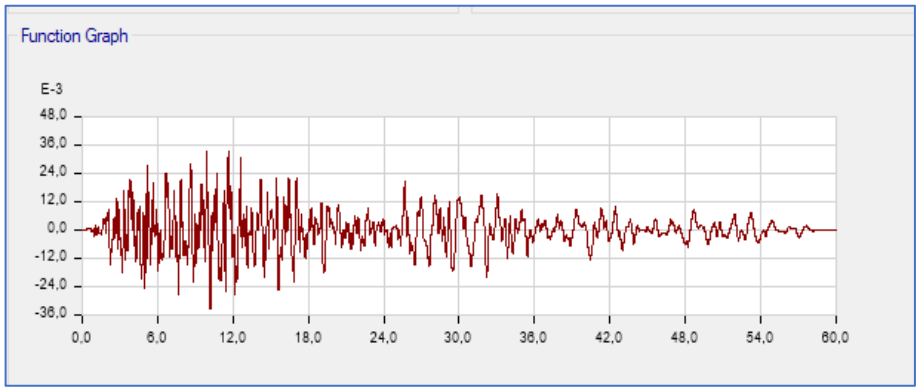


Şekil 3.40 Borego 42, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

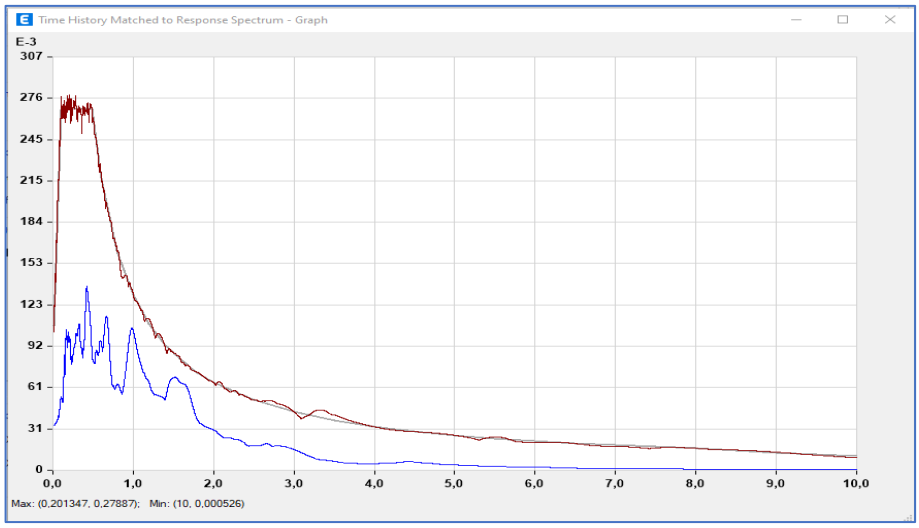


Şekil 3.41 Borego 42, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

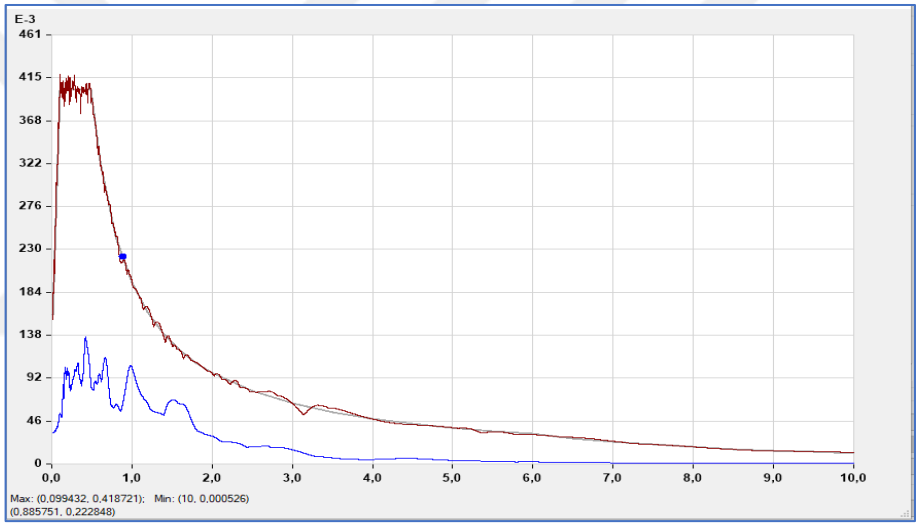
El Alamo, 2.9.1956, depremine ait "El Centro Array #9, 180" kaydı ASCE7 16 ve TBDY 2018'e ait analizlerde kullanılmıştır. El Alamo, 2.9.1956 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) – periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.42'de verilmiştir. El Alamo, 2.9.1956 depremi ASCE7 16 yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.43'te verilmiştir. El Alamo, 2.9.1956 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.44'te verilmiştir.



Şekil 3.42 El Alamo 56, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği

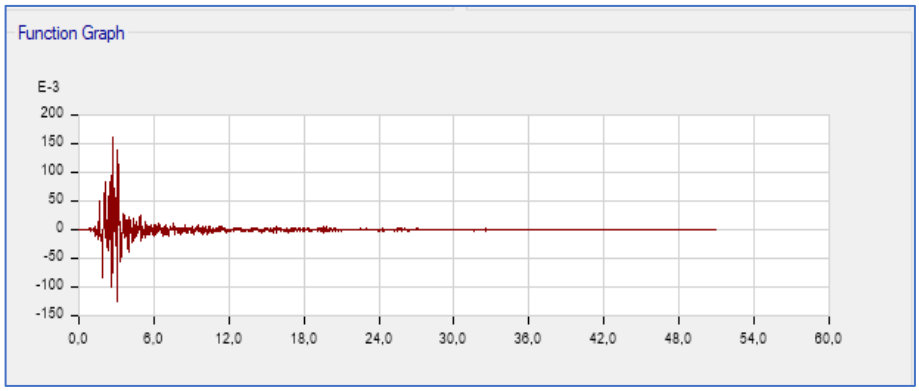


Şekil 3.43 El Alamo 56, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

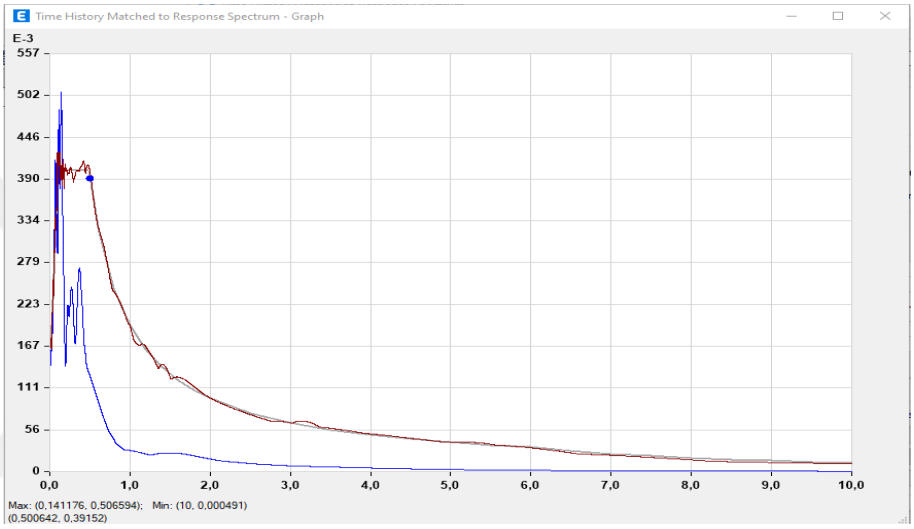


Şekil 3.44 El Alamo 56, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

Helena Montana 01, 10.31.1935, depremine ait “Carroll College, 180” kaydı sadece TBDY 2018’e ait analizinde kullanılmıştır. Helena Montana 01, 10.31.1935 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) – periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.45’te verilmiştir. Helena Montana 01, 10.31.1935 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.46’da verilmiştir.

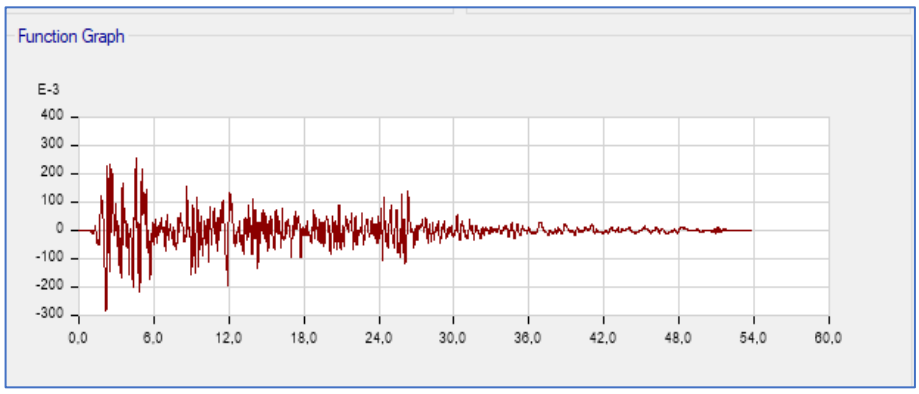


Şekil 3.45 Helena 35, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği

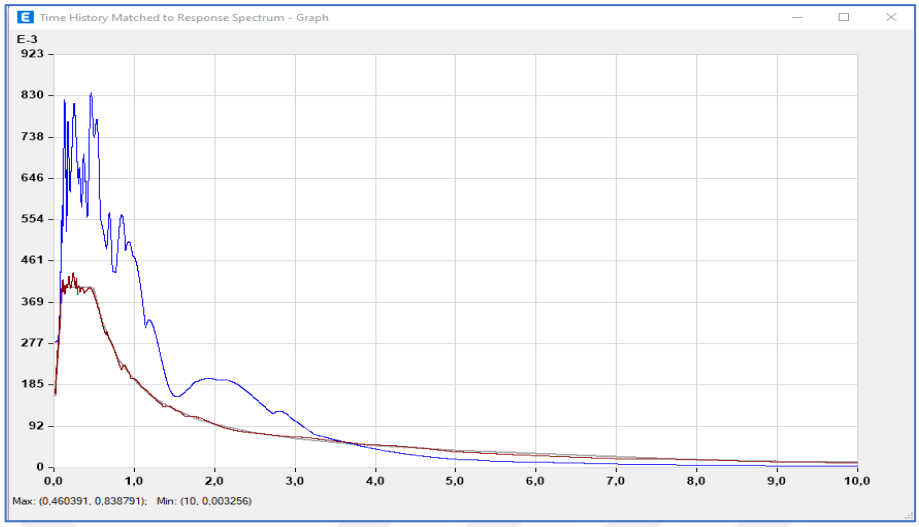


Şekil 3.46 Helena 35, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

Imperial Valley 02, 5.19.1940, depremine ait "El Centro Array #9, 180" kaydı sadece TBDY 2018'e ait analizinde kullanılmıştır. Imperial Valley 02, 5.19.1940 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) –periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.47'de verilmiştir. Imperial Valley 02, 5.19.1940 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.48'de verilmiştir.

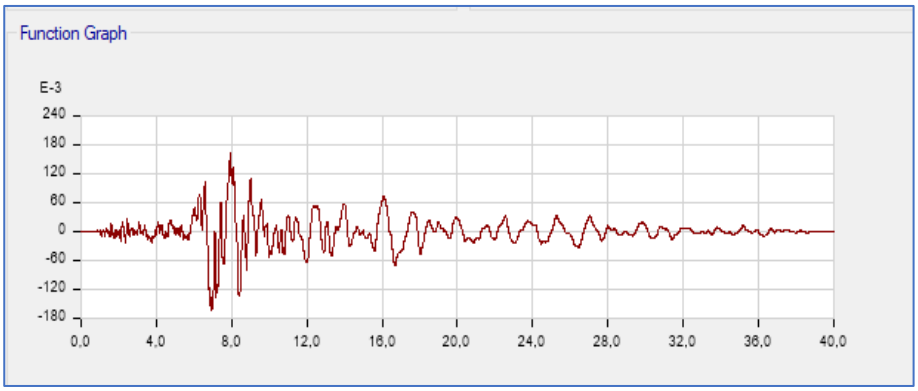


Şekil 3.47 Impval 40, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği

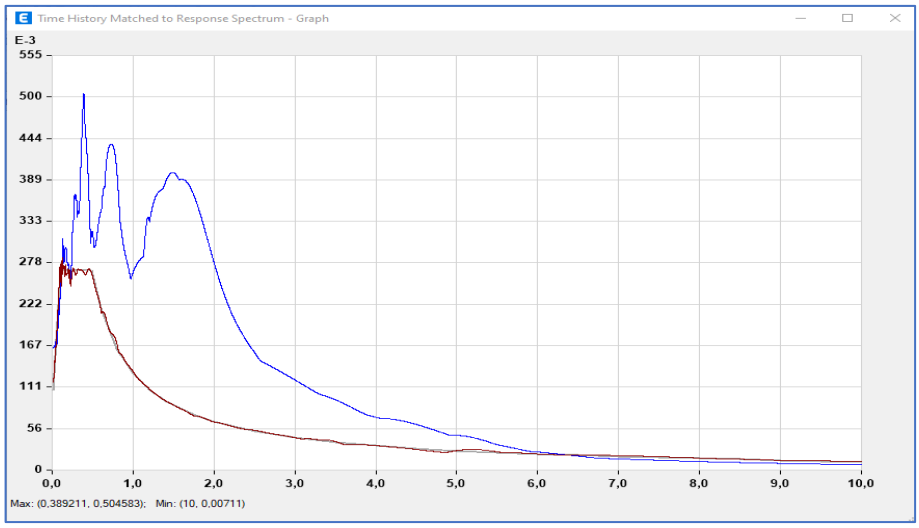


Şekil 3.48 Impval 40, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

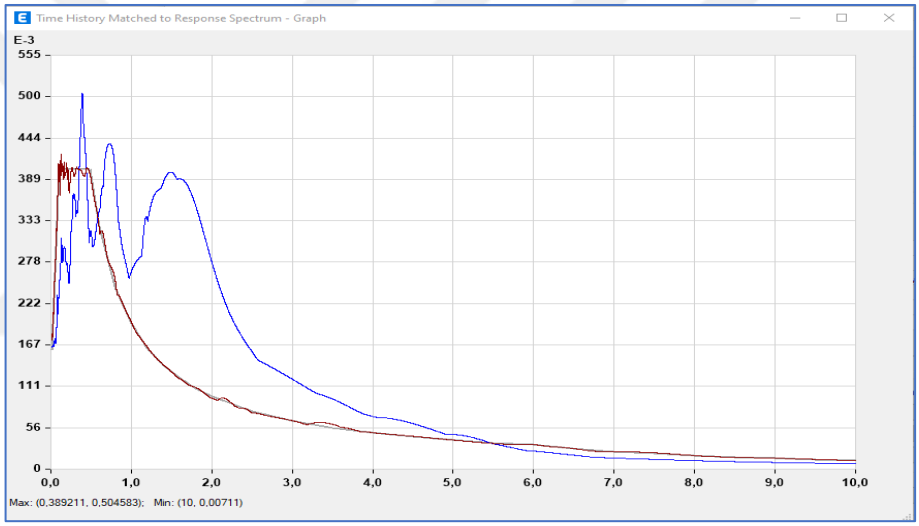
Northern Calif 03, 12.21.1954, depremine ait "Ferndale City Hall, 44" kaydı ASCE7 16 ve TBDY 2018'e ait analizlerde kullanılmıştır. Northern Calif-03, 12.21.1954 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) – periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.49'da verilmiştir. Northern Calif-03, 12.21.1954 depremi ASCE7 16 yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.50'de verilmiştir. Northern Calif-03, 12.21.1954 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.51'de verilmiştir.



Şekil 3.49 Northern Calif 54, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği

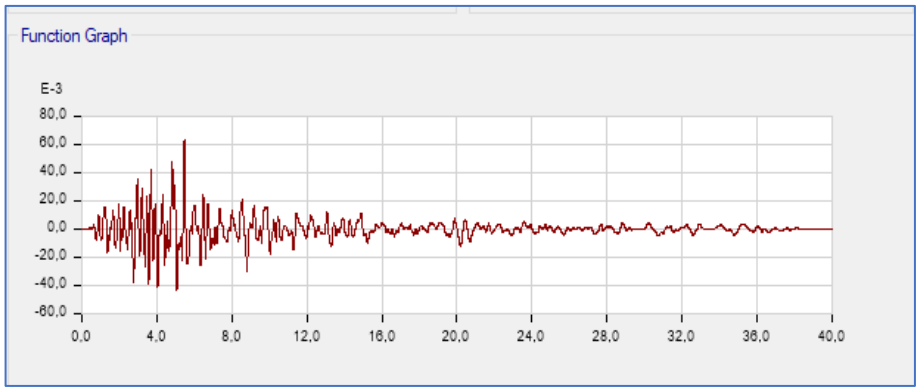


Şekil 3.50 Northern Calif 54, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

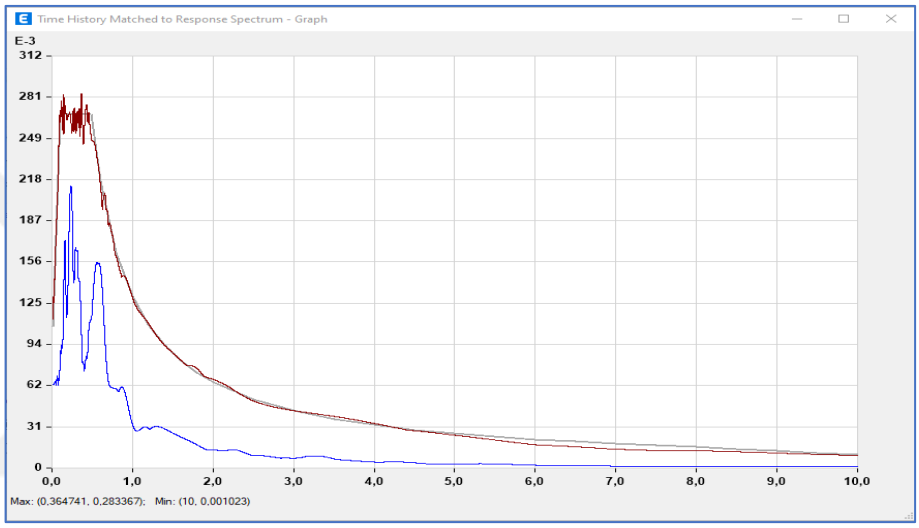


Şekil 3.51 Northern Calif 54, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

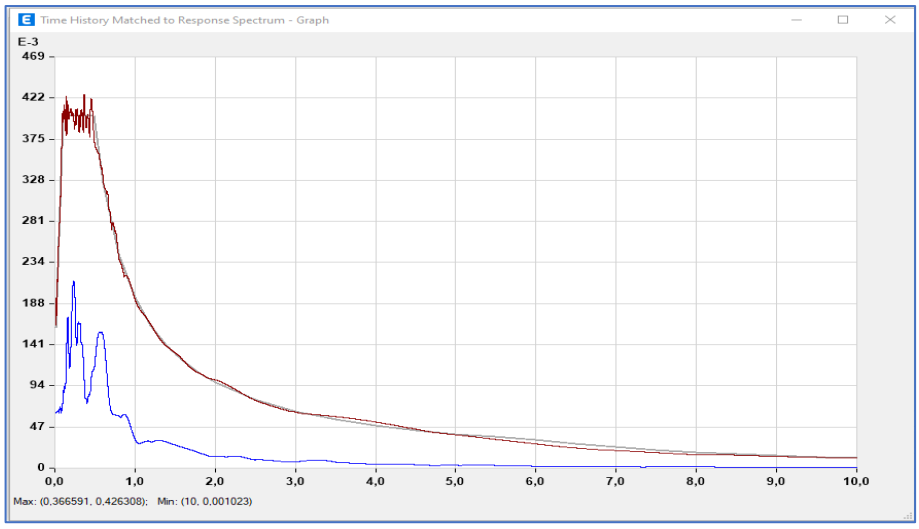
Northwest Calif 02, 2.9.1941, depremine ait "Ferndale City Hall, 45" kaydı ASCE7 16 ve TBDY 2018'e ait analizlerde kullanılmıştır. Northwest Calif 02, 2.9.1941 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) – periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.52'de verilmiştir. Northwest Calif 02, 2.9.1941 depremi ASCE7 16 yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.53'te verilmiştir. Northwest Calif 02, 2.9.1941 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.54'te verilmiştir.



Şekil 3.52 Northwest Calif 41, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği



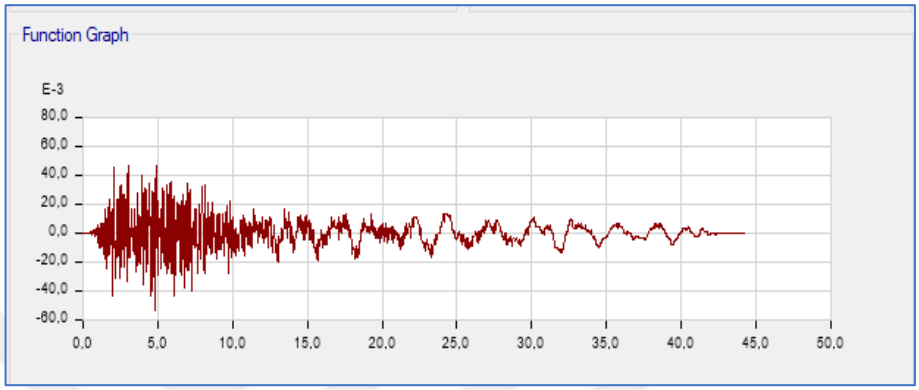
Şekil 3.53 Northwest Calif 41, ASCE7 16 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği



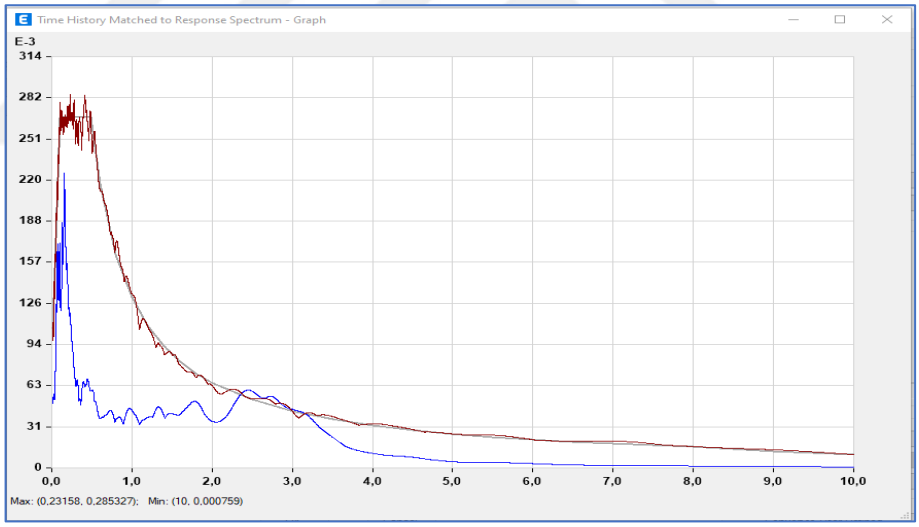
Şekil 3.54 Northwest Calif 41, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

Parkfield, 6.28.1966, depremine ait "Cholame - Shandon Array #12, DWN" kaydı ASCE7 16 ve TBDY 2018'e ait analizlerde kullanılmıştır. Parkfield, 6.28.1966

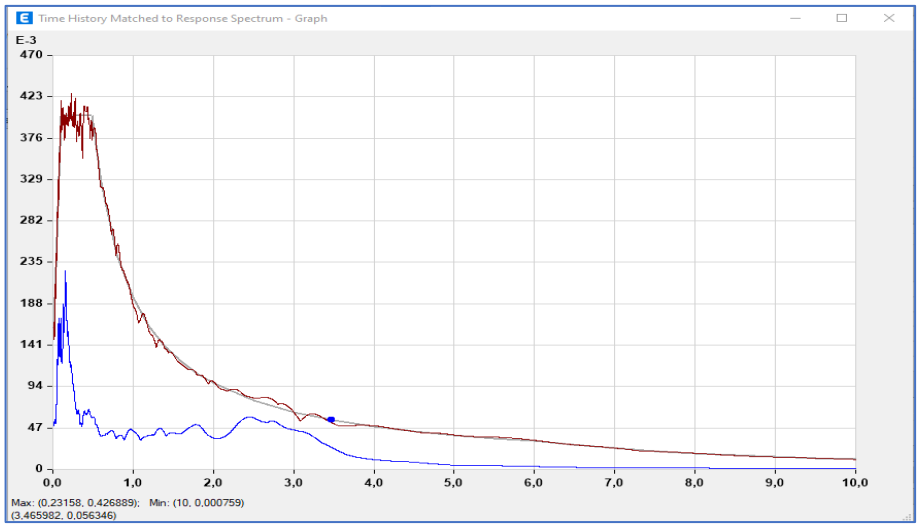
depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) – periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.55'te verilmiştir. Parkfield, 6.28.1966 depremi ASCE7 16 yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.56'da verilmiştir. Northwest Parkfield, 6.28.1966 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.57'de verilmiştir.



Şekil 3.55 Parkfield 66, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği

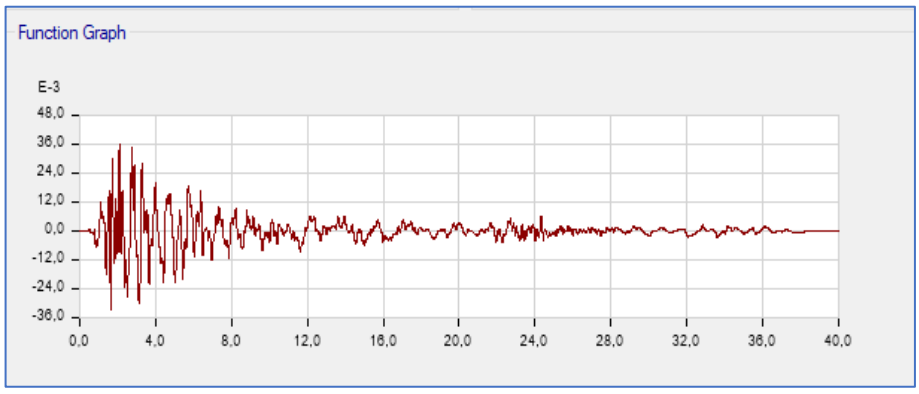


Şekil 3.56 Parkfield 66, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

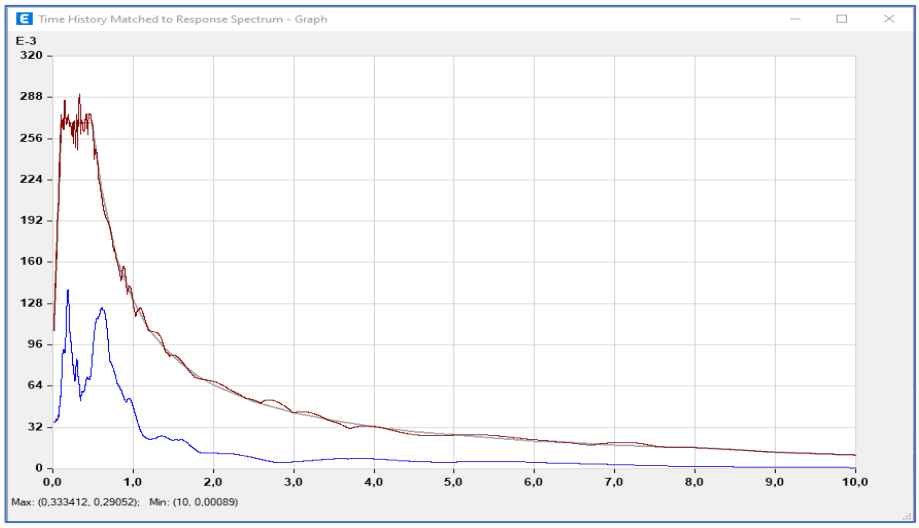


Şekil 3.57 Parkfield 66, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

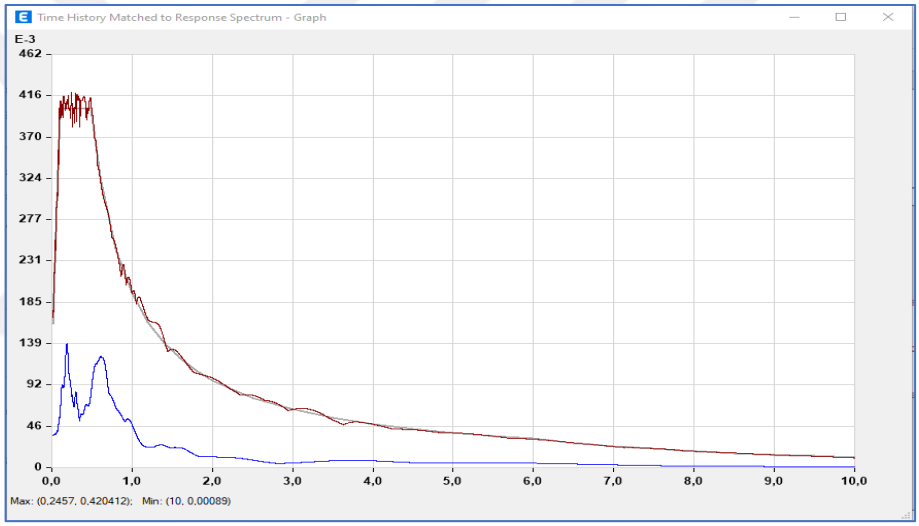
Southern Calif, 11.22.1952, depremine ait "San Luis Obispo, 234" kaydı ASCE7 16 ve TBDY 2018'e ait analizlerde kullanılmıştır. Southern Calif, 11.22.1952 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) – periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.58'de verilmiştir. Southern Calif, 11.22.1952 depremi ASCE7 16 yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.59'da verilmiştir. Northwest Southern Calif, 11.22.1952 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.60'ta verilmiştir.



Şekil 3.58 Southern Calif 52, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği

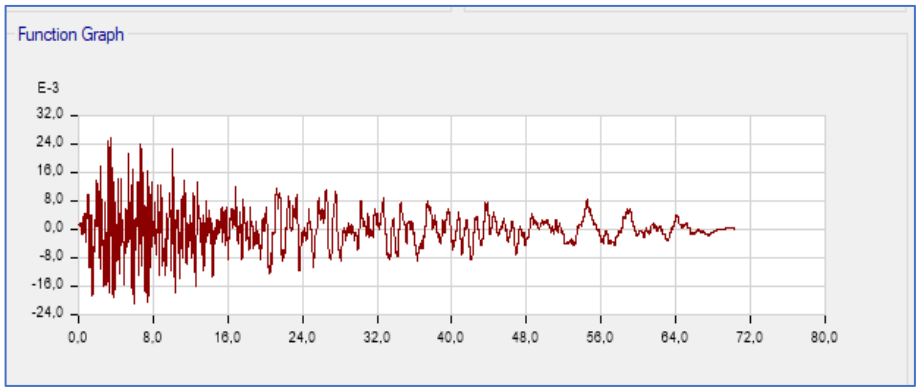


Şekil 3.59 Southern Calif 52, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

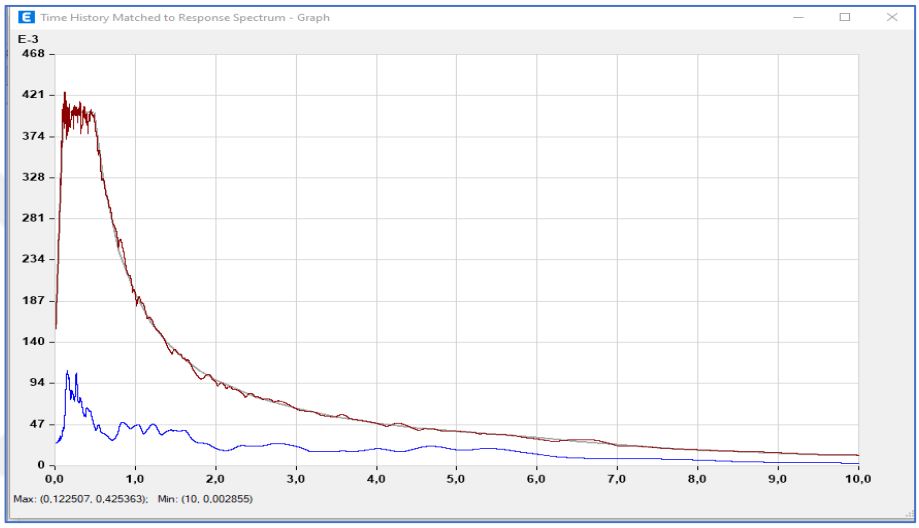


Şekil 3.60 Southern Calif 52, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

San Fernando, 2.9.1971, depremine ait "2516 Via Tejon PV, 65" kaydı sadece TBDY 2018'e ait analizinde kullanılmıştır. San Fernando, 2.9.1971 depremine ait ivme (yerçekimi [g] cinsinden) – periyot (saniye [s] cinsinden) grafiği Şekil 3.61'de verilmiştir. San Fernando, 2.9.1971 depremi TBDY 2018yönetmeliğindeki elastik spektruma uygun olarak ölçeklendirme grafiği Şekil 3.62'de verilmiştir.



Şekil 3.61 San Fernando 71, depremine ait ivme [g] – periyot [s] grafiği



Şekil 3.62 San Fernando 71, TBDY 2018 elastik spektruma ölçeklendirme grafiği

3.3 Burulma Düzensizliği Hesabı

Yapı rijitlik merkezi etrafında dönmeye çalışırken, deprem anında oluşan atalet kuvvetleri yapının ağırlık merkezinde oluşur. Yapının ağırlık merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmaması nedeniyle yapıda burulma momentleri oluşur. Uluslararası deprem yönetmeliği incelendiğinde en çok üzerinde durulan düzensizliklerden biri burulma düzensizliğidir. Tezin 1.3 bölümünde göründüğü gibi ASCE7 16 ve TBDY 2018 deprem yönetmenliklerinde burulma düzensizliğinin varlığı incelenen kattaki maksimum göreli yer değiştirmenin ortalama göreli yer değiştirmeye oranı olarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısına bağlıdır.

3.3.1 TBDY 2018'e göre burulma düzensizliği hesabı

Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} denklem (3.2)'ye göre denklem (3.3), denklem (3.4) ve denklem (3.5) bağlı olarak hesaplanır. Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} sınır değeri ise 1,2'dir.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max}/(\Delta_i)_{ort} \quad (3.2)$$

$$(\Delta_i)_{max} = (\delta_i)_{max} - (\delta_{i-1})_{max} \quad (3.3)$$

$$(\Delta_i)_{min} = (\delta_i)_{min} - (\delta_{i-1})_{min} \quad (3.4)$$

$$(\Delta_i)_{ort} = ((\Delta_i)_{max}+(\Delta_i)_{min})/2 \quad (3.5)$$

Analiz sonucunda herhangi bir katta burulma modülü 1,2'den büyük ise, $1,2 < \eta_{bi} < 2$ olmak şartıyla her iki deprem doğrultusunun D_{bi} katsayısı ile çarpılarak o kata uygulanan %5'lik ek dış merkezlik artırılır. D_{bi} katsayısı denklem 3-6'ya göre hesaplanır.

$$D_{bi} = (\eta_{bi}/1,2)^2 = ((\Delta_i)_{max}/(\Delta_i)_{ort} \quad (3.6)$$

δ_i; Binanın i. katında deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme.
(Δ_i)max; Binanın i. katındaki maksimum göreli kat ötelemesi.

3.3.2 ASCE7 16'ya göre burulma düzensizliği hesabı

Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda binanın herhangi bir katında $\Delta_{max} > 1,2*\Delta_{ort}$ durumunda o kata uygulanan %5'lik ek dış merkezlik A_i ile çarparak artırılır. A_i katsayısı denklem (3.7)'ya göre hesaplanır.

$$1 \leq A_i = (\delta_{max}/1,2*\delta_{ort})^2 \leq 3 \quad (3.7)$$

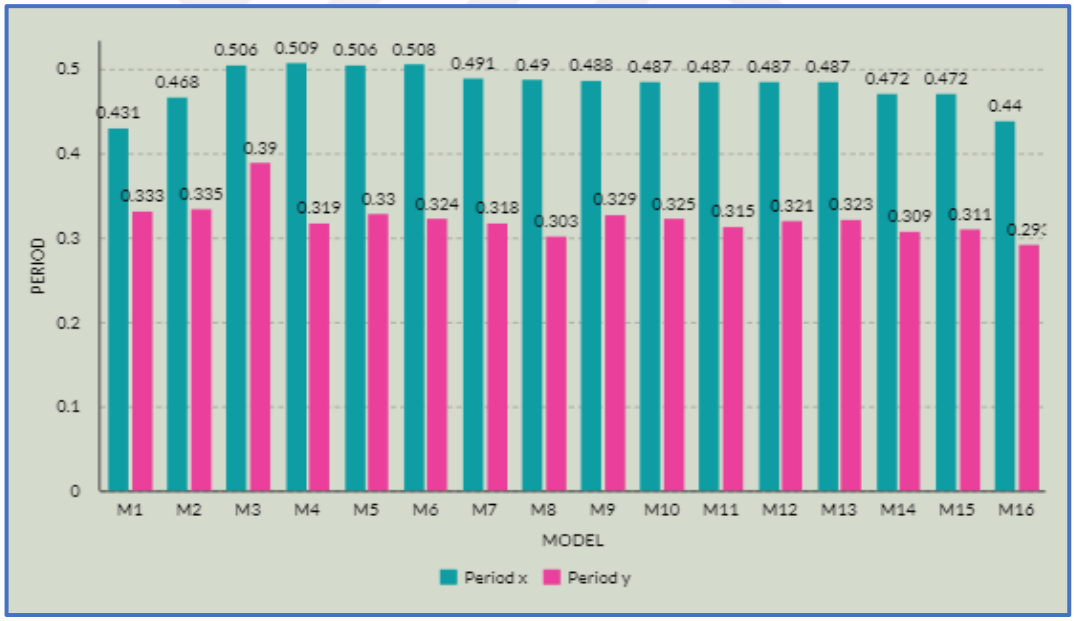
δ_{max}; Binanın i. katında deprem yüklerine göre hesaplanan en büyük yer değiştirme.

4. ANALİZ VE BULGULAR

Modeller için Tepki Spektrumu Analizi ve Zaman Tanım Alanında Analizi, ETABS 20 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sismik ayrıntılar, ASCE7 16 ve TBDY 2018'e uygun olarak dâhil edilmiştir. Burulma düzensizliği, ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göre bulunmuştur. Analiz bulguları, düzensiz yapının burulma davranışını doğal titreşim periyodu, kat öteleme oranı, yanal yer değiştirmeler, sunulan ulusal yönetmeliklere göre burulma düzensizliği oranı, gibi farklı parametreler temelinde değerlendirme yapılmıştır.

4.1 Doğal Titreşim Periyodu ve Titreşim Modları

Analiz edilen binanın dinamik özelliklerini belirlemek için temel doğal periyotlar ve titreşim modları dikkate alınmıştır. Modellerin doğal periyodu X,Y yönünde ASCE 7-16'ya göre Şekil 4.1'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



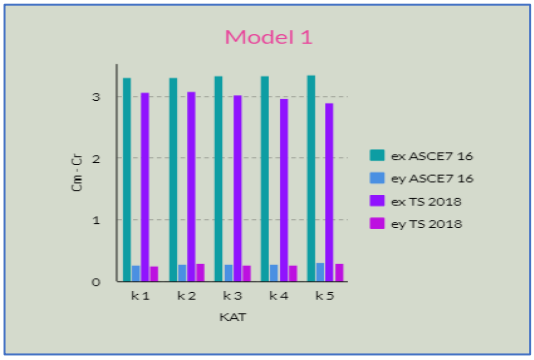
Şekil 4.1 ASCE 7-16'a göre temel doğal periyodu



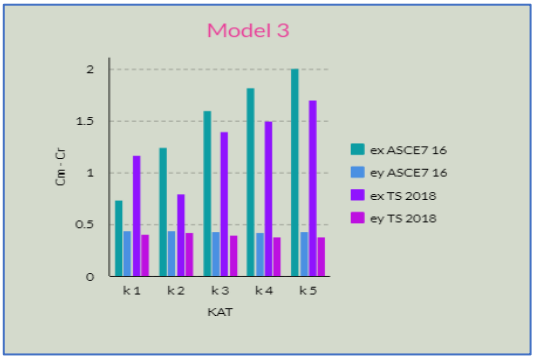
Şekil 4.2 TBDY 2018'e göre temel doğal periyodu

4.2 Dış Merkezlilik

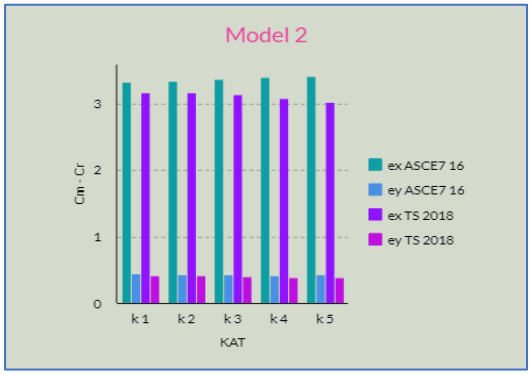
Dış merkezlilik, burulma değerlendirmesi için önemli kriterlerden biridir. 16 modelin X ve Y yönleri boyunca TBDY 2018 ve ASCE 7-16'ya göre dış merkezlilik, Şekil 4.3 ila Şekil 4.18'te metre cinsinden gösterilmektedir.



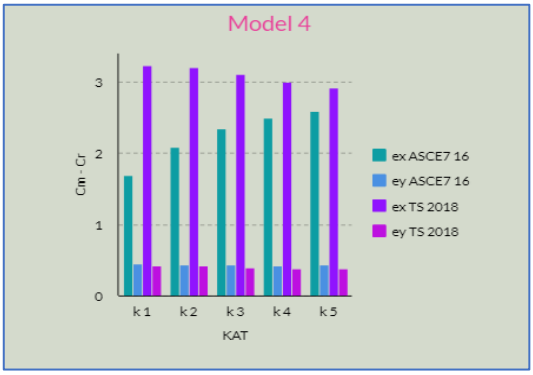
Şekil 4.3 Model 1 dış merkezlilik değerleri [m]



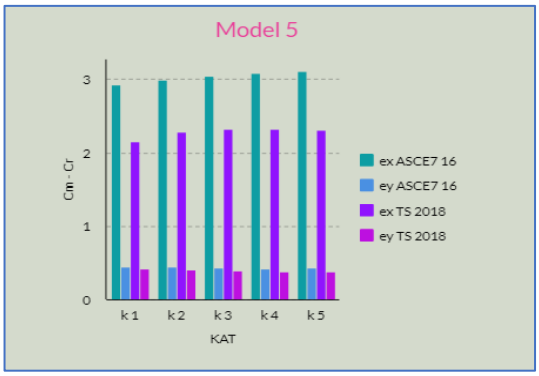
Şekil 4.5 Model 3 dış merkezlilik değerleri [m]



Şekil 4.4 Model 2 dış merkezlilik değerleri [m]



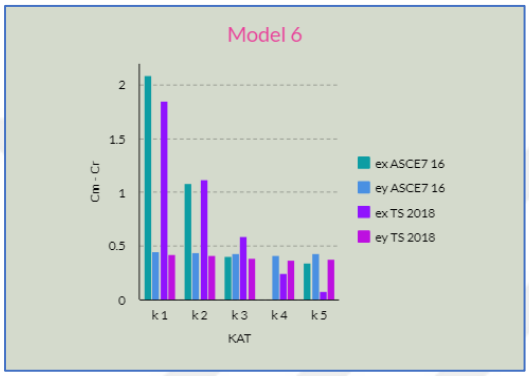
Şekil 4.6 Model 4 dış merkezlilik değerleri [m]



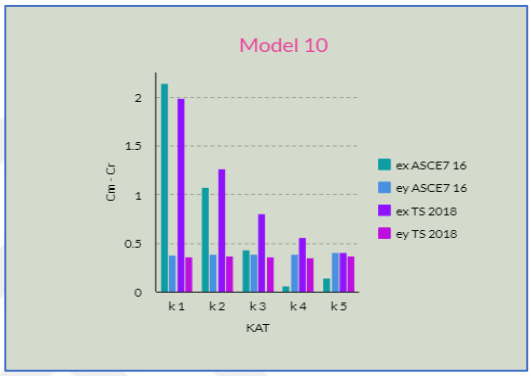
Şekil 4.7 Model 5 dış merkezlilik değerleri [m]



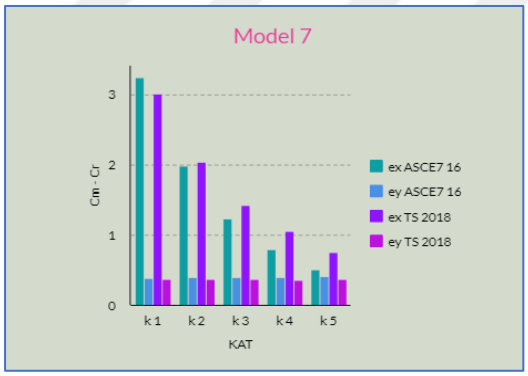
Şekil 4.11 Model 9 dış merkezlilik değerleri [m]



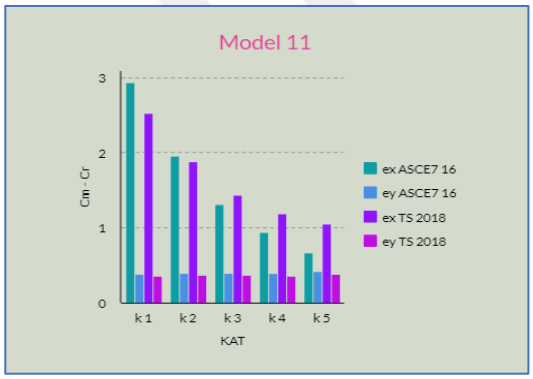
Şekil 4.8 model 6 dış merkezlilik değerleri [m]



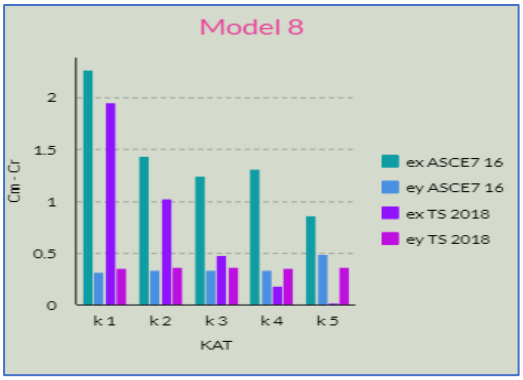
Şekil 4.12 Model 10 dış merkezlilik değerleri [m]



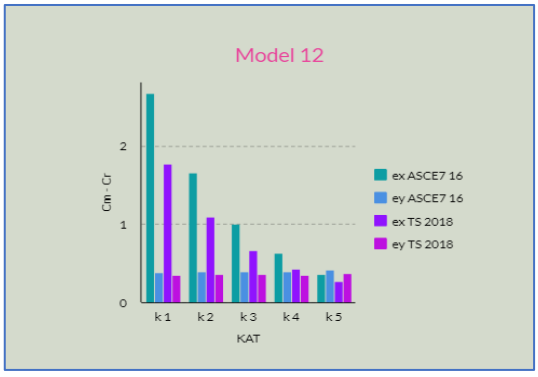
Şekil 4.9 Model 7 dış merkezlilik değerleri [m]



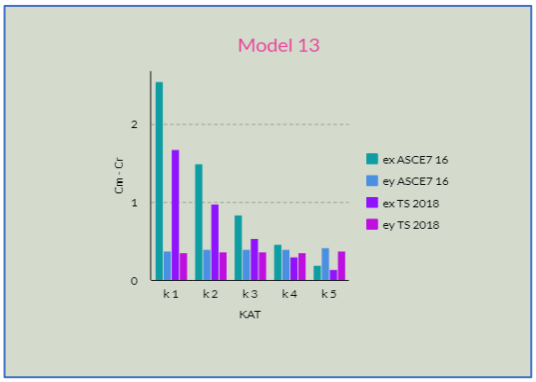
Şekil 4.13 Model 11 dış merkezlilik değerleri [m]



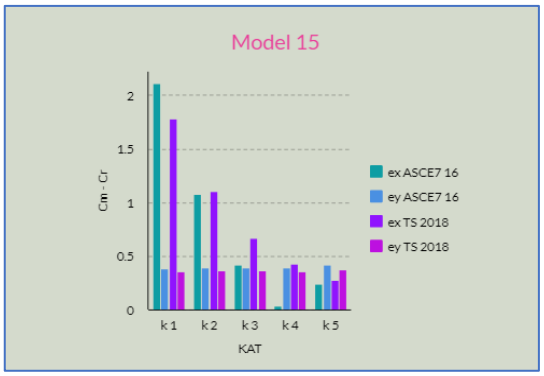
Şekil 4.10 Model 8 dış merkezlilik değerleri [m]



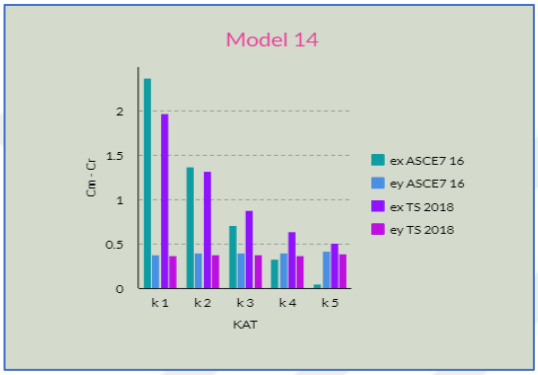
Şekil 4.14 Model 12 dış merkezlilik değerleri [m]



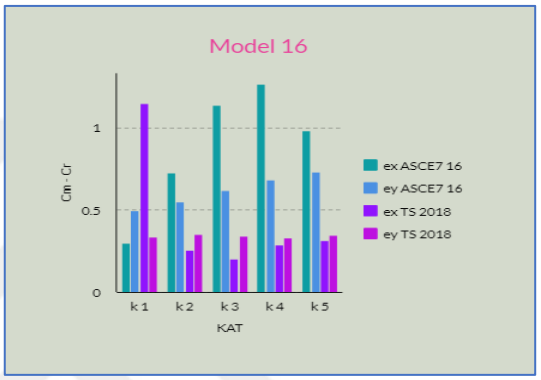
Şekil 4.15 Model 13 dış merkezlilik değerleri [m]



Şekil 4.17 Model 15 dış merkezlilik değerleri [m]



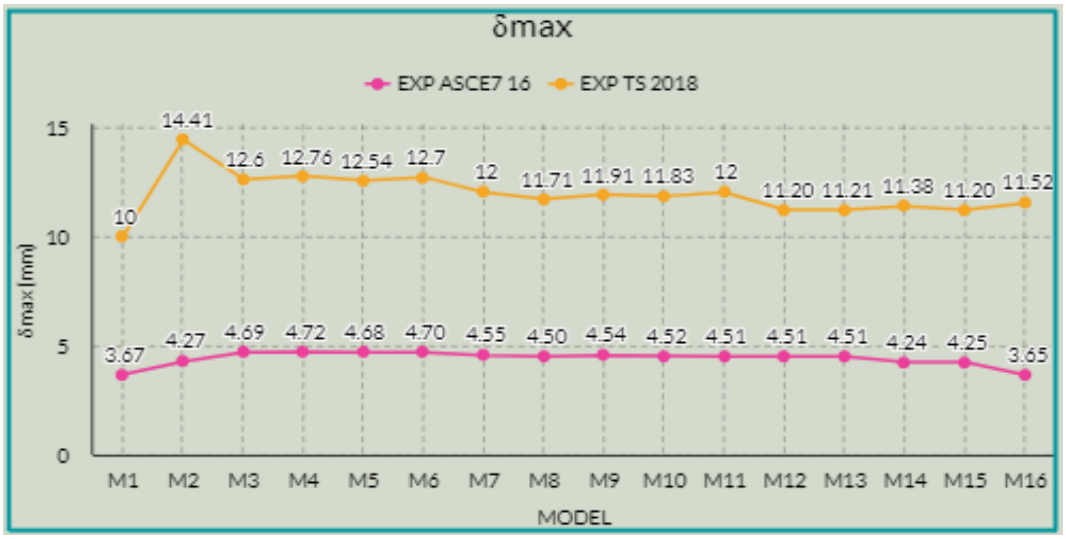
Şekil 4.16 Model 14 dış merkezlilik değerleri [m]



Şekil 4.18 model 16 dış merkezlilik değerleri [m]

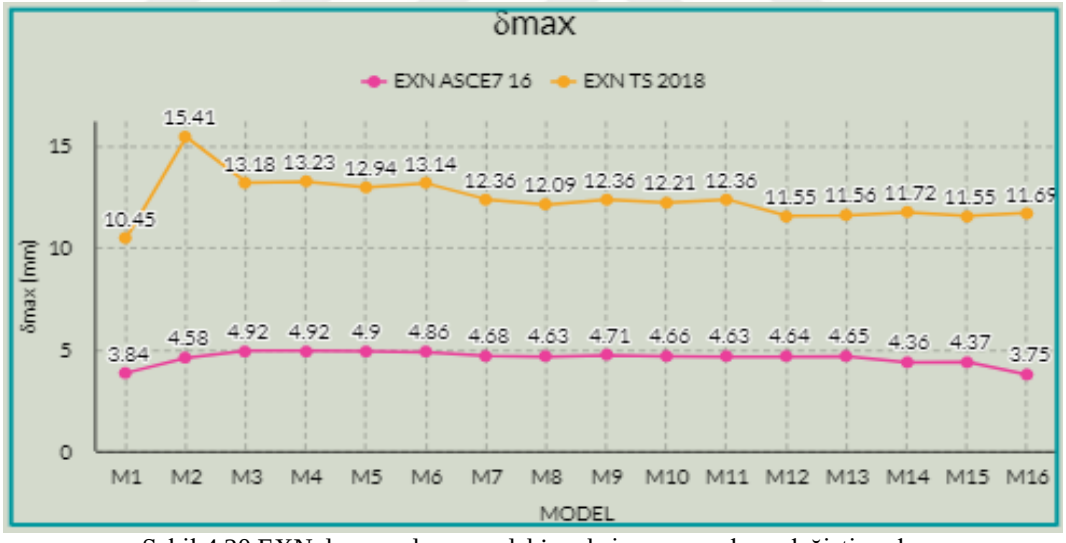
4.3 Yanal Yer Değiştirmeler

Analiz sonucuna göre plan düzensizliğinin yanal yer değiştirme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İncelemede tüm modeller için son kattaki X,Y doğrultusunda Response Spektrum analizden elde edilen sonuçlara göre maksimum yanal yer değiştirmeler %±5 dış merkezliliğin etkisi ile X doğrultusunda EXP ve EXN, Y doğrultusunda EYP ve EYN olarak dört deprem etki durumu ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göre ayrılmıştır ve milimetre cinsinden Şekil 4.19 ile Şekil 4.22 arasında gösterilmiştir.



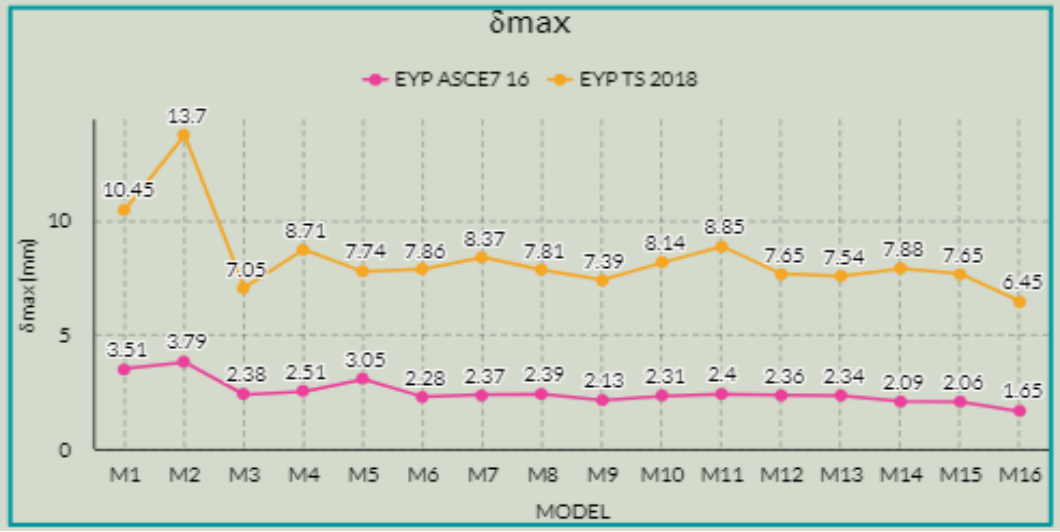
Şekil 4.19 EXP deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler

EXP deprem yönünde RS yöntemine göre maksimum yanal yer değiştirme değerleri TBDY 2018'e göre 10 ile 14,5 mm arasında iken ASCE7 16'ya göre değerler 3,5 ile 5 mm arasında değişiklik göstermektedir.



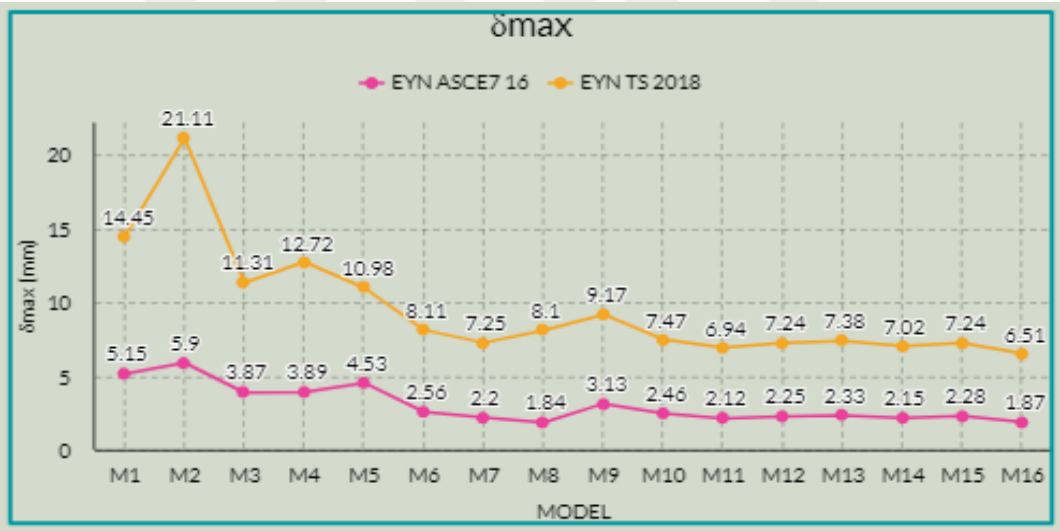
Şekil 4.20 EXN deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler

EXN deprem yönünde RS yöntemine göre maksimum yanal yer değiştirme değerleri TBDY 2018'e göre 10,45 ile 15,4 mm arasında iken ASCE7 16'ya göre değerler 3,75 ile 5 mm arasında değişiklik göstermektedir.



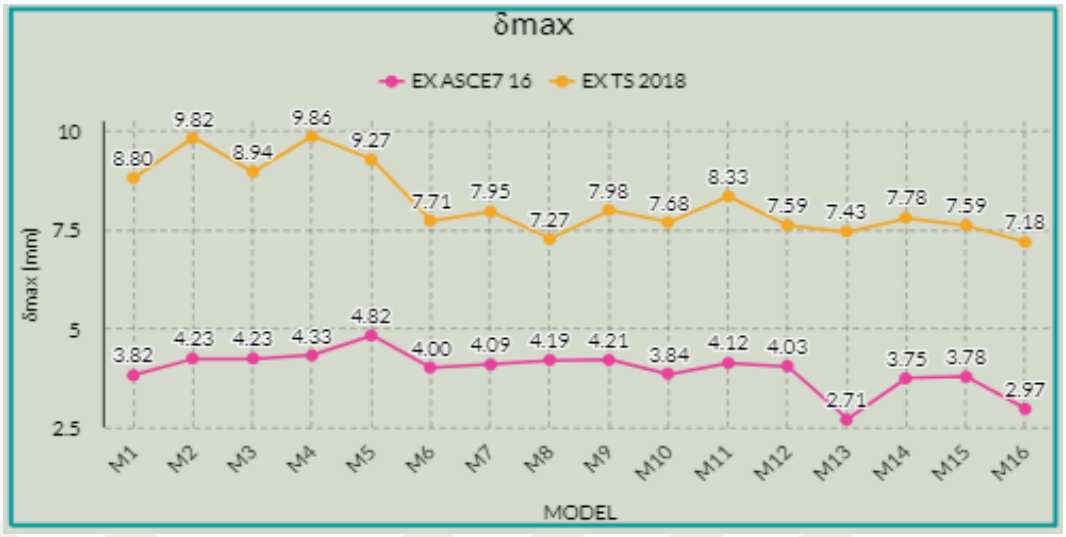
Şekil 4.21 EYP deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler

EYP deprem yönünde RS yöntemine göre maksimum yanal yer değiştirme değerleri TBDY 2018'e göre 6,45 ile 13,7 mm arasında iken ASCE7 16'ya göre değerler 1,65 ile 3,8 mm arasında değişiklik göstermektedir.

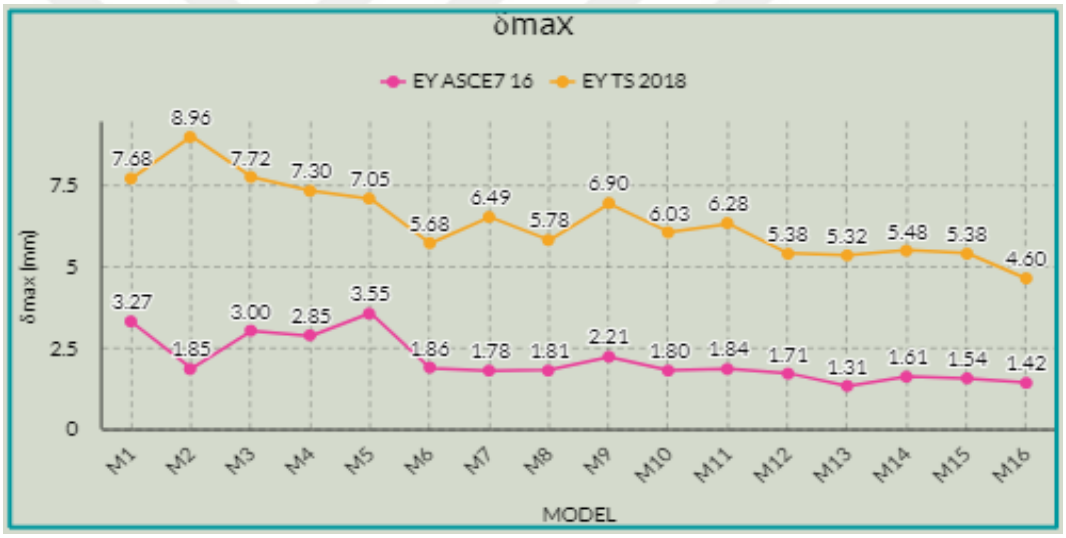


Şekil 4.22 EYN deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler

EYN deprem yönünde RS yöntemine göre maksimum yanal yer değiştirme değerleri TBDY 2018'e göre 6,5 ile 21,1 mm arasında iken ASCE7 16'ya göre değerler 1,87 ile 5,9 mm arasında değişiklik göstermektedir. Ayrıca tüm modeller için son kattaki X,Y doğrultusunda zaman tanım alanı analizden elde edilen sonuçlara göre maksimum yanal yer değiştirmeler milimetre cinsinden Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 gösterilmiştir. Şekillerde X doğrultusunda EXTH ve Y doğrultusunda EYTH olarak iki deprem etki durumu ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göre ayrılmıştır.



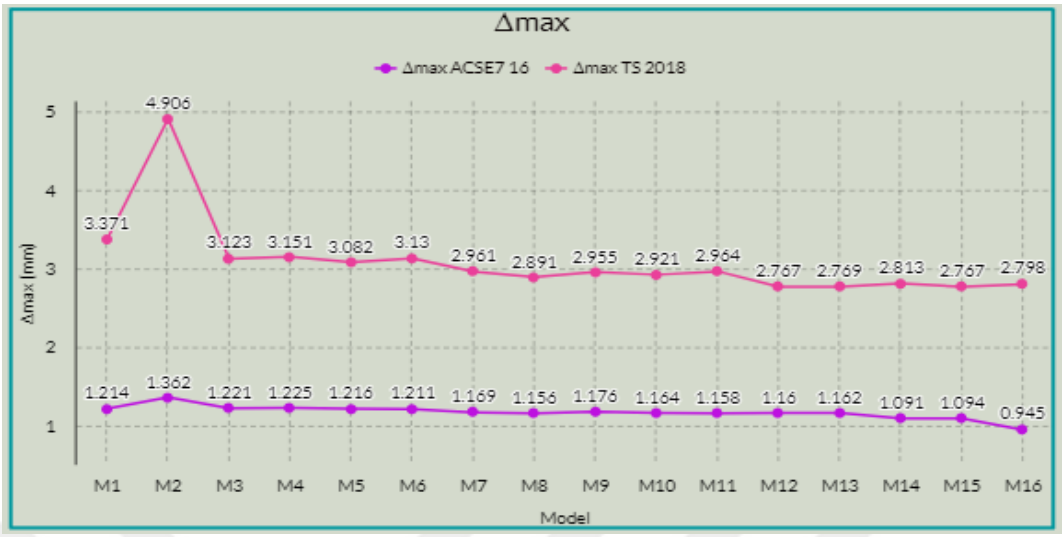
Şekil 4.23 EXTH deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler



Şekil 4.24 EYTH deprem durumundaki maksimum yanal yer değiştirmeler

4.4 Göreli Kat Ötelemeleri

Kat ötelemesi her katın maksimum rölatif yer değiştirmesi olup, değerlendirilebilir önemli bir yapısal parametredir. Tasarım sürecinde uygun bir şekilde bu parametre dikkate alınmadığında, büyük sapmalar ve ötelemeler, yapısal elemanlar, yapısal olmayan elemanlar ve bitişik yapılar üzerinde olumsuz etkilere sebep olabilir. İncelemede tüm modeller için son kattaki X,Y doğrultusunda %±5 dış merkezliliğin etkisi ile X doğrultusunda EXP ve EXN, Y doğrultusunda EYP ve EYN olarak dört deprem etki durumlarda Response Spektrum analizden elde edilen sonuçlara göre maksimum yanal göreli kat ötelemesi ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göre milimetre cinsinden Şekil 4.25 gösterilmiştir.



Şekil 4.25 ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göre maksimum yanal göreli kat öteleme değerleri

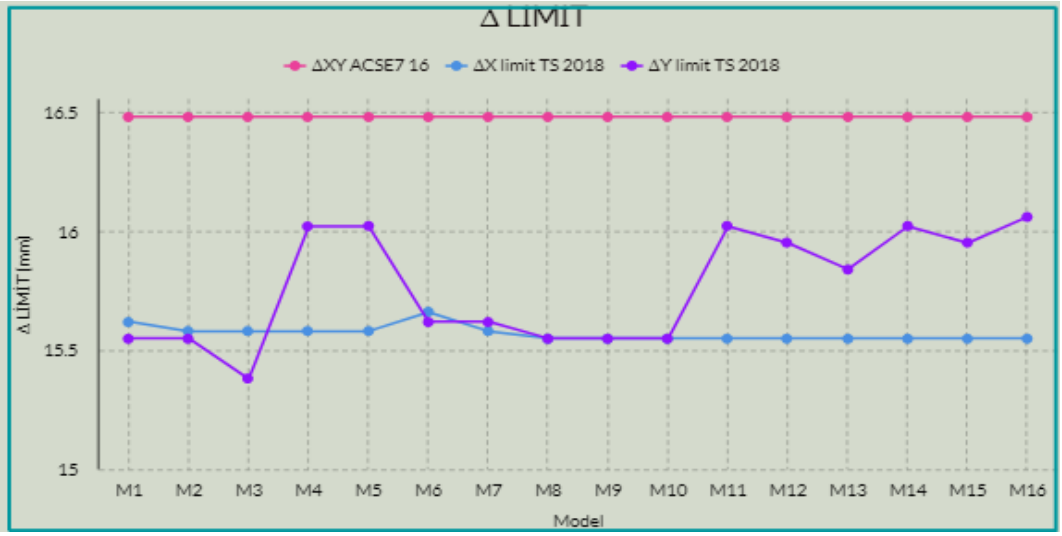
Öte yandan, kullanılan ASCE7 16 ve TBDY 2018 sismik kodlar, yanal göreli kat ötelemeler için izin verilen maksimum değeri belirtir. TBDY 2018'e göre bu değer denklem (4.1)'e göre belirlenir.

$$\Delta_{limit}=0,016k*h_i/\lambda \tag{4.1}$$

Burada; k; katsayısı betonarme binalarda k =1, λ; katsayısı, binanın X,Y doğrultusunda hakim titreşim periyodu için DD-3 göre S_{ae} (T), DD-2 göre S_{ae} (T)'ne oranıdır ve h_i; kat yüksekliğidir [m]. ASCE7 16'ya göre ise denklem (4.2)'ye göre belirlenir.

$$\begin{aligned} \Delta_{limit}&=0,02*h_i/0,7*R \quad ; T > 0,7\ [sec] \\ \Delta_{limit}&=0,025*h_i/0,7*R \quad ; T \leq 0,7\ [sec] \end{aligned} \tag{4.2}$$

Burada; R; taşıyıcı sistem davranış katsayısı, T; binanın hâkim titreşim periyodu ve h_i; kat yüksekliğidir [m]. ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göre, yanal göreli kat ötelemeler için izin verilen maksimum değeri Şekil 4.26'da verilmiştir.



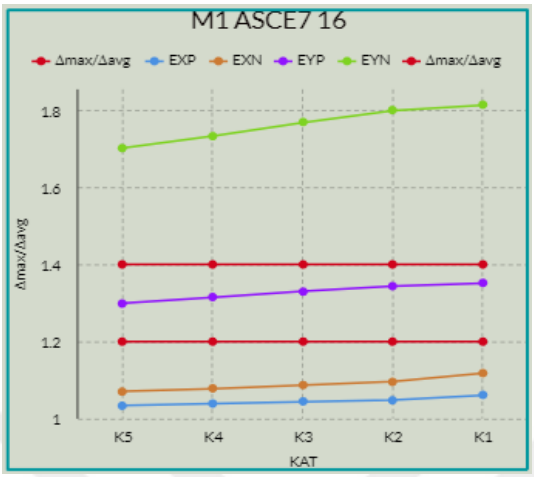
Şekil 4.26 ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göreli kat öteleme izin verilen maksimum değerleri

4.5 Burulma Düzensizliği Katsayısı

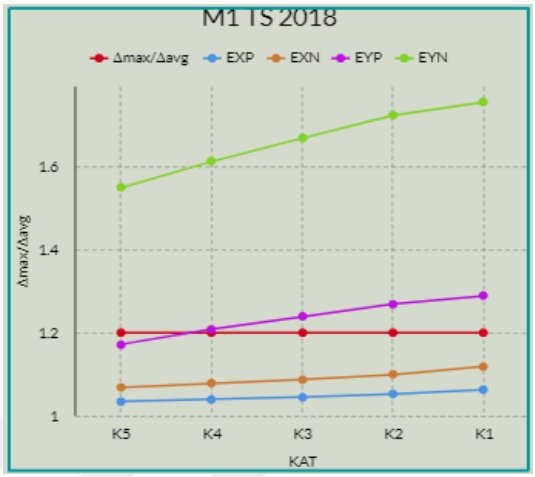
Burulma düzensizliği, yapılarında ciddi hasarlara neden olan en önemli faktörlerden biridir. Burulma düzensizliği katsayısı, yapı üzerindeki burulma etkisinin boyutunu ölçen önemli bir parametredir. Bu tez çalışmasında 1.3 ve 3.3 bölümlerde belirlenen burulma düzensizliği katsayısının değerleri, incelenen tüm modeller için tüm katlardaki X,Y doğrultusunda Response Spektrum (RS) analizden elde edilen sonuçlara göre burulma düzensizliği katsayısının değerleri %±5 dış merkezliliğin etkisi ile X doğrultusunda EXP ve EXN, Y doğrultusunda EYP ve EYN olarak dört deprem etki durumu ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göre ayrılmıştır. Ayrıca tüm modeller için tüm katlardaki X,Y doğrultusunda ASCE7 16' göre yedi adet ve TBDY 2018'e göre on bir adet zaman tanım alanında analiz (TH) analizlerden elde edilen sonuçların göre burulma düzensizliği katsayısının değerleri, X doğrultusunda analiz sonuçların ortalaması temsil eden ORT EX, sonuçların en yüksek değerleri temsil eden MAX EX, Y doğrultusunda analiz sonuçların ortalaması temsil eden ORT EY, sonuçların en yüksek değerleri temsil eden MAX EY olarak ASCE7 16 ve TBDY 2018'e göre ayrılmıştır. ASCE7 16'ya göre belirlenen burulma düzensizliği limit değeri (1,2), şiddetli burulma düzensizliği limit değeri (1,4) , TBDY 2018'e göre belirlenen burulma düzensizliği limit değeri (1,2). Ayrıca şekillerde TBDY 2018 kodunun gösterimi (TS 2018) ibaresi ile belirtilmiştir.

İncelenen birinci model (M1) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.27'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.27'de

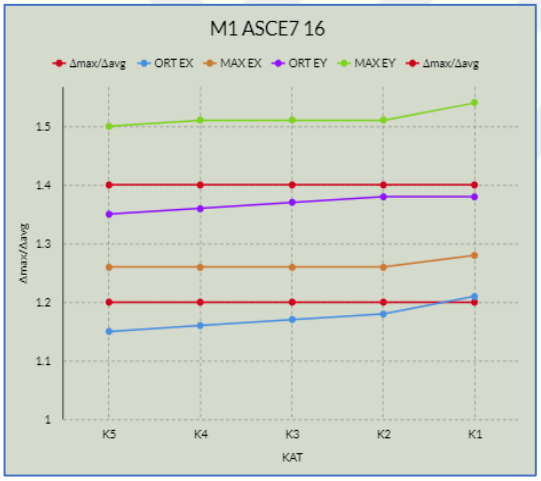
gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.29'da ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



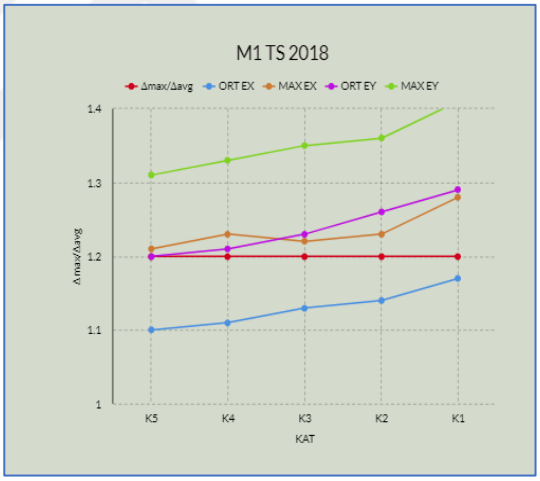
Şekil 4.27 ASCE7 16'ya göre RS analizi M1 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.28 TBDY 2018'e göre RS analizi M1 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.29 ASCE7 16'ya göre TH analizi M1 için η_{bi} değerleri

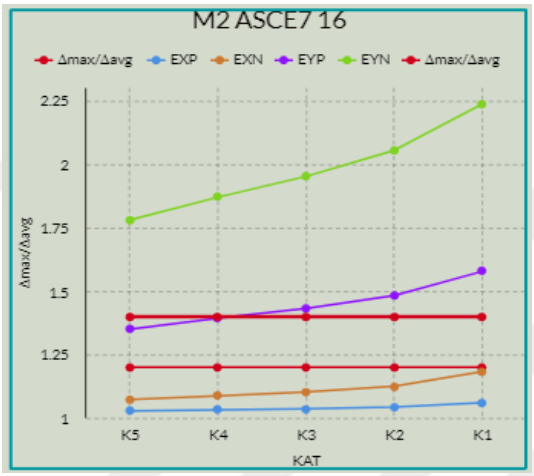


Şekil 4.30 TBDY 2018'e göre TH analizi M1 için η_{bi} değerleri

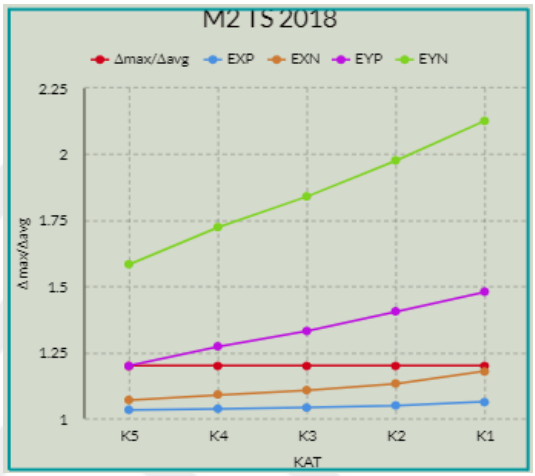
Mod Birleştirme yönteme göre hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 kodları göre ayrı ayrı incelenen birinci modelde, EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı, EY deprem yükü yönünde ise burulmanın olduğu, yani burulma değerlerinin TBDY 2018 kodu için 1,2 sınır değerini ve ASCE7 16 kodu için 1,2 veya 1,4 sınır değerlerini aştığı tespit edilmiştir. İlk model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde, TBDY 2018 kodu kullanıldığında EX sismik yük yönünde burulma olmadığı, ASCE7 16 kodu kullanıldığında ise sadece birinci katta burulma olduğu tespit edilmiştir. EY sismik yük yönündeki burulma değerlerine gelince, ASCE7 16ve

TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir.

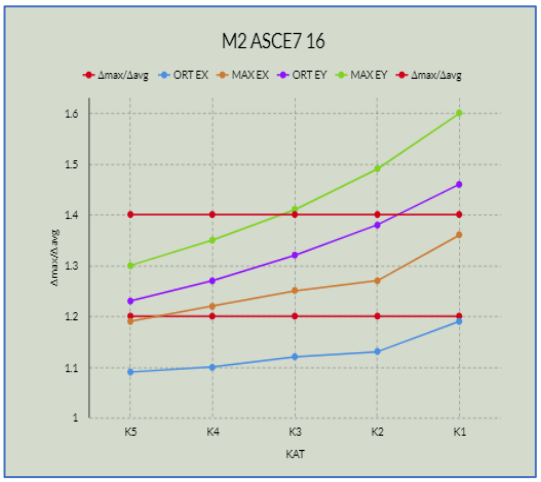
İncelenen ikinci model (M2) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.31'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.32'de gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.33'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.34'ta gösterilmiştir.



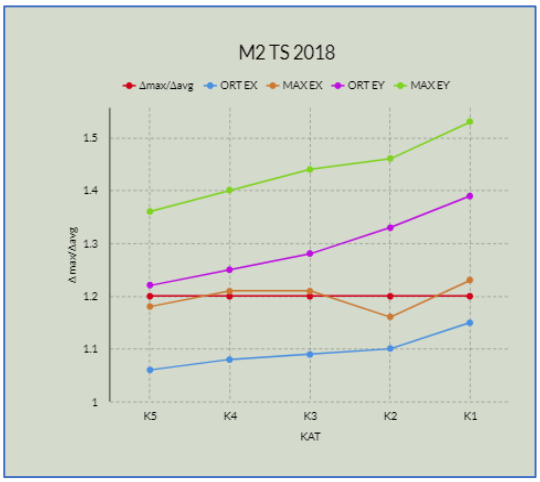
Şekil 4.31 ASCE7 16'ya göre RS analizi M2 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.32 TBDY 2018'e göre RS analizi M2 için η_{bi} değerleri



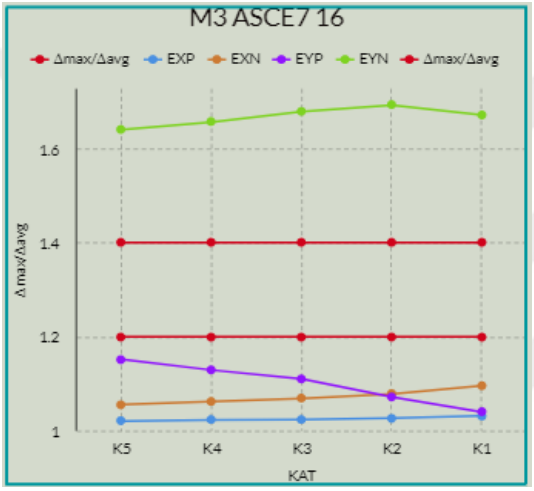
Şekil 4.33 ASCE7 16'ya göre TH analizi M2 için η_{bi} değerleri



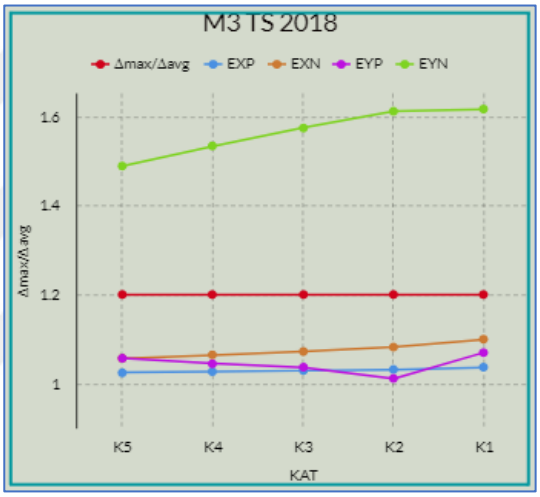
Şekil 4.34 TBDY 2018'e göre TH analizi M2 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 kodları göre ayrı ayrı incelenen ikinci modelde, EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı, EY deprem yükü yönünde ise burulmanın olduğu, yani burulma değerlerinin TBDY 2018 kodu için 1,2 sınır değerini ve ASCE7 16 kodu için 1,2 ve 1,4 sınır değerlerini aştığı

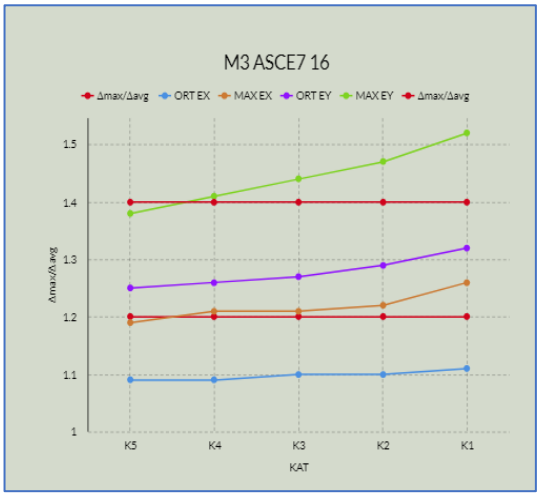
tespit edilmiştir. İkinci model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde, ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX sismik yük yönünde burulma olmadığı, EY sismik yük yönündeki burulma değerlerine gelince, ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. İncelenen üçüncü model (M3) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.35'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.36'da gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.37'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.38'de gösterilmiştir.



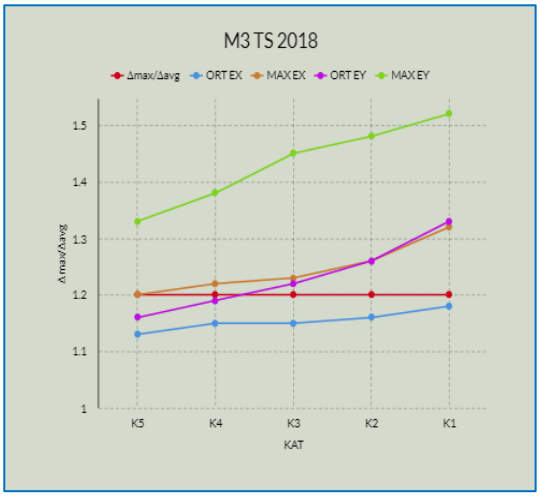
Şekil 4.35 ASCE7 16'ya göre RS analizi M3 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.36 TBDY 2018'e göre RS analizi M3 için η_{bi} değerleri

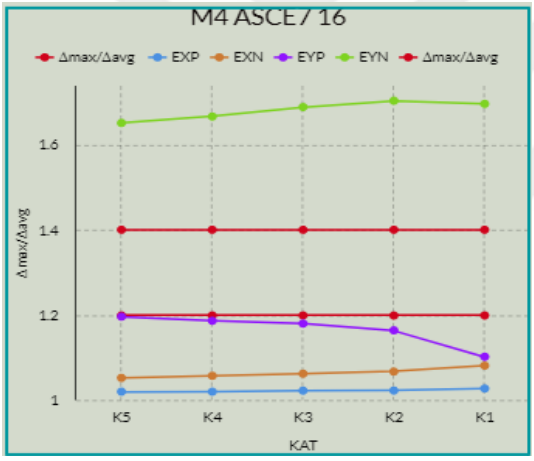


Şekil 4.37 ASCE7 16'ya göre TH analizi M3 için η_{bi} değerleri

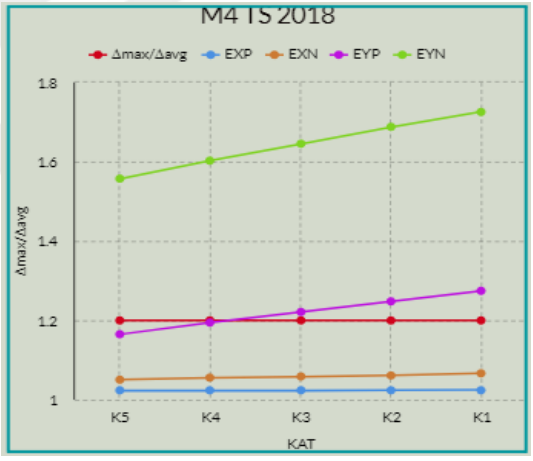


Şekil 4.38 TBDY 2018'e göre TH analizi M3 için η_{bi} değerleri

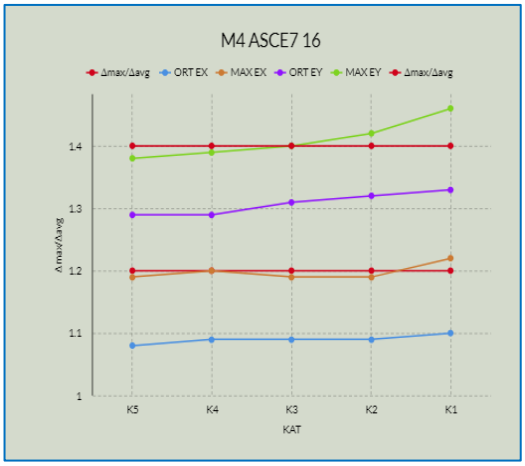
Mod Birleştirme yönteme göre hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 kodları göre ayrı ayrı incelenen üçüncü modelde, EX ve EYP deprem yükleri yönünde burulma olmadığı, EYN deprem yükü yönünde ise burulma olduğu tespit edilmiştir. Üçüncü model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde, ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX sismik yük yönünde burulma olmadığı, EY sismik yük yönündeki burulma değerlerine gelince, ASCE7 16 kodu kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu ve TBDY 2018 kodu kullanıldığında birinci, ikinci ve üçüncü katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. İncelenen dördüncü model (M4) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.39'da ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.40'ta gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.41'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.42'de gösterilmiştir.



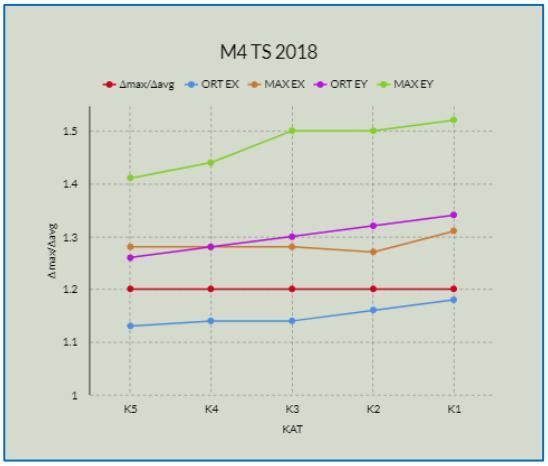
Şekil 4.39 ASCE7 16'ya göre RS analizi M4 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.40 TBDY 2018'e göre RS analizi M4 için η_{bi} değerleri



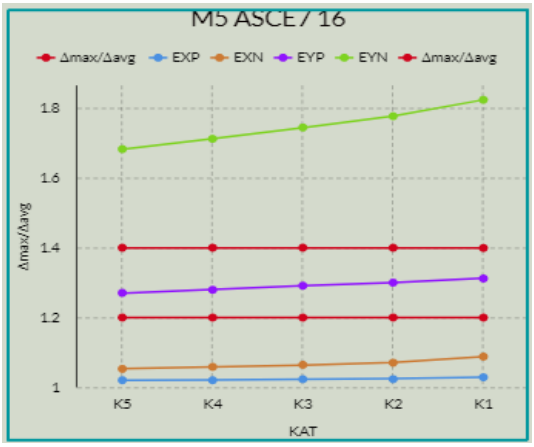
Şekil 4.41 ASCE7 16'ya göre TH analizi M4 için ηbi değerleri



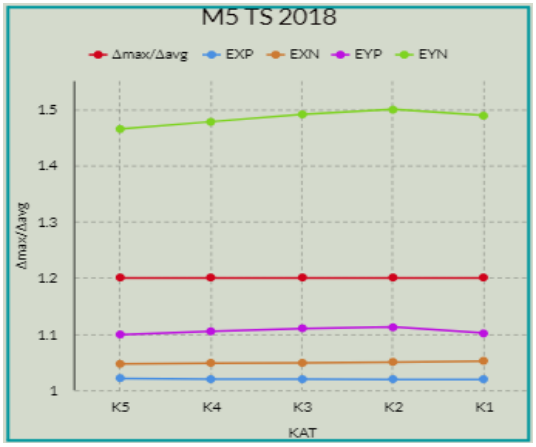
Şekil 4.42 TBDY 2018'e göre TH analizi M4 için ηbi değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen dördüncü modelde tüm ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca ASCE7 16 kodu kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde burulma olmadığı, aynı yöndeki EYP sismik yükü için TBDY 2018 kodu kullanıldığında ise sadece birinci, ikinci ve üçüncü katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. EYN sismik yükü yönünde burulma değerlerine gelince, ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. Dördüncü model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde, ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX sismik yük yönünde burulma olmadığı, EY sismik yük yönündeki burulma değerlerine gelince, ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir.

İncelenen beşinci model (M5) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.43'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.44'de gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.45'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.46'da gösterilmiştir.



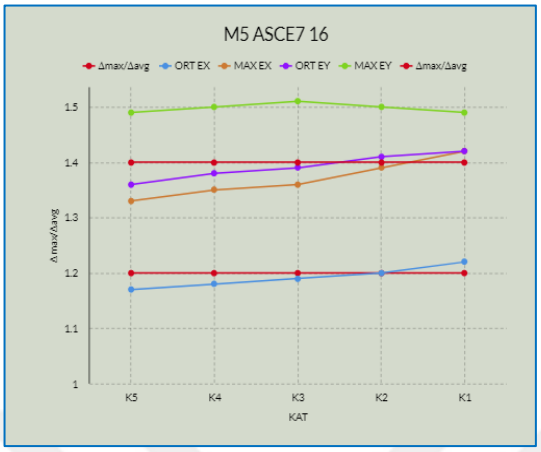
Şekil 4.43 ASCE7 16'ya göre RS analizi M5 için η_{bi} değerleri



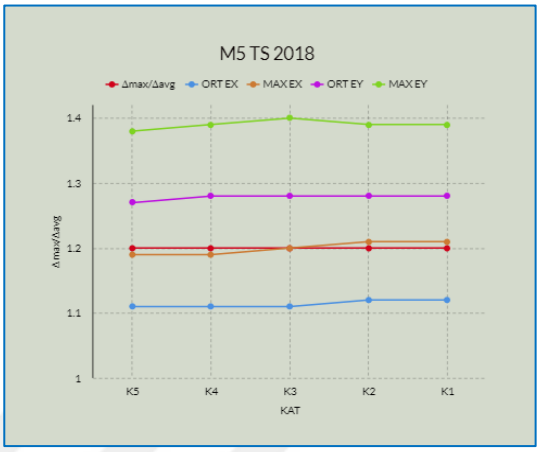
Şekil 4.44 TBDY 2018'e göre RS analizi M5 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen beşinci modelde tüm ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca TBDY 2018 kodu kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde burulma olmadığı, aynı yöndeki EYP sismik yükü için ASCE7 16 kodu kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. EYN sismik yükü yönünde burulma değerlerine gelince,

ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir.



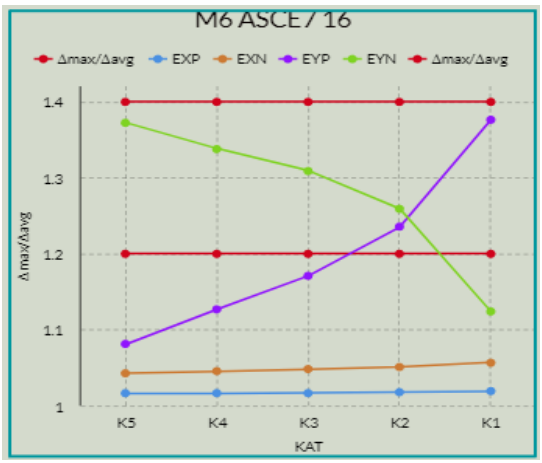
Şekil 4.45 ASCE7 16'ya göre TH analizi M5 için η_{bi} değerleri



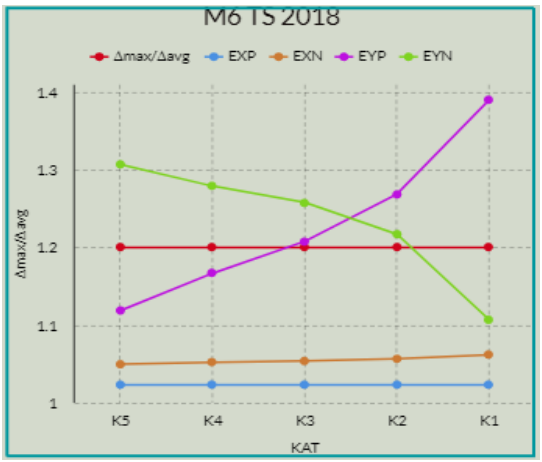
Şekil 4.46 TBDY 2018'e göre TH analizi M5 için η_{bi} değerleri

Beşinci model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde, TBDY 2018 kodu kullanıldığında EX sismik yük yönünde burulma olmadığı, ASCE7 16 kodu kullanıldığında ise sadece birinci katta burulma olduğu tespit edilmiştir. EY sismik yük yönündeki burulma değerlerine gelince, ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir.

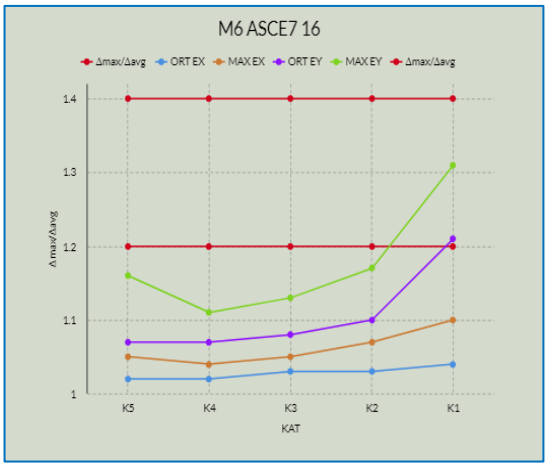
İncelenen altıncı model (M6) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.47'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.48'de gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.49'da ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.50'de gösterilmiştir.



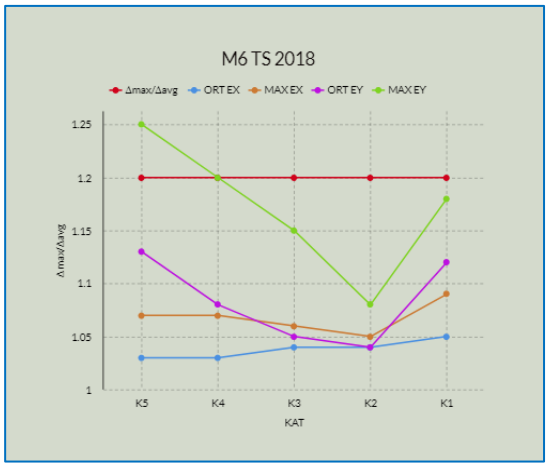
Şekil 4.47 ASCE7 16'ya göre RS analizi M6 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.48 TBDY 2018'e göre RS analizi M6 için η_{bi} değerleri



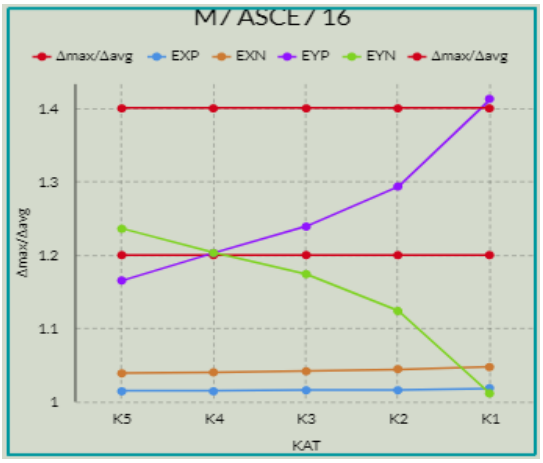
Şekil 4.49 ASCE7 16'ya göre TH analizi M6 için ηbi değerleri



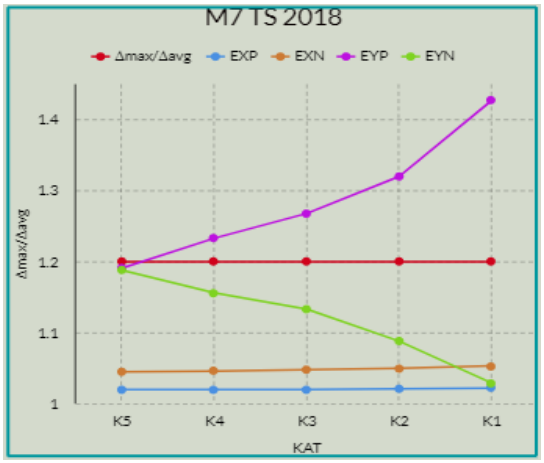
Şekil 4.50 TBDY 2018'e göre TH analizi M6 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen beşinci modelde tüm ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca TBDY 2018 kodu kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde burulma birinci ve ikinci katlarda olduğu ve aynı yöndeki EYP sismik yükü için ASCE7 16 kodu kullanıldığında birinci, ikinci ve üçüncü katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. EYN sismik yükü yönünde burulma değerlerine gelince, ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. Altıncı model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX sismik yük yönünde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca TBDY 2018 kodu kullanıldığında EY deprem yükü yönünde burulma olmadığı, ASCE7 16 kodu kullanıldığında ise sadece birinci katta burulma olduğu tespit edilmiştir.

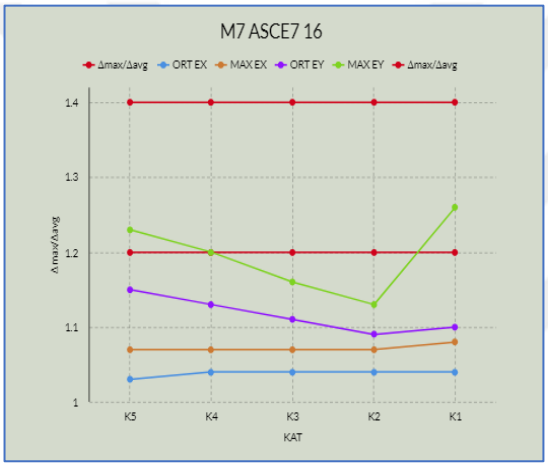
İncelenen yedinci model (M7) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.51'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.52'de gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.53'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.54'te gösterilmiştir.



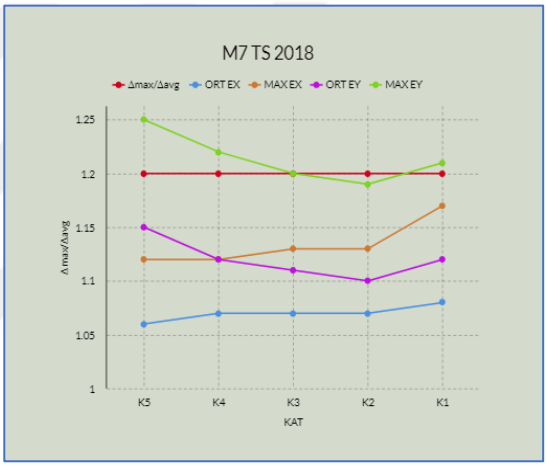
Şekil 4.51 ASCE7 16'ya göre RS analizi M7 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.52 TBDY 2018'e göre RS analizi M7 için η_{bi} değerleri



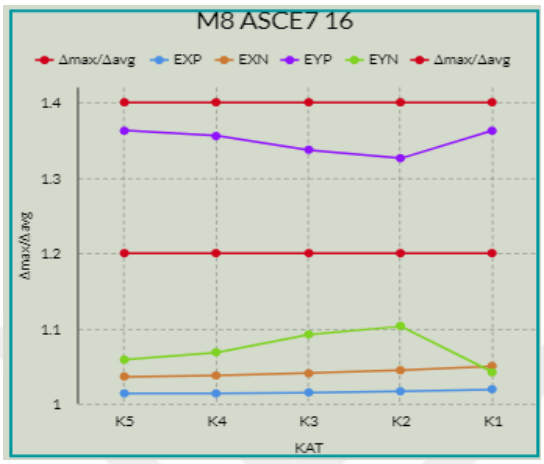
Şekil 4.53 ASCE7 16'ya göre TH analizi M7 için η_{bi} değerleri



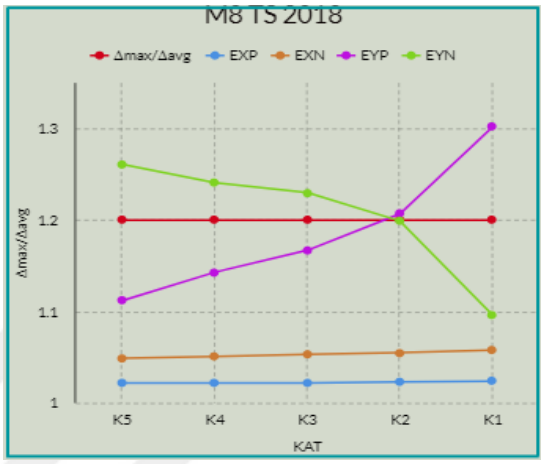
Şekil 4.54 TBDY 2018'e göre TH analizi M7 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen yedinci modelde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca EYP sismik yükü yönünde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında beşinci kat hariç diğer katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. TBDY 2018 kodu kullanıldığında EYN sismik yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür ve aynı yöndeki EYP sismik yükü için ASCE7 16 kodu kullanıldığında dördüncü ve beşinci katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. Yedinci model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX ve EY sismik yük yönlerde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Yani bu yönteme göre bina burulma açısından düzenlidir.

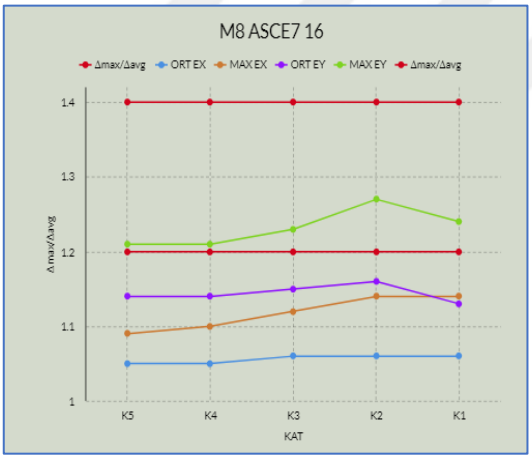
İncelenen sekizinci model (M8) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.55'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.56'da gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.57'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.58'de gösterilmiştir.



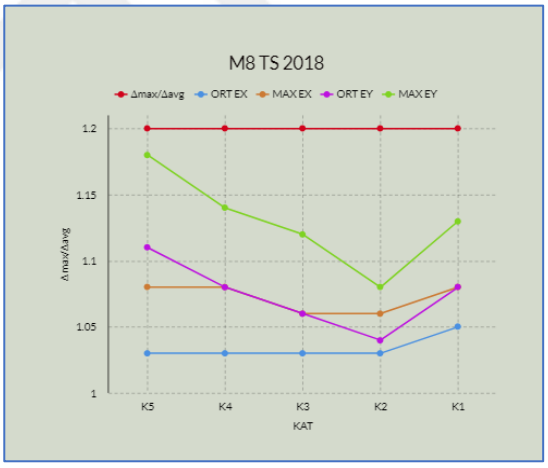
Şekil 4.55 ASCE7 16'ya göre RS analizi M8 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.56 TBDY 2018'e göre RS analizi M8 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.57 ASCE7 16'ya göre TH analizi M8 için η_{bi} değerleri

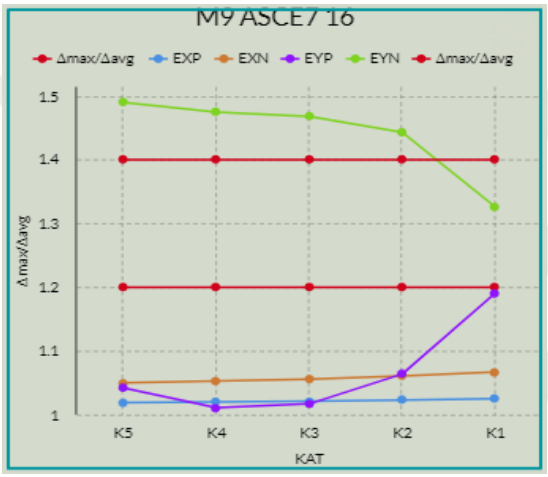


Şekil 4.58 TBDY 2018'e göre TH analizi M8 için η_{bi} değerleri

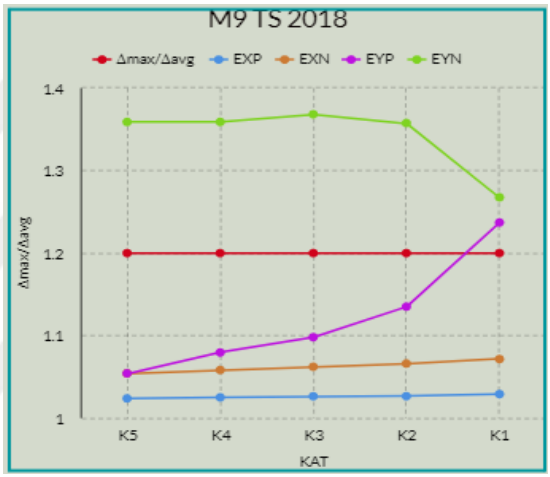
Mod Birleştirme yönteme göre incelenen sekizinci modelde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca TBDY 2018 kodu kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde burulma birinci ve ikinci katlarda olduğu ve aynı yöndeki EYP sismik yükü için ASCE7 16 kodu kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. TBDY 2018 kodu kullanıldığında EYN sismik yükü yönünde birinci ve ikinci kat hariç diğer katlarda burulma olduğu görülmüştür ve aynı yöndeki EYP sismik yükü için ASCE7 16 kodu kullanıldığında burulma olmadığı tespit edilmiştir. Sekizinci model zaman tanım alanında analiz

yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX ve EY sismik yük yönlerde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Yani bu yönteme göre bina burulma açısından düzenlidir.

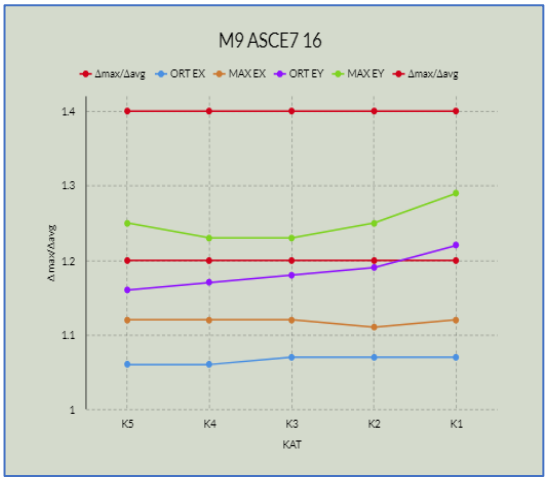
İncelenen dokuzuncu model (M9) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.59'da ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.60'ta gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.61'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.62'de gösterilmiştir.



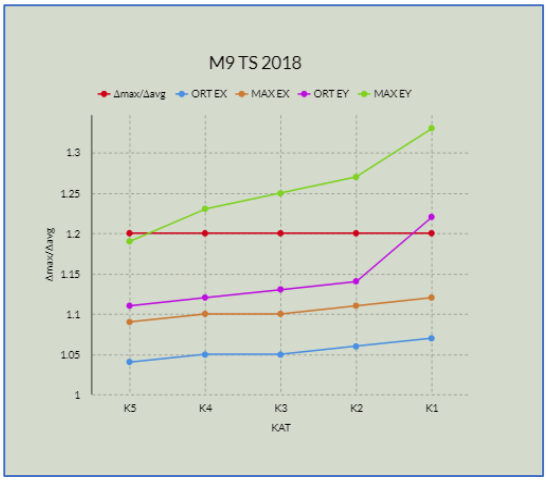
Şekil 4.59 ASCE7 16'ya göre RS analizi M9 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.60 TBDY 2018'e göre RS analizi M9 için η_{bi} değerleri



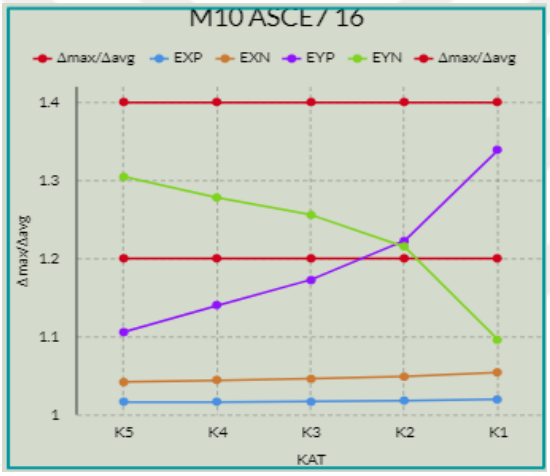
Şekil 4.61 ASCE7 16'ya göre TH analizi M9 için η_{bi} değerleri



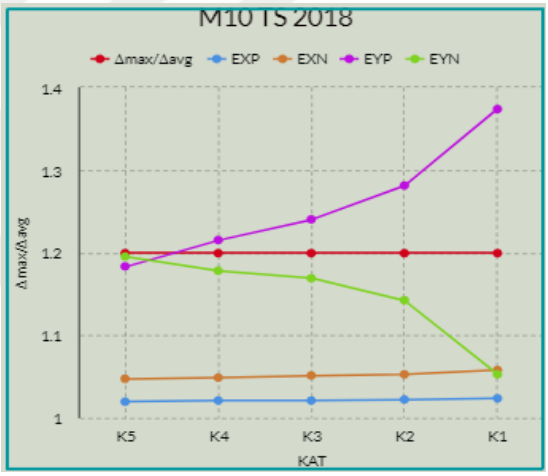
Şekil 4.62 TBDY 2018'e göre TH analizi M9 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen dokuzuncu modelde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca TBDY 2018 kodu kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde burulma birinci katta

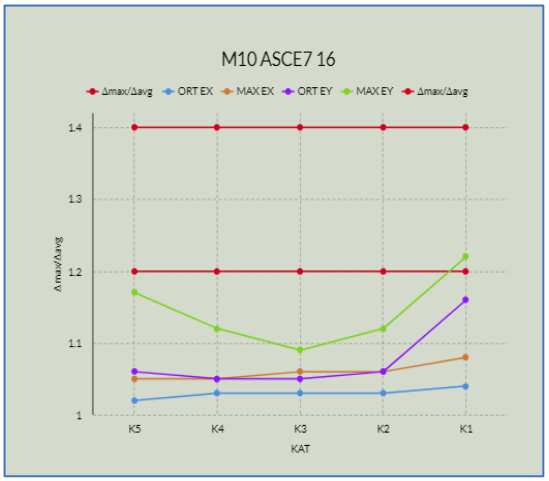
olduğu ve aynı yöndeki EYP sismik yükü için ASCE7 16 kodu kullanıldığında tüm katlarda burulma olmadığı tespit edilmiştir. EYN sismik yükü yönünde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu görülmüştür. Dokuzuncu model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX sismik yük yönünde burulma olmadığı ve EY sismik yük yönünde sadece birinci katta burulma olduğu tespit edilmiştir. İncelenen onuncu model (M10) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.63'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.64'te gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.65'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.66'da gösterilmiştir.



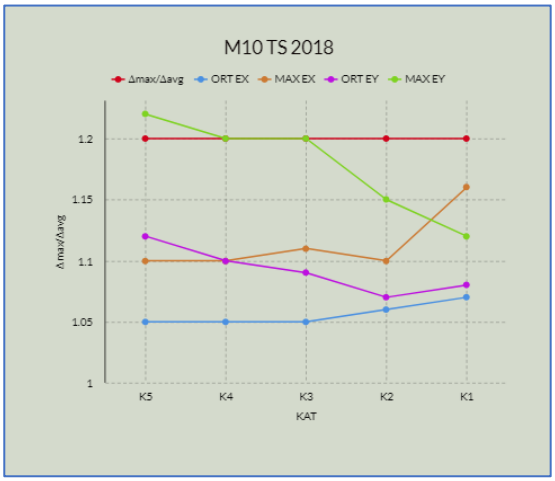
Şekil 4.63 ASCE7 16'ya göre RS analizi M10 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.64 TBDY 2018'e göre RS analizi M10 için η_{bi} değerleri

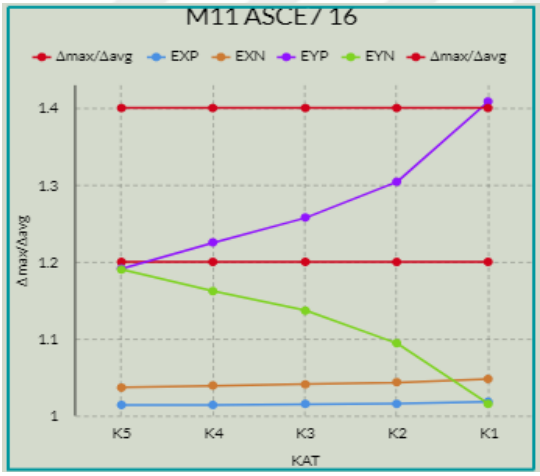


Şekil 4.65 ASCE7 16'ya göre TH analizi M10 için η_{bi} değerleri

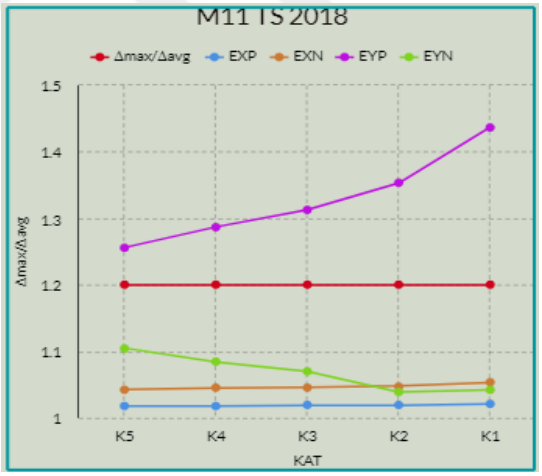


Şekil 4.66 TBDY 2018'e göre TH analizi M10 için η_{bi} değerleri

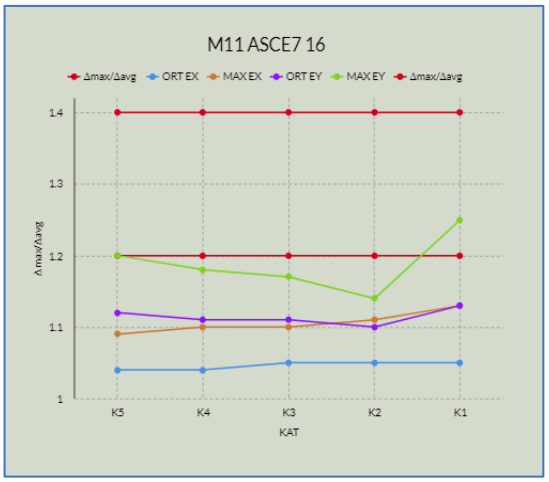
Mod Birleştirme yönteme göre incelenen onuncu modelde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca TBDY 2018 kodu kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde beşinci kat hariç tüm katlarda burulma olduğu ve aynı yöndeki EYP sismik yükü için ASCE7 16 kodu kullanıldığında sadece birinci ve ikinci katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. EYN sismik yükü ile ilgili olarak, model TBDY 2018'e göre incelendiğinde burulma tüm katlarda olmadığı görülmüştür ve ASCE7 16 yönetmeliği ile karşılaştırıldığında sadece birinci katta burulma olmadığını, diğer tüm katlarda burulma olduğu görülmüştür. Onuncu model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX ve EY sismik yük yönlerde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Yani bu yönteme göre bina burulma açısından düzenlidir. İncelenen on birinci model (M11) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.67'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.68'de gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.69'da ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.70'te gösterilmiştir.



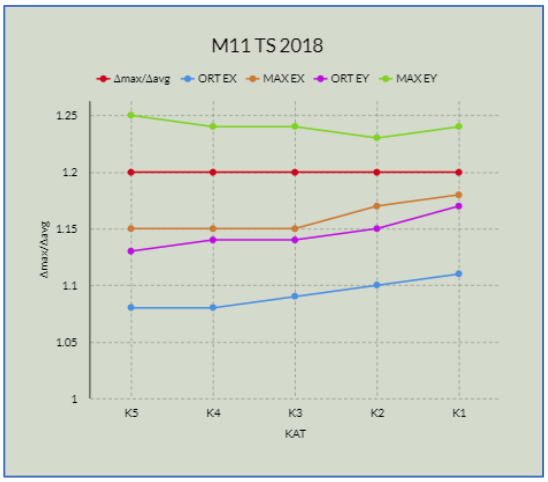
Şekil 4.67 ASCE7 16'ya göre RS analizi M10 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.68 TBDY 2018'e göre RS analizi M11 için η_{bi} değerleri



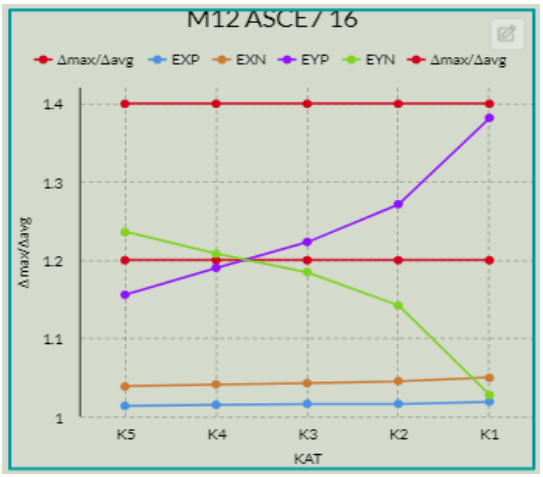
Şekil 4.69 ASCE7 16'ya göre TH analizi M11 için η_{bi} değerleri



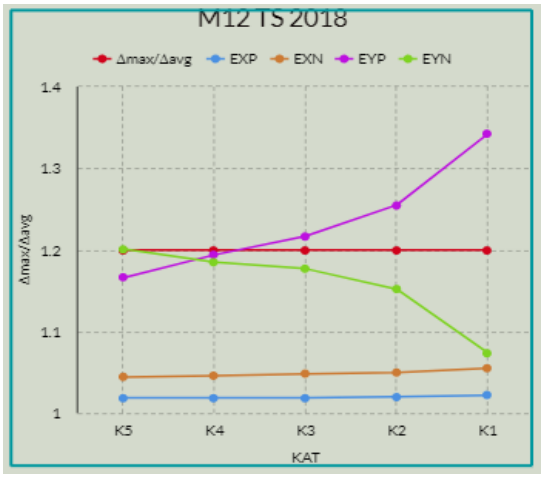
Şekil 4.70 TBDY 2018'e göre TH analizi M11 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen on birinci modelde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca ASCE7 16 kodu kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde beşinci kat hariç tüm katlarda burulma olduğu ve aynı yöndeki EYP sismik yükü için TBDY 2018 kodu kullanıldığında tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. EYN sismik yükü ile ilgili olarak, model ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında burulma tüm katlarda olmadığı görülmüştür. On birinci model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX ve EY sismik yük yönlerde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Yani bu yönteme göre bina burulma açısından düzenlidir.

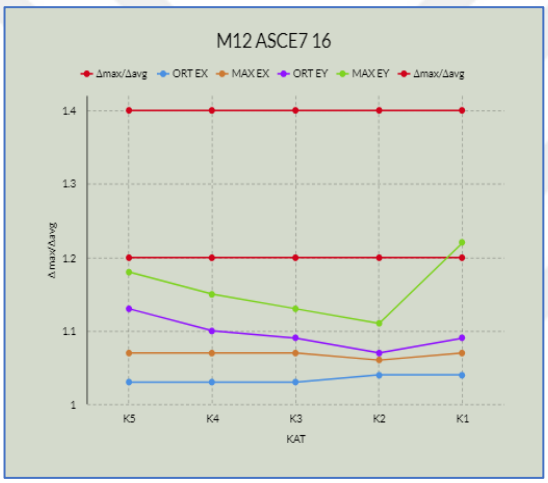
İncelenen on ikinci model (M12) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.67'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.68'de gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.69'da ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.70'te gösterilmiştir.



Şekil 4.71 ASCE7 16'ya göre RS analizi M12 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.72 TBDY 2018'e göre RS analizi M12 için η_{bi} değerleri



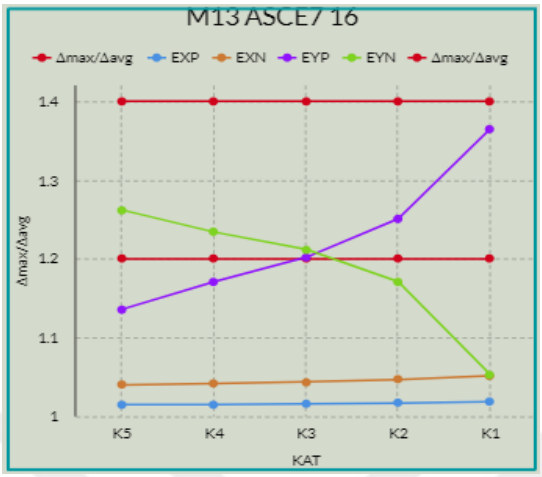
Şekil 4.73 ASCE7 16'ya göre TH analizi M12 için η_{bi} değerleri



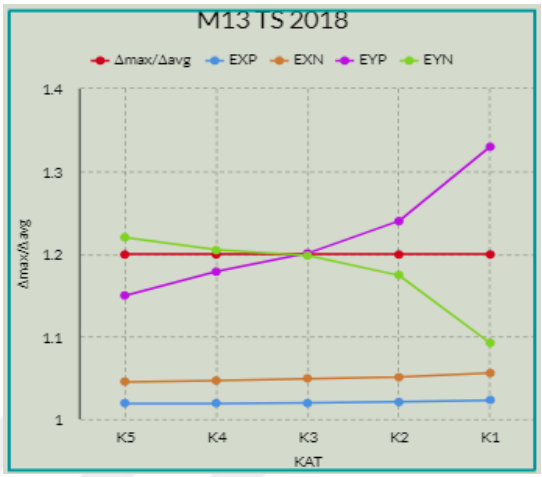
Şekil 4.74 TBDY 2018'e göre TH analizi M12 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen on ikinci modelde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde birinci, ikinci ve üçüncü katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. ASCE7 16 kodu kullanıldığında EYN sismik yükü yönünde beşinci ve dördüncü katlarda burulma olduğu ve aynı yöndeki EYN sismik yükü için TBDY 2018 kodu kullanıldığında sadece beşinci katta burulma olduğu tespit edilmiştir. On ikinci model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX ve EY sismik yük yönlerde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Yani bu yönteme göre bina burulma açısından düzenlidir. İncelenen on üçüncü model (M13) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya

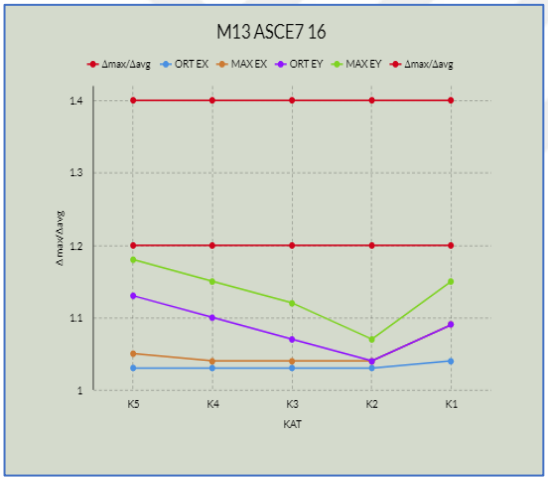
göre Şekil 4.75'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.76'da gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.77'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.78'de gösterilmiştir.



Şekil 4.75 ASCE7 16'ya göre RS analizi M13 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.76 TBDY 2018'e göre RS analizi M13 için η_{bi} değerleri



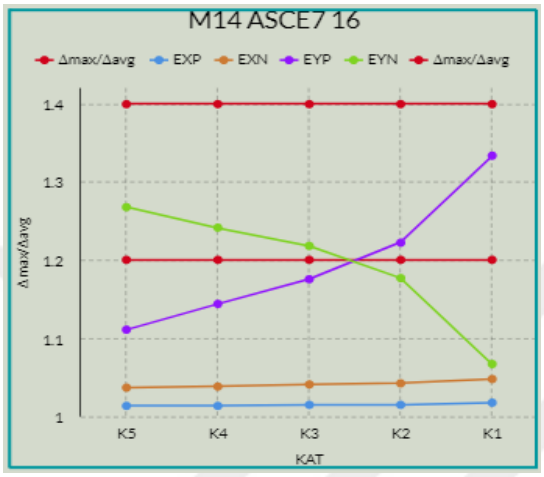
Şekil 4.77 ASCE7 16'ya göre TH analizi M13 için η_{bi} değerleri



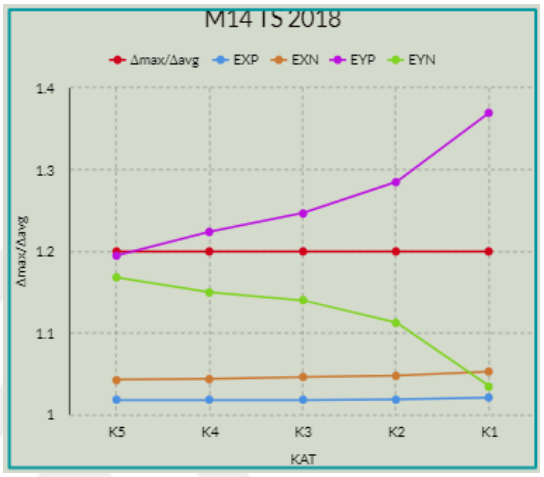
Şekil 4.78 TBDY 2018'e göre TH analizi M13 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen on üçüncü modelde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Ayrıca ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde birinci, ikinci ve üçüncü katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. ASCE7 16 kodu kullanıldığında EYN sismik yükü yönünde beşinci ve dördüncü katlarda burulma olduğu ve aynı yöndeki EYN sismik yükü için TBDY 2018 kodu kullanıldığında üçüncü, dördüncü ve beşinci katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. On üçüncü model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX ve EY sismik yük yönlerde burulma

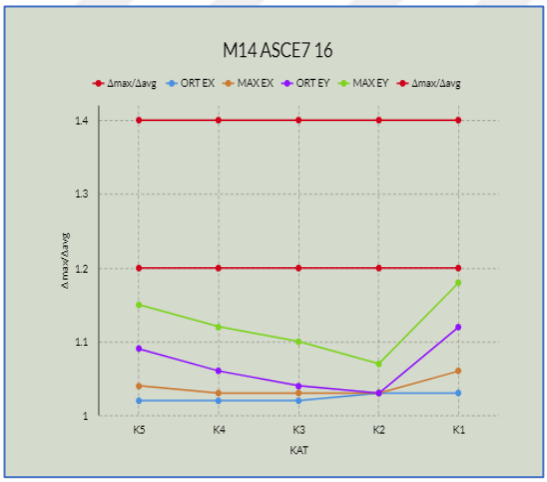
olmadığı tespit edilmiştir. Yani bu yönteme göre bina burulma açısından düzenlidir. İncelenen on dördüncü model (M14) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.79'da ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.80'de gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.81'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.82'de gösterilmiştir.



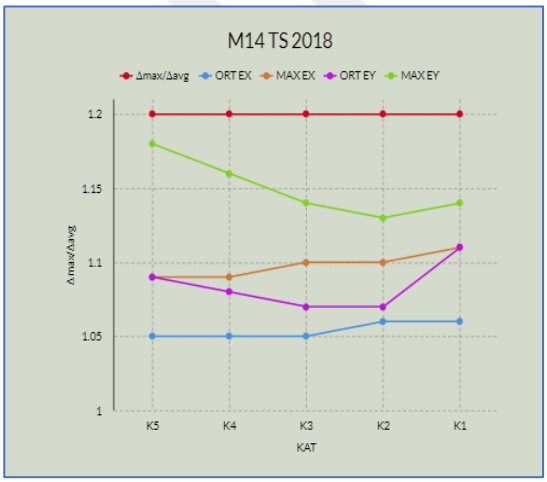
Şekil 4.79 ASCE7 16'ya göre RS analizi M14 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.80 TBDY 2018'e göre RS analizi M14 için η_{bi} değerleri



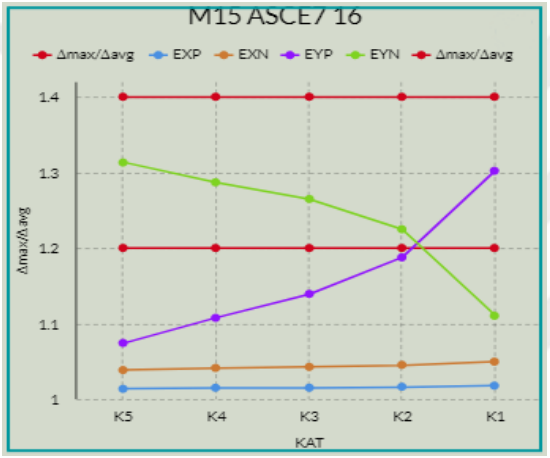
Şekil 4.81 ASCE7 16'ya göre TH analizi M14 için η_{bi} değerleri



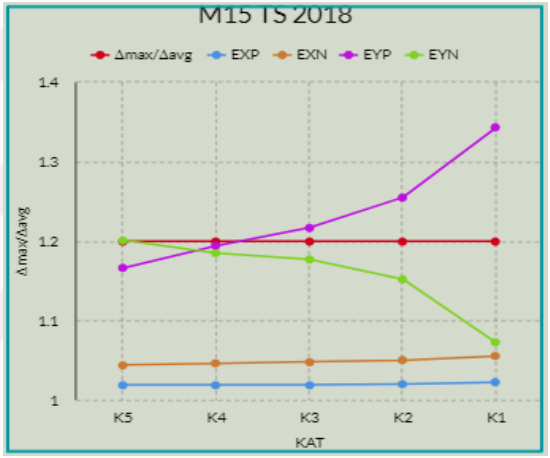
Şekil 4.82 TBDY 2018'e göre TH analizi M14 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen on dördüncü modelde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. ASCE7 16 kodu kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde birinci ve ikinci katlarda burulma olduğu ve aynı yöndeki EYP sismik yükü için TBDY 2018 kodu kullanıldığında beşinci kat hariç tüm katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. ASCE7 16 kodu kullanıldığında EYN sismik yükü yönünde birinci ve ikinci katlar hariç diğer katlarda

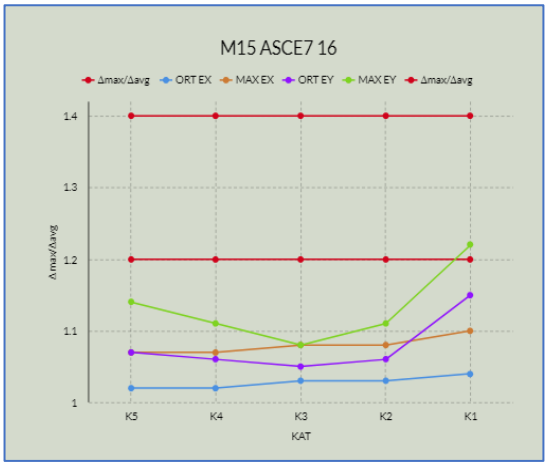
burulma olduğu ve aynı yöndeki EYN sismik yükü için TBDY 2018 kodu kullanıldığında burulma tüm katlarda olmadığı tespit edilmiştir. On dördüncü model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX ve EY sismik yük yönlerde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Yani bu yönteme göre bina burulma açısından düzenlidir. İncelenen on beşinci model (M15) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.83'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.84'te gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.85'te ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.86'da gösterilmiştir.



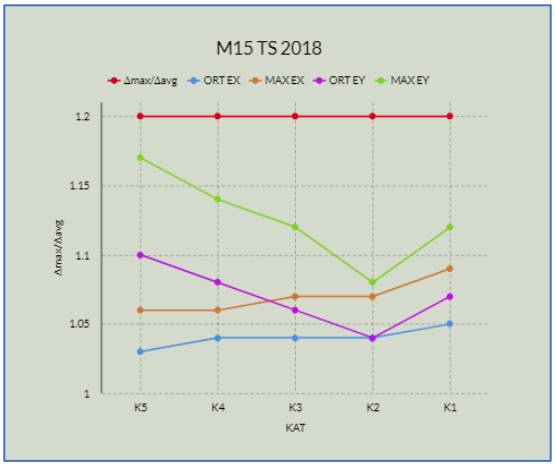
Şekil 4.83 ASCE7 16'ya göre RS analizi M15 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.84 TBDY 2018'e göre RS analizi M15 için η_{bi} değerleri



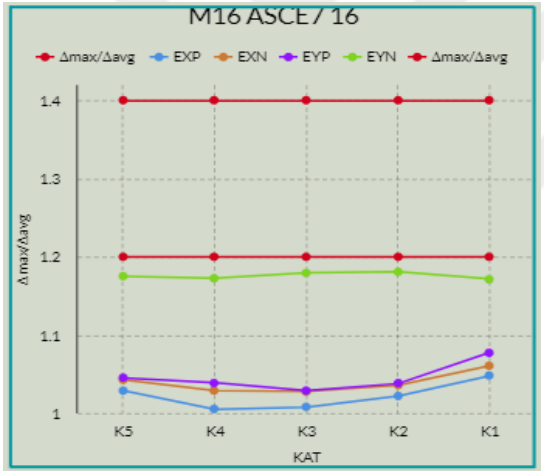
Şekil 4.85 ASCE7 16'ya göre TH analizi M15 için η_{bi} değerleri



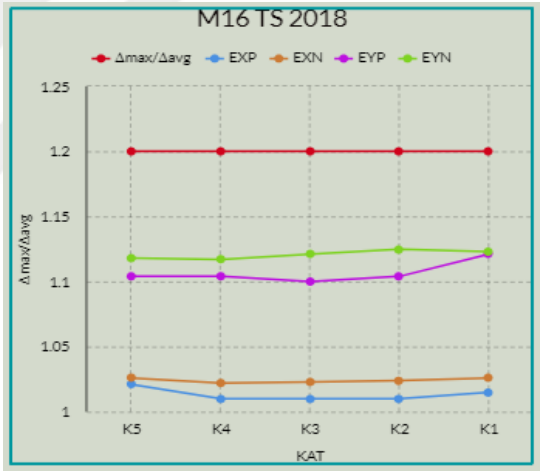
Şekil 4.86 TBDY 2018'e göre TH analizi M15 için η_{bi} değerleri

Mod Birleştirme yönteme göre incelenen on beşinci modelde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarında EX deprem yükü yönünde burulma olmadığı görülmüştür. ASCE7 16

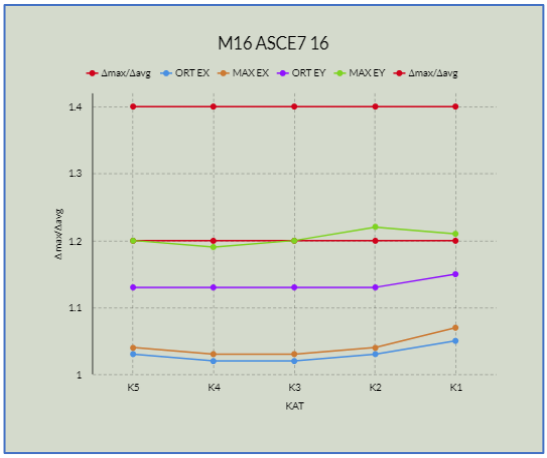
kodu kullanıldığında EYP sismik yükü yönünde birinci katta burulma olduğu ve aynı yöndeki EYP sismik yükü için TBDY 2018 kodu kullanıldığında birinci, ikinci ve üçüncü katlarda burulma olduğu tespit edilmiştir. ASCE7 16 kodu kullanıldığında EYN sismik yükü yönünde birinci kat hariç diğer katlarda burulma olduğu ve aynı yöndeki EYN sismik yükü için TBDY 2018 kodu kullanıldığında burulma sadece beşinci katta olduğu tespit edilmiştir. On beşinci model zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelendiğinde ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanıldığında EX ve EY sismik yük yönlerde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Yani bu yönteme göre bina burulma açısından düzenlidir. İncelenen on altıncı model (M16) için burulma düzensizliği katsayısının değerleri RS analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.87'de ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.88'de gösterilmiştir. TH analizinden ASCE7 16'ya göre Şekil 4.89'da ve TBDY 2018'e göre Şekil 4.90'da gösterilmiştir.



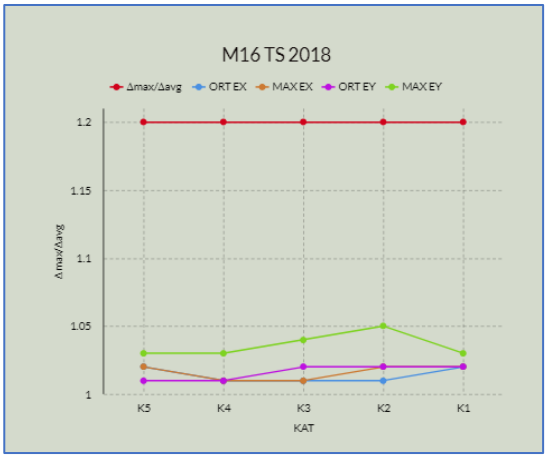
Şekil 4.87 ASCE7 16'ya göre RS analizi M16 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.88 TBDY 2018'e göre RS analizi M16 için η_{bi} değerleri



Şekil 4.89 ASCE7 16'ya göre TH analizi M16 için ηbi değerleri



Şekil 4.90 TBDY 2018'e göre TH analizi M16 için η_{bi} değerleri

Mod birleştirme yönteme ve zaman tanım alanında analiz yöntemine göre incelenen on altıncı modelde hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 kodları kullanıldığında EX ve EY sismik yükünün her iki yönünde burulma olmadığı görülmüştür. Yani iki yönteme ve her iki koda göre bina burulma açısından düzenlidir. İncelenen sismik yöntemlere göre hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 kodlara göre on altı model arasında burulma olup olmaması ile ilgili karşılaştırmayı kolaylaştırmak için, RS yönteminden elde edilen sonuçlar Tablo 4.1'de ve TH yönteminden alınan sonuçlar Tablo 4.2'de gösterilmektedir. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de; (Yok) ibaresi, modelin tüm katlarında burulma bulunmadığını, (Var) tek başına modelin tüm katlarında burulma bulunduğunu, (Var: i) ise bahsedilen i katta burulma bulunması ve belirtilmeyen katlarda burulma bulunmadığını ifade etmektedir.

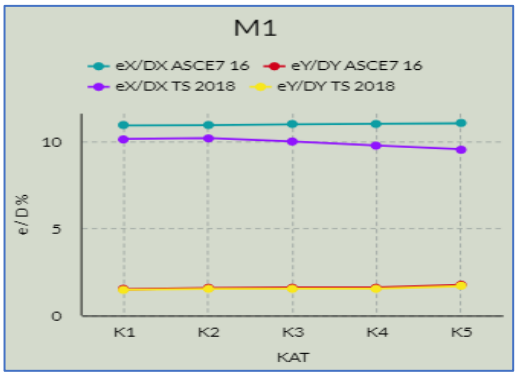
Tablo 4.1 RS analizine göre modellerde burulma varlığının incelenmesi

MODEL	**ASCE7 16**				**TBDY 2018**			
	EXP	**EXN**	**EYP**	**EYN**	**EXP**	**EXN**	**EYP**	**EYN**
M 1	Yok	Yok	Var	Var	Yok	Yok	Var:1-2-3-4	Var
M 2	Yok	Yok	Var	Var	Yok	Yok	Var:1-2-3-4	Var
M 3	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Var
M 4	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Var:1-2-3	Var
M 5	Yok	Yok	Var	Var	Yok	Yok	Yok	Var
M 6	Yok	Yok	Var:1-2	Var:2-3-4-5	Yok	Yok	Var:1-2-3	Var:2-3-4-5
M 7	Yok	Yok	Var:1-2-3-4	Var:4-5	Yok	Yok	Var:1-2-3-4	Yok
M 8	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Var:1-2	Var:3-4-5
M 9	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Var:1	Var
M 10	Yok	Yok	Var:1-2	Var:2-3-4-5	Yok	Yok	Var:1-2-3-4	Yok
M 11	Yok	Yok	Var:1-2-3-4	Yok	Yok	Yok	Var	Yok
M 12	Yok	Yok	Var:1-2-3	Var:4-5	Yok	Yok	Var:1-2-3	Var:5
M 13	Yok	Yok	Var:1-2-3	Var:3-4-5	Yok	Yok	Var:1-2-3	Var:4-5
M 14	Yok	Yok	Var:1-2	Var:3-4-5	Yok	Yok	Var:1-2-3-4	Yok
M 15	Yok	Yok	Var:1	Var:2-3-4-5	Yok	Yok	Var:1-2-3	Var:5
M 16	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok

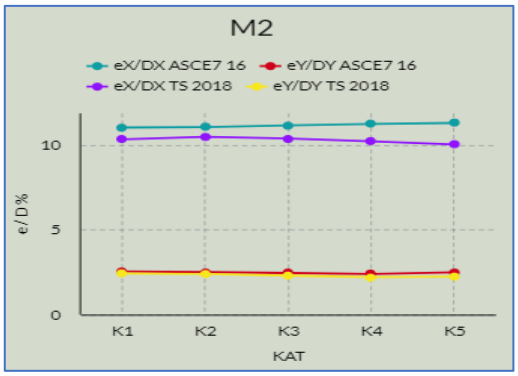
Tablo 4.2 TH analizine göre modellerde burulma varlığının incelenmesi

Model	ASCE7 16		TS 2018	
	X	Y	X	Y
M 1	Var:1	Var	Yok	Var
M 2	Yok	Var	Yok	Var
M 3	Yok	Var	Yok	Var:1-2-3
M 4	Yok	Var	Yok	Yok
M 5	Var:1	Var	Yok	Yok
M 6	Yok	Var:1	Yok	Yok
M 7	Yok	Yok	Yok	Yok
M 8	Yok	Yok	Yok	Yok
M 9	Yok	Var:1	Yok	Var:1
M 10	Yok	Yok	Yok	Yok
M 11	Yok	Yok	Yok	Yok
M 12	Yok	Yok	Yok	Yok
M 13	Yok	Yok	Yok	Yok
M 14	Yok	Yok	Yok	Yok
M 15	Yok	Yok	Yok	Yok
M 16	Yok	Yok	Yok	Yok

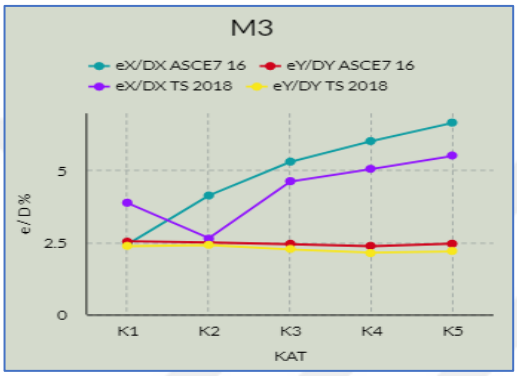
ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarından farklı olarak birçok kod, burulma düzensizliğin tahkiki olarak; bir yöndeki kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafenin (dış merkezlilik) değeri [e] binanın aynı yöndeki boyutuna [D] bölünmesinin yüzdesini almaktadır. Bu kodlar arasında burulma varlığı anlamına gelen oran değişmektedir. ASCE7 ve TBDY 2018 kodları ile burulma olup olmadığının belirlenmesinde farklılık gösteren diğer kodlar arasında karşılaştırma yapma imkânı olması açısından, (e/D) oranları grafik halinde sunulmuştur ve Şekil 4.91'den Şekil 4.106'ye kadar gösterilmiştir.



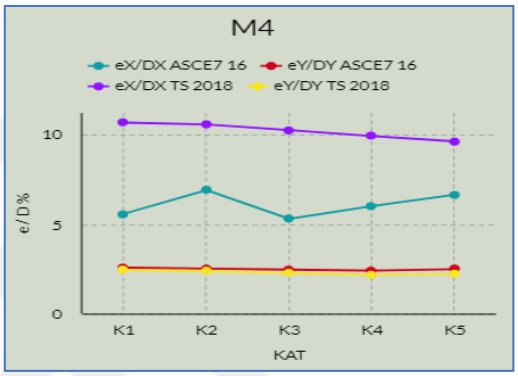
Şekil 4.91 model 1 (e/D) oranı



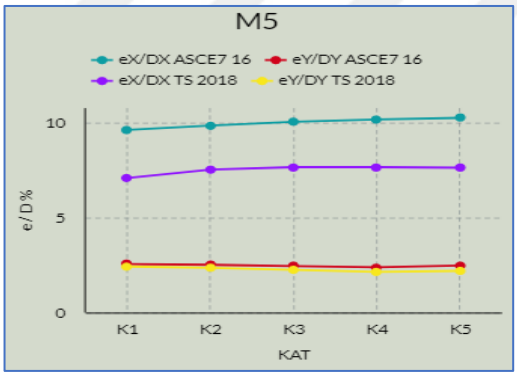
Şekil 4.92 model 2 (e/D) oranı



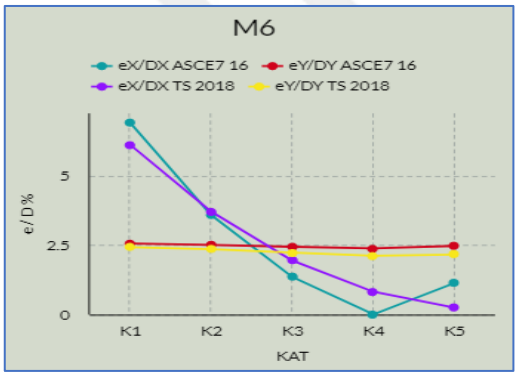
Şekil 4.93 model 3 (e/D) oranı



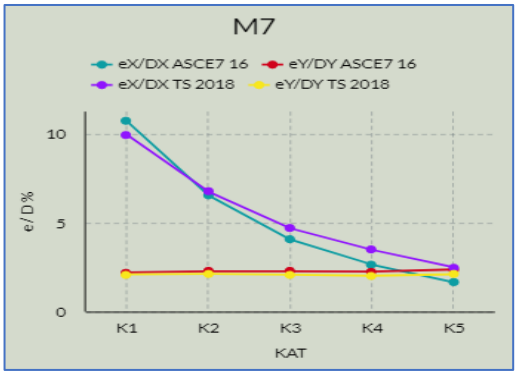
Şekil 4.94 model 4 (e/D) oranı



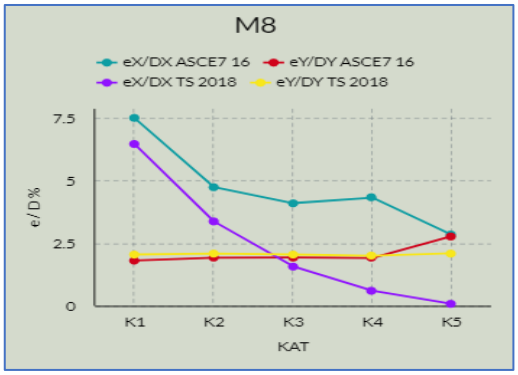
Şekil 4.95 model 5 (e/D) oranı



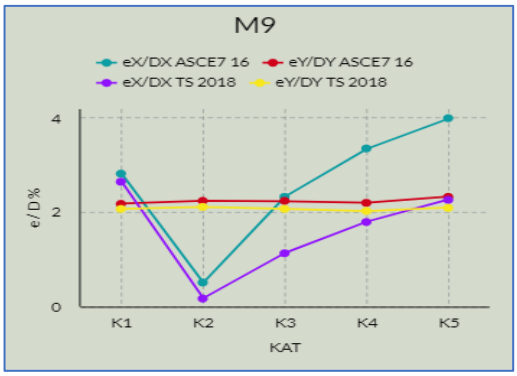
Şekil 4.96 model 6 (e/D) oranı



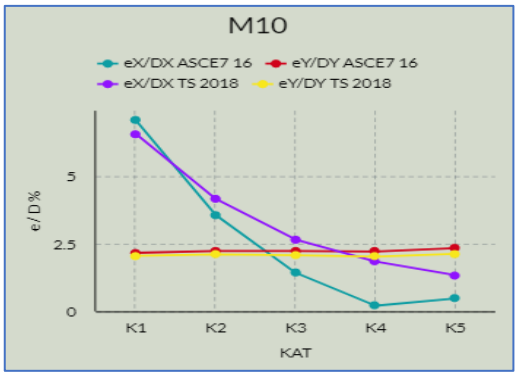
Şekil 4.97 model 7 (e/D) oranı



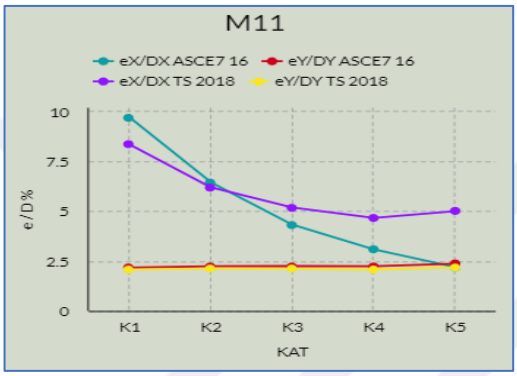
Şekil 4.98 model 8 (e/D) oranı



Şekil 4.99 model 9 (e/D) oranı

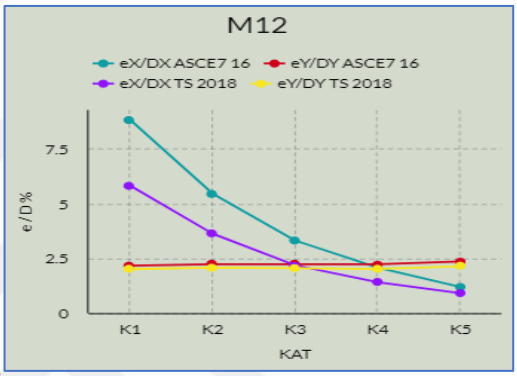


Şekil 4.100 model 10 (e/D) oranı

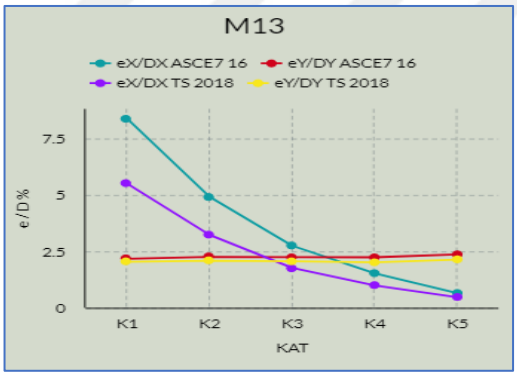


Şekil 4.101 model 11 (e/D) oranı

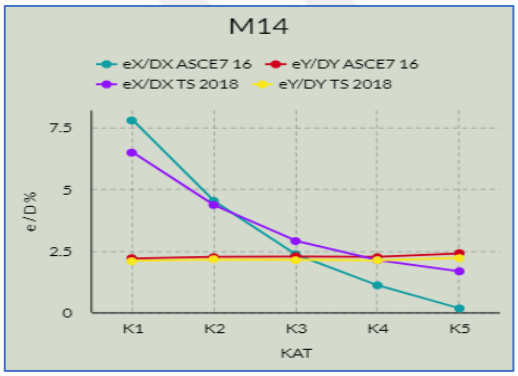
,



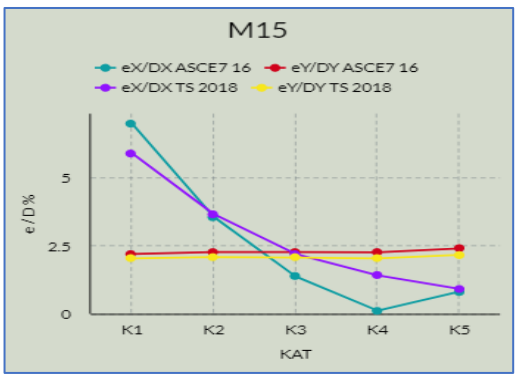
Şekil 4.102 model 12 (e/D) oranı



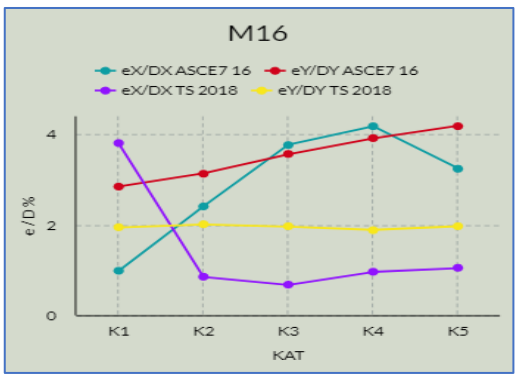
Şekil 4.103 model 13 (e/D) oranı



Şekil 4.104 model 14 (e/D) oranı



Şekil 4.105 model 15 (e/D) oranı



Şekil 4.106 model 16 (e/D) oranı

4.6 Depremin Etkime Açısının Burulma Davranışa Etkisi

Yapılara etki eden deprem yüklerinin, yapıların plan görünüşlerinde ana eksenleri dışında ara yönlerden etkimesi durumu dikkate alınarak ve bu ara açıların bina ve burulma davranışı üzerindeki etkisini araştırmak için, model 16 yani burulma açısından düzenli model, EX ve EY yönlerinde 15, 45 ve 75 açılarına göre TH yöntemi kullanarak analiz edilmiştir. Model 16'da beşinci kat için maksimum yer değiştirme değerleri, her bir sismik yön için 0, 15, 45 ve 75 açıları için zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak TBDY 2018 kodu ve ASCE7 16 kodunu ayrı ayrı kullanarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 4.3'te gösterilmektedir ve yer değiştirme değeri milimetre cinsinden sunulmaktadır.

Tablo 4.3 Deprem açısına göre model 16'da maksimum yer değiştirme değerleri

		ASCE7 16		**TBDY 2018**	
EX açısı	**EY açısı**	**Max Ux [mm]**	**Max Uy [mm]**	**Max Ux [mm]**	**Max Uy [mm]**
0	0	2,972	1,424	7,179	4,603
15	0	2,902	1,793	6,878	5,861
45	0	2,208	2,431	5,012	7,941
75	0	1,008	2,799	1,862	9,138
0	15	2,227	1,376	5,278	4,497
0	45	0,879	1,014	2,076	3,289
0	75	0,133	0,369	0,235	1,203

Model 16'da ara deprem açısı durumunda her kat için burulma katsayısı η_{bi} değeri hesaplanmış ve ara deprem açılar için 15, 45 ve 75 değerleri alınmıştır. Her açı değeri için her bir katta burulma katsayısı η_{bi} değeri, sismik analiz için zaman tanım alanında analiz (TH) yöntemi kullanılarak TBDY 2018 ve ASCE7 16'ya göre X, Y yönlerinde hesaplanmıştır. Burulma katsayısının η_{bi} değeri, maksimum göreli kat öteleme belirli (i) kattaki ortalama göreli kat öteleme bölünmesini temsil etmektedir. Elde edilen değerler ve karşılaştırma adına model 16'nın sıfır açıda burulma katsayısı değerleri η_{bi} her iki yönde de Tablo 4.4'te gösterilmektedir.

Tablo 4.4 Deprem açısına göre model 16'da burulma katsayısının η_{bi} değerleri

Yöntem	**ASCE7 16**		**TBDY 2018**		**ASCE7 16**		**TBDY 2018**	
Açı	**EX açısı 0, EY açısı 0**							
Yön	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**
5. Kat	1,018	1,013	1,020	1,010	1,018	1,013	1,020	1,010
4. Kat	1,009	1,013	1,010	1,010	1,009	1,013	1,010	1,010
3. Kat	1,010	1,015	1,010	1,020	1,010	1,015	1,010	1,020
2. Kat	1,012	1,018	1,010	1,020	1,012	1,018	1,010	1,020
1. Kat	1,016	1,020	1,020	1,020	1,016	1,020	1,020	1,020
Açı	**EX açısı 15, EY açısı 0**				**EX açısı 0, EY açısı 15**			
Yön	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**
5. Kat	1,036	1,135	1,018	1,024	1,036	1,135	1,018	1,024
4. Kat	1,019	1,131	1,009	1,024	1,019	1,131	1,009	1,024
3. Kat	1,022	1,136	1,009	1,028	1,022	1,136	1,009	1,028
2. Kat	1,031	1,138	1,012	1,032	1,031	1,138	1,012	1,032
1. Kat	1,054	1,153	1,016	1,028	1,054	1,153	1,016	1,028
Açı	**EX açısı 45, EY açısı 0**				**EX açısı 0, EY açısı 45**			
Yön	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**
5. Kat	1,040	1,140	1,018	1,024	1,041	1,153	1,018	1,024
4. Kat	1,029	1,135	1,008	1,025	1,032	1,149	1,008	1,025
3. Kat	1,033	1,141	1,010	1,028	1,035	1,154	1,010	1,028
2. Kat	1,041	1,142	1,013	1,032	1,044	1,156	1,013	1,032
1. Kat	1,063	1,153	1,018	1,028	1,067	1,164	1,018	1,028
Açı	**EX açısı 75, EY açısı 0**				**EX açısı 0, EY açısı 75**			
Yön	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**	**η_{bi} (X)**	**η_{bi} (Y)**
5. Kat	1,055	1,143	1,021	1,024	1,071	1,143	1,021	1,024
4. Kat	1,070	1,139	1,015	1,025	1,072	1,139	1,015	1,025
3. Kat	1,075	1,143	1,020	1,028	1,082	1,143	1,020	1,028
2. Kat	1,088	1,144	1,026	1,033	1,096	1,144	1,026	1,033
1. Kat	1,110	1,152	1,028	1,028	1,118	1,152	1,028	1,028

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tüm modellerin analizi tamamlandıktan ve önceki bölümlerde belirtildiği gibi bulguları gösterildikten sonra aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

Hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 yöntemlerinin ayrı ayrı kullanıldığı ve hem mod birleştirme yöntemi ile hem de zaman tanım alanında analiz yöntemi ile ayrı ayrı analiz edilen EX deprem yükü doğrultusunda (M1 ve M5) iki model dışında tüm modellerde burulmada herhangi bir düzensizlik yoktur. Bunun anlamı, binanın iki model (M1 ve M5) dışında, X yönüne göre düzenli olduğudur. (M1 ve M5) İki modelde, sadece zaman tanım alanında analiz yöntemi ve ASCE7 16 kodu kullanılarak analiz yapıldığında bina sadece birinci kata göre düzensizdir. Burulma katsayısının (ηbi) değeri birinci modelde 1,21, beşinci modelde ise 1,22'dir.

Burulma varlığı açısından, mod birleştirme yöntemine göre analiz edilen model 16'da burulma bulunmamaktadır. Yani bina tasarımında ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlarının ayrı ayrı kullanıldığı X ve Y yönleri tamamen düzenlidir. Zaman tanım alanında analiz yöntemiyle karşılaştırıldığında, (7, 8, 10, 11, 12, 13, 14,15 ve16) modellerde hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 kodları ayrı ayrı kullanılarak X ve Y yönlerinin bina burulma açısından düzenli olduğu kaydedilmiştir. Zaman tanım alanında analiz yönteme göre TBDY 2018 kodun kullanılarak (1, 2, 3) modelleri dışında incelenen tüm modellerin hepsinin Y yönünde düzenli olduğu dikkat çekmektedir. Ancak ASCE7 16 kodu kullanıldığında (1, 2, 3, 4 ve 5) modellerde EY deprem yükü yönünden binanın tüm katları ve (6 ve 9) modellerde sadece birinci katı burulma açısından düzenli değildir.

Göreli kat ötelemeleri açısından, mod birleştirme yöntemi ve ASCE7 16 koduna göre analiz edilen modeller için maksimum göreli kat öteleme değerlerinin (0,95 ile 1,36) mm arasında değiştiği fark edilmiştir. TBDY 2018 kodu kullanılırken bu değerler (2,77 ile 4,9) mm arasında değişmektedir. Yani TBDY 2018 kodundan elde edilen maksimum göreli kat ötelemelerinin değerleri, ASCE7 16 kodu kullanılırken elde edilen değerlerden % (290 ila 360) arasında değişen bir oranda daha fazladır.

Yer değiştirmeleri açısından, zaman tanım alanında analiz yöntemine göre ASCE7 16 kodu kullanılarak EX sismik yük yönünde maksimum yer değiştirmelerin değerleri (2,7 ila 4,8) mm arasında değişmektedir. Benzer şekilde EY sismik yük yönünde maksimum yer değiştirmelerin değerleri (1,3 ila 3,5) mm arasında değişmektedir. Ancak analiz TBDY 2018'e göre yapıldığında EX sismik yük yönünde maksimum yer değiştirmelerin değerleri (7,2 ila 9,9) mm ve EY sismik yük yönünde maksimum yer değiştirmelerin değerleri (4,6 ila 8,9) mm arasında değişiklik göstermektedir. Yani TBDY 2018 kodundan elde edilen maksimum yer değiştirmelerin değerleri, ASCE7 16 kodu kullanılırken elde edilen değerlerden EX yönünde % (200 ila 260) ve EY yönünde % (250 ila 350) arasında değişen bir oranda daha yüksektir. Benzer şekilde, mod birleştirme yöntemine göre analiz yapılırken ASCE7 16 kodu kullanılarak EXP sismik yük yönünde maksimum yer değiştirmelerin değerleri (3,6 ile 4,7) mm ve analiz TBDY 2018'e göre yapıldığında EXP sismik yük yönünde maksimum yer değiştirmelerin değerleri (10 ila 14, 4) arasında değişiklik göstermektedir. EXN sismik yükün yönü ise ASCE7 16 yönetmeliğine göre incelendiğinde değerleri (3,7 ile 4,9) mm arasında değişirken, TBDY 2018 yönetmeliğine göre incelendiğinde değerler (10,4 ile 15,4) mm arasında değişmektedir. EYP sismik yükün yönü ise ASCE7 16 yönetmeliğine göre incelendiğinde (1,65 ile 3,8) mm arasında değişirken, TBDY 2018 yönetmeliğine göre incelendiğinde değerler (6,5 ile 13,7) mm arasında değişmektedir. EYN sismik yükün yönü ise ASCE7 16 yönetmeliğine göre incelendiğinde (1,8 ile 5,9) mm arasında değişirken, TBDY 2018 yönetmeliğine göre incelendiğinde değerler (6,5 ile 21) mm arasında değişmektedir.

Modelleri ASCE7 16 yönetmeliğine göre incelerken hakim doğal titreşim periyodu değerlerinin X yönünde (0,43 ila 0,51) saniye ve Y yönünde (0,29 ila 0,39) saniye aralığında olduğu belirtilmektedir. Öte yandan modeller TBDY 2018 yönetmeliğine göre incelendiğinde değerler X yönünde (0,68 ile 0,76) saniye arasında, Y yönünde ise (0,47 ile 0,59) saniye arasında değişmektedir.

ASCE7 16 yönetmeliği, modellerin zaman tanım alanında analiz yöntemine göre analiz edilmesinde, 7 sismik kayıt kullanılması koşuluyla burulma katsayısının ortalama değerinin alınması veya 3 sismik kayıt kullanılması koşuluyla burulma katsayısının maksimum değerinin alınmasını gerektirir. Ortalama değer kabul

edildiğinde, yani 7 sismik kayıt kullanılarak 16 modelden 9 modelde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Ancak burulma katsayısının maksimum değeri alınırken 16 modelden sadece 2 modelde burulma olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak, kodun gerekliliklerine göre, burulma katsayısının ortalama değeri benimsenmelidir. TBDY 2018 yönetmeliği, modellerin zaman tanım alanında analiz yöntemine göre analiz edilmesinde, 11 sismik kayıt kullanılması koşuluyla burulma katsayısının ortalama değerinin alınmasını gerektirir. Ortalama değer kabul edildiğinde, 16 modelden 12 modelde burulma olmadığı tespit edilmiştir. Ancak burulma katsayısının maksimum değeri alınırken 16 modelden sadece 6 modelde burulma olmadığına dikkat çekilmektedir. Sonuçta ortalama değerler alınırken TBDY 2018 yönetmeliğine göre modellerde %75 oranında ve ASCE7 16 yönetmeliğine göre modellerde %55 oranında burulma olmadığı not edilmiştir. ASCE7 16 yönetmeliğinin izin verdiği başka bir seçenek daha vardır: sonuçların maksimum değerinin benimsenmesi durumunda, sismik kayıt sayısı üçten az olmamalıdır.

İncelemede üç kayıt alındığında 16 modelden sadece 6 modelde burulma olmadığı, yani burulma koşulunu sağlayan modellerin %37 oranında olduğu görülmüştür. Model 16'da X yönündeki ve Y yönündeki sismik açı değerleri 0º'den 15º'ye sonra 45º'ye sonra 75º'ye değiştirilerek incelenmiştir. Yer değiştirmelerin değerlerinin hem ASCE7 16 hem de TBDY 2018 kodlarına göre X ve Y yönlerinde değiştiğine dikkat çekilmektedir. Hem ASCE7 16 ve TBDY 2018 kodlara göre hem X hem de Y yönünde burulma olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, sismik yön değiştiğinde, X ve Y yönlerinde, bir katta burulma katsayısı değerinin değişmediği fark edilmiştir. Bunun nedeni, burulma katsayısının maksimum kat öteleme ile ortalama kat öteleme arasında göreli bir değer olarak alınmasıdır, kat ötelemesi ise incelenen kat ile altındaki kat arasındaki maksimum yer değiştirme farkıdır. Bu da depremin etkilediği açıdaki farkın burulma katsayısı değerini önemli ölçüde etkilemediği sonucunu vermektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuca göre, bina sistemlerinin iç akslarında yer alan rijit bölgelerin (asansör perdesi vb.) neden olduğu burulma etkisini önleyecek şekilde perde duvarların planda yerleşimleri denenerek bina tasarımı yapılmasının önemli olduğu değerlendirilmektedir.

İleriki çalışmalarda bina modelleri değiştirilerek burulma etkisinin incelenmesi önerilmektedir. Ayrıca binaların deprem risklerinin hızlı değerlendirmesinde burulmaya etki eden boyut etkisinin bir parametre olarak göz önüne alınması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] H. I. Burgan, "Numerical modeling of structural ırregularities on unsymmetrical buildings," *Technology vjesnik*, vol. 28, no. 3, s. 856-861, 2021.

[2] M. Dogan, E. Unluoglu ve H. Ozbasaran, "Earthquake failures of cantilever projections buildings," *Engineering Failure Analysis*, vol. 14, no. 8, s. 1458-1465, 2007.

[3] A. Christopher ve R. Reitherman, *Building Configuration and Seismic Design*. New York, USA: John Wiley & Sons, 1982, s. 8-30.

[4] M. De Stefano ve B. Pintucchi, "A Review of Research on Seismic Behaviour of İrregular Building Structures Since 2002," *Bulletin Earthquake Engineering*, vol. 6, no. 2, s. 285–308, 2008.

[5] A. Charleson, *Seismic Design for Architects: Outwitting the Quake*. 1st ed., Oxford, UK: Architectural Press, 2008, s. 25.

[6] G. Özmen, "Çok Katlı Yapılarda Aşırı Burulma Düzensizliği," *İMO Teknik Dergi*, vol. 15, no. 71, s. 3131-3144, Aralık 2004. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/tekderg/issue/12784/155338.

[7] M. S. Döndüren, A. Karaduman, M. T. Çöğürcü ve M. Altın, "Yapılarda burulma düzensizliği," *Journal Selcuk Techniques*, vol. 6, no. 1, s. 42–52, 2007. [online] Available at: http://sutod.selcuk.edu.tr/sutod/article/view/35/576.

[8] *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, TBDY 2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.

[9] *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, ASCE/SEI 7-16, American Society of Civil Engineers, Reston, USA, 2016.

[10] *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings*, BHRC 2800, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran, 2007.

[11] *Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures (IS 1893-Part 1)*, BIS 2002, Government of India Ministry of Earth Sciences, New Delhi, India, 2002. [Online]. Available: https://law.resource.org/pub/in/bis/S03/is.1893.1.2002.pdf.

[12] *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance — Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*, BS EN 1998-1, European Committee for tandardization, Brussels, Belgium, 2004. [Online]. Available: https://www.phd.Engineeringbr/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf.

[13] *Mexico City Building Code: Complementary Technical Norms for Earthquake Resistant Design*, Federal District Government of Mexico, 1995. [online] Available: http://iisee.kenken.go.jp/worldlist/Web/33_Mexico.htm.

[14] *Code for Seismic Design of Buildings*, GB 50011-2010, Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, Beijing, China, 2010.

[15] *Assessment and Improvement of the Structural Performance of Buildings in Earthquakes*, New Zealand Society for Earthquake Engineering, 2014.

[16] Z. Y. İlerisoy, "Discussion of the Structural Irregularities in the Plan for Architectural Design within the Scope of Earthquake Codes," *Periodica Polytechnica Architecture*, vol. 50, no. 1, s. 50-62, January 2019.

[17] M. Terzi ve H. Elçi, "Çerçeve Tipi Betonarme Yapılarda Döşeme Süreksizliklerinin Kesit Tesirlerine Etkisi," *Pamukkale University Engineering College Journal Engineering Science*, vol. 12, no. 3, s. 341–349, 2006. [online] Available at: https://www.Journalagent.com/pajes/pdfs/PAJES_12_3_341_349.pdf.

[18] T. Öztürk, "A study of the effects of slab gaps in buildings on seismic response according to three different codes," *Scientific Research and Essays*, vol. 6, no. 19, s. 3930–3941, 2011.

[19] M. Ahmed, S. Abdel Raheem, M. Ahmed ve A. Abdel-Shafy, "Irregularıty Effects On The Seısmıc Performance of L-Shaped Multı-Story Buıldıngs," *Journal Engineering Science*, vol. 44, no. 5, s. 513–536, September 2016.

[20] L. Teddy, G. Hardiman, Nuroji ve S. Tudjono, "The effect of earthquake on architecture geometry with nonparallel system irregularity configuration," IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Indonesia, 2017, vol. 99, no. 012004.

[21] T. İnan ve K. Korkmaz, "Evaluation of Structural İrregularities Based on Architectural Design Considerations in Turkey," *Structural Survey*, vol. 29, no. 4, s. 303–319, 2011.

[22] M. İnel, M. B. Ozmen ve H. Bilgin, "Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey," *Engineering Structures*, vol. 30, no. 2, s. 412-427, 2008.

[23] S. J. Kim ve A. S. Elnashai, "Characterization of Shaking İntensity Distribution and Seismic Assessment of RC Buildings for the Kashmir (Pakistan) Earthquake of October 2005," *Engineering Structures*, vol. 31,no. 11, s. 2998-3015, 2009.

[24] T. İnan ve K. Korkmaz, "Düşey Doğrultudaki Yapı Düzensizliklerinin İncelenmesi," *Erciyes University Journal Institute Science Technology*, vol. 28, no. 3, s. 240-248, 2012. Retrieved from: https://dergipark.org.tr/en/pub/erciyesfen/issue/25565/269675.

[25] V. K. Sadashiva, G. A. Macrae ve B. L. Deam, "Determination of Structural Irregularity Limits – Mass Irregularity Example," *Bulletin The New Zealand Society Earthquake Engineering*, vol. 42, no. 4, s. 288-301, 2009.

[26] S. A. Kaplan, "Dolgu Duvarların Betonarme Taşıyıcı Sistem Performansına Etkisi," *Türkiye Mühendislik Haberleri*, vol. 6, no. 452, s. 49-62, 2008.

[27] T. Guevara-Perez, "Soft-story and Weak Story in Earthquake Resistant Design: A Multidisciplinary Approach," Proc. 15th World Conference Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, September 2012, sf. 24-28.

[28] O. Öztürk, C. Aksoylu ve M. H. Arslan, "Çerçeve Türü Betonarme Binalardaki Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği Üzerine Bir İrdeleme," Burdur Earthquake & Environ. Symp., Burdur, Türkiye, Mayıs 2015. [online] Available at:

https://docplayer.biz.tr/11762592-Cerceve-turu-betonarme-binalardaki-tasiyici-sistemin-dusey-elemanlarinin-sureksizligi-uzerine-bir-irdeleme.html.

[29] Ö. F. Tekin ve M. Pala, "Taşıyıcı Sistemde Düşey Eleman süreksizliğinin sismik çarpışma anında yapı üzerine etkisi," 4th Inte. Symp. Innovative Techniques Engineering & Science, Antalya, Türkiye, Kasım 2016. [online] Available at: https://www.isites.info/PastConferences/ISITES2016/ISITES2016/papers/A1-ISITES2016ID259.pdf.

[30] J. Ambrose ve D. Vergun, *Seismic Design of Buildings*. New York, USA: John Wiley & Sons, 1985.

[31] R. Bhasker ve A. A. Menon, "A seismic fragility model accounting for torsional irregularity in low-rise non-ductile RC moment-resisting frames," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 51, no. 4, s. 912-934, April 2022.

[32] P. Usta, Z. M. Kaya ve M. Ozkahraman, "Determination of Buildings with Torsional Irregularity by Artificial Intelligence Methods," *International Journal of 3D Printing Technical Digest Industrial*, vol. 6, no. 2, s. 280-285, 2022.

[33] Ö. Onat ve P. Usta, "20 Katlı Betonarme Yapının Farklı Perde Duvar Yerleşimlerine Göre Deprem Analizi," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 25, no. 1, s. 363-369, 2021.

[34] J. Gudainiyan ve H. S. Parihar, "Analysis of the Torsional Irregularity as per IS 1893 (Part 1): 2016 and IS 1893 (Part 1): 2002," InIOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1116, no. 1, April 2021, sf. 01-10.

[35] L. Suci ve J. Arturo, "Seismic Analysis And Structural Design Of A Four-Story Corner Reinforced Concrete Building And A Semi-Basement With Torsional Problem," M.S. thesis, Fac. Engineering, Peruvian. University Appl. Science, Peru, 2020.

[36] F. Aliakbari, S. Garivani ve A. Shahmari, "Determination of torsional irregularity in response spectrum analysis of building structures," *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 74, no. 5, s. 699-709, January 2020.

[37] Ö. Ulusoy, "Betonarme Yüksek Yapıların TDY'ne Göre Plan Düzensizliklerinin Örnek Yapılarla İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2019.

[38] R. A. Izadıfard ve S. B. Adıbzadeh, "Elımınatıng The Couplıng Beams Of Upper Storıes In Torsıonal Irregular Mıd-Rıse Rc-Coupled Shear Wall Structures," 8th International Conference Seismol. and Earthquake Engineering, November 2019. [Online]. Available: http://www.iiees.ac.ir/see8/SEE8-SM04030295.pdf.

[39] B. Ayar, "Yapıların Burulma Düzensizliği ve Depremin Doğrultuları Arasındaki İlişki," Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2019.

[40] A. Mesut, "Betonarme Yapılarda A1 Düzensizlik Durumunun Değişik Deprem Bölgelerinde Araştırılması Yorulmaz," Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2018.

[41] S. L. Jikamo, "Torsional Behavior of Multistory Plan Asymmetric RC Building Under Seismic Load," M.S Thesis, Addıs Ababa University , Addıs Ababa Institute of Technology, Addis Ababa, Ethiopia, April 2018.

[42] Ö. Çavdar, A. Çavdar ve E. Bayraktar, "Earthquake performance of reinforced-concrete shear-wall structure using nonlinear methods," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 32, no. 1, 2018.

[43] M. A. Kewalramani ve Z. I. Syed, "Seismic analysis of torsional irregularity in multi-storey symmetric and asymmetric buildings," *Eurasian Journal Analytical Chemistry*, vol. 13, no. 3, s. 286-292, April 2018. [Online]. Available: http://www.eurasianjournals.com/Seismic-Analysis-of-Torsional-Irregularity-in-nMulti-Storey-Symmetric-and-Asymmetric,108871,0,2.html.

[44] A. Satheesh, B. R. Jayalekshmi ve K. Venkataramana, "Torsional behavior of plan asymmetric shear wall buildings under earthquake loading," in 2nd International Conference Architecture Materials Construction Engineering, 2018, sf. 84-90.

[45] A. Adarsh ve S. V. Rajeeva, "Seismic Analysis of Multi-storey Reinforced Concrete Building having Torsional Irregularity," *International Journal Research Engineering and Technology*, vol. 6, no. 9, s. 53-59, 2017.

[46] P. Prasad ve S. Mallesh, "Torsıonal Behavıor Of RC Buıldıng Structures Under Earthquake Loadıng," 16th World Conference Earthquake Engineering, Santiago, Chile, January 2017.

[47] E. Suci, "Burulma Düzensizliği Bulunan Betonarme Yapıların Statik İtme Analizi ile Yapı Performansının Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2016.

[48] H. Erdem, "Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 31, no. 1, s. 459-468, Haziran 2016.

[49] M. Ahmed, S. Abdel Raheem, M. Ahmed ve A. Shafy, "Irregularıty Effects On The Seısmıc Performance of L-Shaped Multı-Story Buıldıngs," *Journal Engineering Science*, vol. 44, no. 5, s. 513-536, September 2016.

[50] A. T. Jereen, S. Anand ve B. Issac, "Seismic Evaluation of Buildings with Plan Irregularity," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 857, no. 1, s. 225-230, 2016.

[51] R. Thaskeen ve S. Shajee, "Torsional Irregularity of Multi-storey Structures," *International Journal Innovative Research Science, Engineering Technology*, vol. 5, no. 9, s. 2319-8753, 2016. [Online]. Available at: http://www.ijirset.com/upload/2016/september/50_9_Torsional.pdf.

[52] S. H. Helou ve R. Awad, "Seismic Analysis of a Masonry Reinforced Concrete Shear Wall Building with Severe Architectural Irregularity A Colloquial Discourse," *International Journal Research Analytical Reviews*, vol. 3, no. 1, s. 39-48, February 2016. Available at: https://staff-eta.najah.edu/media/published_research/2018/06/06/ijrar_issue_253 .pdf.

[53] L. Kwang-Ho, J. Seong-Hoon, H. Seongwoo ve K. S. Kim, "The effect of various design codes and dynamic magnification on buildings with torsional irregularity," *Journal Vibro Engineering*, vol. 18, no. 3, s. 1631-1638, September 2016.

[54] Ö. Boztaş, "Burulma Düzensizliğine Sahip Betonarme Çerçeveli Taşıyıcı Sistemlerin Performansına Dolgu Duvarların Etkisinin Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.

[55] M. R. Sultan ve D. G. Peera, "Dynamic Analysis Of Multi-storey building for different shapes," *International Journal Innovative Research Advanced Engineering*, vol. 2, August 2015.

[56] R. J. Arvindreddy ve M. Fernandes, "Seismic analysis of RC regular and irregular frame structures," *International Research Journal Engineering Technology*, vol. 2, no. 5, s. 44-47, 2015.

[57] V. Gupta ve P. S. Pajgade, "Torsional Behavior of Multistorey Buildings with Different Structural Irregularities -a review," *International Journal Research Engineering Science Technology*, vol. 1, no. 8, s.168-173, 2015.

[58] O. A. Mohamed ve O. A. Abbass, "Consideration of torsional irregularity in Modal Response Spectrum Analysis," *Proceedings of Earthquake Resistant Engineering Structures X*, vol. 152, s. 209-218, 2015.

[59] T. Öztürk, Z. Öztürk ve O. Öztürk, "Seismic behavior Analysis Of Multi-Story Reinforced Concrete Buildings Having Torsional Irregularity," *Challenge Journal Structural*, vol. 1, no. 1, 2015.

[60] E. Kalkan ve J. C. Reyes ,"Significance of Rotating Ground Motions on Behavior of Symmetric- and Asymmetric-Plan Structures: Part II. Multi-Story Structures," *Earthquake Spectra*, vol. 31, no. 3, s. 1613-1628, 2015.

[61] S. Varadharajan, V. K. Sehgal ve B. Saini, " Seismic behavior of multistory RC building frames with vertical setback irregularity," *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 23, no. 18, s. 1345-1380, 2014.

[62] S. N. Suryawanshi, S. Kadam ve S. Tande, "Torsional Behaviour of Asymmetrical Buildings in Plan under Seismic Forces," *International Journal Emerging Engineering Research Technology*, vol. 2, no. 4, s. 170-176, July 2014. Available at: http://www.ijeert.org/pdf/v2-i4/22.pdf.

[63] S. G. Maske ve P. S. Pajgade, "Torsional Behaviour of Asymmetrical Buildings," *International Journal Modern Engineering Research*, vol. 3, no. 2, 2013. Available at: https://www.academia.edu/3488437/Torsional_Behaviour_of_Asymmetrical_Buildings.

[64] M. G. Gezmiş, "Planda Taşıyıcı Sistemi Düzenli ve Düzensiz Olan Betonarme İki Yapının Davranışının İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.

[65] G. Özmen, "Deprem Yönetmeliklerindeki Burulma Düzensizliği Koşulları," *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, vol. 472, no. 2, s. 52-64, 2012. Available at: https://hatay.imo.org.tr/Eklenti/552,deprem-yonetmeliklerindeki-burulma-duzensizligi-kosullaripdf.pdf.

[66] A. Demir, M. Bağcı ve D. D. Demir, "Mevcut Betonarme Hastane Binasının Farklı Zemin Sınıflarında Burulma Davranışı," *Celal Bayar University Journal Science*, vol. 7, no. 1, s. 17-27, Mart 2011. Retrieved from: https://dergipark.org.tr/en/pub/cbayarfbe/issue/4051/53387.

[67] V. H. Akansel, "Fragılıty of a Shear Wall Buıldıng wıth Torsıonal Irregularıty," M.S. Thesis, Mıddle East Technıcal Unıversıty, The Graduate School Of Natural And Applıed Scıences, Ankara, 2011.

[68] B. Yön, M. E. Öncü ve E. Sayın, "Binalardaki Burulma Düzensizliğinin Farklı Zemin Sınıflarına Göre Değerlendirilmesi," *Celal Bayar University Journal Science*, vol. 6, no. 1, s. 19-32, Mart 2010. Retrieved from: https://dergipark.org.tr/en/pub/cbayarfbe/issue/4049/53371.

[69] O. Doğan ve Ş. B. Er, "Hareketli Yük Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisinin İncelenmesi," *International Journal Engineering Research Develop.*, vol. 2, no. 2, s. 57-60, 2010. Retrieved from : https://dergipark.org.tr/tr/pub/umagd/issue/31720/345727.

[70] T. Uçar ve O. Merter, "Planda Perde Yerleşiminin Betonarme Perde-Çerçeveli Binaların Deprem Davranışına Etkisi," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 11, no. 2, s. 11-18, Mayıs 2009. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/pub/deumffmd/issue/40852/493241.

[71] K. Soyluk ve İ. Y. Yavuz, "Çerçeveli Binalarda Bodrum Kat İstinat Duvarlarının Burulma Düzensizliğine Etkisi," *Teknik Dergi*, vol. 20, no. 97, s. 4653-4673, Şubat 2009.

[72] A. Demir ve D. Dönmez, "Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler," *Celal Bayar University Journal Science*, vol. 4, no. 1, s. 31-36, Mart 2008.

[73] R. G. Herrera ve C. G. Soberon, "Influence of plan irregularity of buildings," In14th World Conference Earthquake Engineering, Beijing, China, October 2008.

[74] N. Özhendekci ve Z. Polat, "Torsional irregularity of buildings," In14th World Conference Earthquake Engineering, Beijing, China, October 2008.

[75] A. B. Rigato, "ınfluence of angle of ıncıdence on the seısmıc demands for ınelastıc structures subjected to bı-dırectıonal ground motıons," DPh Thesis, University of Maryland, the Faculty of the Graduate School, Maryland, 2007.

[76] M. S. Döndüren, A. Karaduman ve M. T. Çöğürcü, "Yapılarda Burulma Düzensizliği," *Selçuk-Teknik Dergisi*, vol. 6, no.1, s. 42-52, 2007.

[77] A. B. Rigato ve R. A. Medina, "Influence of angle of incidence on seismic demands for inelastic single-storey structures subjected to bi-directional ground motions," *Engineering Structures*, vol. 29, no. 10, s. 2593-2601, October 2007.

[78] G. Özmen, "Ortogonal Olmayan Yapılarda Maksimum Donatı Oranlarının Tayini," *Teknik Dergi*, vol. 16, no. 76, Mayıs 2005.

[79] P. Fajfar, D. Marusıc ve I. Perus, "Torsıonal Effects in The Pushover-Based Seısmıc Analysıs of Buıldıngs," *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 9, no. 6, s. 831-854, 2005.

[80] J. Humar, S. Yavari ve M. Saatcioglu, "Design for forces induced by seismic torsion," *Canadian Journal Civil Engineering*, vol. 30, no. 2, s. 328-337, April 2003.

[81] G. Özmen, "Rijitlik Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi," *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, vol. 411, no. 1, s. 37-40, 2001.

[82] A. S. Moghadam ve W. K. Tso, "Extension of Eurocode 8 Torsional Provisions To Multi-Storey Buildings," *Journal Earthquake Engineering*, vol. 4, no. 1, s. 25-41, 2000.

[83] B. Stonehouse, A. C. Heidebrect ve M. R. Kianoush, "Evaluation of the Level of Seismic Protection Afforded to Reinforced Concrete Shear Wall System," *Canadian Journal Civil Engineering*, vol. 26, no. 5, s. 572-589, October 1999.

[84] S. H. Helou ve I. Muhammad, "Equivalent Lateral Load Method vs. Response Spectrum Analysis Which Way is Forward," *Asian Journal Engineering Techniques*, vol. 02, no. 05, October 2014.

[85] M. S. Suryawanshi, S. Kadam ve S. Tande, "Torsional Behaviour of Asymmetrical Buildings in Plan under Seismic Forces," *International Journal Emerging Engineering Research Techniques*, vol. 2, no. 4, July 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Haje Mohammed, Berevan

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Lisans	Şam Üniversitesi	2018
Lise	Mişel Saliba kız lisesi/Kamışlı Suriye	2012

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket / Kurum	Görev

Yabancı Dil

İgilizce, Arapça

Yayınlar

1.
2.
3.
4.

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Berevan Haje Mohammed		
Öğrenci No	19806204		
Ana Bilim Dalı	Yapı Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Doç. Dr. Mehmet Emin Öncü		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonra		
Sayfa Sayısı	145		
Raporlama Tarihi	22.03.2023		
Benzerlik Oranı (%)	20		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 145 sayfalık kısmına ilişkin, 22.03.2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *WeTransfer* isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 20 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:
☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☐Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☒Diğer (her şey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir,
gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Berevan Haje Mohammed
Tarih: 23.03.2023
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Doç. Dr. Mehmet Emin Öncü İmza:
Tarih: 23.03.2023

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Z. Fuat Toprak İmza:
Tarih: 23.03.2023