T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TABAN YALITIMLI BİNALARDA TABAN YALITIM SİSTEMİ ve ÜSTYAPININ AYRIK DEPREM ANALİZİ

Burak YILMAZ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Cenk ALHAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 07.10.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Cenk ALHAN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Barış SAYIN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Dr.Öğr.Üyesi Gökhan YAZICI
İstanbul Kültür Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasını yöneten, akademik çalışmalar ve mesleğimle ilgili ufkumu açan, mühendisçe düşünmemi sağlayan, tez süresince ve yüksek lisans eğitimim boyunca rehberliği ile bana yol gösteren, teşvik edici, sabırlı ve anlayışlı tavrı ile üzerimde büyük emekleri olan değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Cenk ALHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca yardımlarından dolayı Arş. Gör. Dr. Hatice GAZİ ve Arş. Gör. Zafer KANBİR hocalarıma müteşekkirim.

Mühendislik yaşamımda bilgi ve tecrübesi ile bana destek olan, birlikte çalışma fırsatı bulduğum değerli büyüğüm Rafael ALALUF'a, çalışmamla ilgili konularda yardımını esirgemeyen EQRM International'a teşekkür eder, sevgi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak, tez sürecinde olduğu gibi tüm eğitim, iş ve özel hayatım boyunca her zaman yanımda olan, fikirlerime ve kararlarıma saygı duyup destekleyen, her türlü imkanı sağlayan ve desteğini hiçbir konuda esirgemeyen Annem Sabahat İŞTEMİ'e, yoğun çalışma temposunda ve motivasyonumun azaldığı zamanlarda bana destek olup yol gösteren, çalışmaya teşvik eden çok sevdiğim ablam Deniz YILMAZ'a ve kıymetli teyzem Sevil ERARSLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2019 Burak YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **4**
2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
2.2. İZOLASYON SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ 7
2.2.1. İzolasyon Sistemi Parametreleri 7
2.2.1.1. İzolasyon Periyodu 7
2.2.1.2. Akma Sonrası Rijitliği 7
2.2.1.3. Karakteristik Kuvvet 7
2.2.1.4. Akma Öncesi Rijitliği 7
2.2.1.5. Akma Sonrası Rijitliğin Akma Öncesi Rijitliğe Oranı 8
2.2.1.6. Akma Kuvveti 8
2.2.2. SAP2000 Yazılımında Sismik İzolasyon Sisteminin Modellenmesi ve Analizi 8
2.2.2.1. İzolasyon Sisteminin Modellenmesi 8
2.2.2.2. Analiz Yönteminin Seçilmesi 9
2.2.2.3. Deprem Kayıtlarının Yazılıma Tanımlanması 12
2.2.3. 3DBASIS Yazılımında Sismik İzolasyon Sisteminin Modellenmesi ve Analizi 12
2.3 DEPREM KAYITLARI 13
3. MALZEME VE YÖNTEM **16**
3.1. ÜSTYAPI MODELİ 16
3.2. TABAN ANKASTRE BİNALARIN MODELLENMESİ VE MODAL ANALİZLERİ 19

3.3. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMİ 22
3.4. SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN MODELLENMESİ 26
3.4.1. SAP2000 Yazılımında Tam Üç Boyutlu Modelleme 26
3.4.2. 3DBASIS Yazılımında Yaklaşık/Eşlenik Modelleme 28
3.5. SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN ANALİZİ İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ YÖNTEM 31
4. BULGULAR 38
4.1. ÜÇ KATLI BİNA İÇİN ANALİZ SONUÇLARI 42
4.1.1. Kat Deplasmanları 42
4.1.1.1. Yakın Fay Kat Deplasmanları 42
4.1.1.2. Uzak Fay Kat Deplasmanları 49
4.1.2. Kat İvmeleri 56
4.1.2.1. Yakın Fay Kat İvmeleri 56
4.1.2.2. Uzak Fay Kat İvmeleri 63
4.1.3. Kat Kesme Kuvvetleri 70
4.1.3.1. Yakın Fay Kat Kesme Kuvvetleri 70
4.1.3.2. Uzak Fay Kat Kesme Kuvvetleri 77
4.2. SEKİZ KATLI BİNA İÇİN ANALİZ SONUÇLARI 84
4.2.1. Kat Deplasmanları 84
4.2.1.1. Yakın Fay Kat Deplasmanları 84
4.2.1.2. Uzak Fay Kat Deplasmanları 86
4.2.2. Kat İvmeleri 88
4.2.2.1. Yakın Fay Kat İvmeleri 88
4.2.2.2. Uzak Fay Kat İvmeleri 90
4.2.3. Kat Kesme Kuvvetleri 92
4.2.3.1. Yakın Fay Kat Kesme Kuvvetleri 92
4.2.3.2. Uzak Fay Kat Kesme Kuvvetleri 94
4.3. KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMELER 96
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 102
KAYNAKLAR 104
ÖZGEÇMİŞ 108

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: X ve Y yönü için izolatör özelliklerinin girilmesi. 9

Şekil 2.2: Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz tipi olarak Fast Nonlineer (FNA) analiz tanımlanması. 10

Şekil 2.3: Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz tipi olarak Nonlineer Direct Integration analizi tanımlanması. 10

Şekil 2.4: FNA için mod tipi seçimi. 11

Şekil 2.5: FNA için sönüm tanımlanması. 11

Şekil 2.6: Nonlineer Direct Integration analizi için sönüm tanımlanması 11

Şekil 3.1: 3 ve 8 katlı binalar için ortak kat planı (Alhan ve Sürmeli, 2011). 17

Şekil 3.2: 3 ve 8 katlı binaların kesitleri (a) Kolon kesiti (b) T-iç kiriş kesiti (c) L-dış kiriş kesiti (Saifullah ve Alhan, 2017). 17

Şekil 3.3: 3 katlı taban ankastre bina düşey görünüşü. 18

Şekil 3.4: 8 katlı taban ankastre bina düşey görünüşü. 18

Şekil 3.5: SAP2000 yazılımında modellenen 3 ve 8 katlı taban ankastre binaların üç boyutlu görünüşleri (a) 3 katlı bina (b) 8 katlı bina. 19

Şekil 3.6: 3 katlı taban ankastre binanın mod şekilleri (a) birinci mod ötelenme (b) ikinci mod ötelenme (c) üçüncü mod burulma. 20

Şekil 3.7: 8 katlı taban ankastre binanın mod şekilleri (a) birinci mod ötelenme (b) ikinci mod ötelenme (c) üçüncü mod burulma. 21

Şekil 3.8: 3 katlı sismik izolasyonlu bina düşey görünüşü. 24

Şekil 3.9: 8 katlı sismik izolasyonlu bina düşey görünüşü. 24

Şekil 3.10: SAP2000 yazılımında modellenen 3 ve 8 katlı sismik izolasyonlu binaların üç boyutlu çizgisel görünüşleri. 25

Şekil 3.11: İzolatörlerin yerleşim planı. 25

Şekil 3.12: Link elemanların ve özelliklerinin tanımlanması. 27

Şekil 3.13: Hesaplanan link eleman parametrelerinin girilmesi (x ve y yönleri) 27

Şekil 3.14: 3DBASIS yazılımı girdi parametreleri. 30

Şekil 3.15: Üç katlı sismik izolasyonlu binanın tam üç boyutlu modelinin şematik görünüşü. Model, temel seviyesinde yer ivmesi-zaman (a_g-t) kaydına maruz kalmaktadır: Yöntem A. 31

Şekil 3.16: Üç katlı bina üstyapısının tam üç boyutlu taban ankastre modelinin şematik görünüşü. Model, temel seviyesinde yer ivmesi kayıtlarının %5 sönümlü ivme spektrumlarına (S_{ag} – T) maruz kalmaktadır: Yöntem C. 32

Şekil 3.17: Taban katı üzerinde yükselen üstyapı kısmının üç serbestlik dereceli tek bir kat olarak modellendiği sismik izolasyonlu model. 33

Şekil 3.18: Deprem etkisi altında toplu üstyapı kütlesine sahip tek katlı yaklaşık sismik izolasyonlu sistem modeli. Model, temel seviyesinde yer ivmesi-zaman (a_g-t) kaydına maruz kalmaktadır: Yöntem B – Aşama 1. 34

Şekil 3.19: Taban katı ivme-zaman kaydından (a_b-t) taban katı tepki spektrumu (S_{ab}-T) elde edilmesi: Yöntem B – Aşama 2. 34

Şekil 3.20: Seismosignal yazılımı genel görünüşü- 1/2 (SEISMOSOFT, 2019). 35

Şekil 3.21: Seismosignal yazılımı genel görünüşü- 2/2 (SEISMOSOFT, 2019). 35

Şekil 3.22: Üç katlı bina üstyapısının tam üç boyutlu taban ankastre modelinin şematik görünüşü. Model, temel seviyesinde taban katı tepki spektrumuna (%5 sönümlü S_{ab} – T) maruz kalmaktadır: Yöntem B – Aşama 3. 36

Şekil 3.23: Spektral ivme grafiği. Yöntem B grafikleri, üç katlı sismik izolasyonlu model (Q/W=%5, T_0=2s) için elde edilmiştir. Yöntem C grafikleri yer ivmesi kayıtlarına ait olup azaltma katsayısı değeri olarak dikkate alınan 4'e bölünmüştür. 37

Şekil 4.1: 3 katlı bina için örnek yakın ve uzak fay depremleri altında taban deplasman grafikleri. 40

Şekil 4.2: 8 katlı bina için örnek yakın ve uzak fay depremleri altında taban deplasman grafikleri. 41

Şekil 4.3: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A deplasman oranları. 45

Şekil 4.4: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A deplasman oranları. 46

Şekil 4.5: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları. 47

Şekil 4.6: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama deplasman oranları. 48

Şekil 4.7: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A deplasman oranları. 52

Şekil 4.8: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A deplasman oranları. 53

Şekil 4.9: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları. 54

Şekil 4.10: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama deplasman oranları. 55

Şekil 4.11: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ivme oranları. 59

Şekil 4.12: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A ivme oranları. 60

Şekil 4.13: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları. 61

Şekil 4.14: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama ivme oranları. 62

Şekil 4.15: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ivme oranları. 66

Şekil 4.16: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A ivme oranları. 67

Şekil 4.17: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları. 68

Şekil 4.18: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama ivme oranları. 69

Şekil 4.19: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A kesme kuvveti oranları..... 73

Şekil 4.20: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranları..... 74

Şekil 4.21: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları. 75

Şekil 4.22: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları. 76

Şekil 4.23: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A kesme kuvveti oranları..... 80

Şekil 4.24: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranları..... 81

Şekil 4.25: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları. 82

Şekil 4.26: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları. 83

Şekil 4.27: 8 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait deplasman oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama deplasman oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A..... 85

Şekil 4.28: 8 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait deplasman oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama deplasman oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A..... 87

Şekil 4.29: 8 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait ivme oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama ivme oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A. 89

Şekil 4.30: 8 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait ivme oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama ivme oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A. 91

Şekil 4.31: 8 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait kat kesme kuvveti oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama kat kesme kuvveti oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A. 93

Şekil 4.32: 8 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait kat kesme kuvveti oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama kat kesme kuvveti oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A. 95

Şekil 4.33: 3 katlı QW7.5T04 binalar için yakın fay depremleri altında ortalama oranlar: (a) Deplasman, (b) İvme, (c) Kesme Kuvveti..... 98

Şekil 4.34: 3 katlı QW7.5T04 binalar için yakın fay depremler altında standart sapma değerleri: (a) Deplasman, (b) İvme, (c) Kesme Kuvveti..... 99

Şekil 4.35: 3 katlı QW7.5T04 binalar için uzak fay depremleri altında ortalama oranlar: (a) Deplasman, (b) İvme, (c) Kesme Kuvveti..... 100

Şekil 4.36: 3 katlı QW7.5T04 binalar için uzak fay depremler altında standart sapma değerleri: (a) Deplasman, (b) İvme, (c) Kesme Kuvveti..... 101

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Yakın fay deprem kayıtları (PEER, 2019)..... 14

Tablo 2.2: Uzak fay deprem kayıtları (PEER, 2019)..... 15

Tablo 3.1: Yapı elemanlarının kesit bilgileri (Saifullah ve Alhan, 2017)..... 17

Tablo 3.2: 3 ve 8 katlı taban ankastre binaların modal periyot değerleri..... 19

Tablo 3.3: İzolasyon sistemi parametreleri. 23

Tablo 4.1: Farklı yöntemler ile yakın fay depremleri altında elde edilen kat deplasmanları – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli. *..... 44

Tablo 4.2: Farklı yöntemler ile uzak fay depremleri altında elde edilen kat deplasmanları – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli. *..... 51

Tablo 4.3: Farklı yöntemler ile yakın fay depremleri altında elde edilen kat ivmeleri – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli..... 58

Tablo 4.4: Farklı yöntemler ile uzak fay depremleri altında elde edilen kat ivmeleri – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli..... 65

Tablo 4.5: Farklı yöntemler ile yakın fay depremleri altında elde edilen kat kesme kuvvetleri – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli. 72

Tablo 4.6: Farklı yöntemler ile uzak fay depremleri altında elde edilen kat kesme kuvvetleri – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli. 79

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

α : Rijitlik orantılı sönüm katsayısı

α : Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı

a : Maksimum toplam ivme (Üstyapı İvmesi)

$\mathbf{a_g}$: Temel seviyesinde deprem yer ivmesi

$\mathbf{a_b}$: Taban katına ait ivme

b : Kesit genişliği

$\mathbf{b_w}$: Kesit gövde genişliği

$\mathbf{c_b}$: İzolasyon sistemi sönüm katsayısı

$\mathbf{C_{eff}}$: Eşdeğer (efektif / etkin) sönüm katsayısı

$\mathbf{c_s}$: Üstyapı sönüm katsayısı

$\mathbf{D_y}$: Akma deplasmanı

$\mathbf{d_x}$: Yapının x yönü uzunluğu

$\mathbf{d_y}$: Yapının y yönü uzunluğu

$\mathbf{F_y}$: Akma kuvveti

g : Yerçekimi ivmesi

h : Kesit yüksekliği

$\mathbf{h_f}$: Kesit başlık kalınlığı

$\mathbf{K_1}$: Akma öncesi (başlangıç / birincil) rijitliği

$\mathbf{K_2}$: Akma sonrası (ikincil) rijitliği

$\mathbf{k_{eff}}$: Efektif rijitlik

$\mathbf{k_b}$: İzolasyon sistemi rijitliği

$\mathbf{k_s}$: Üstyapı yaklaşık temsili toplam rijitliği

$\mathbf{k_{sx}}$: X yatay yönü üstyapı rijitliği

$\mathbf{k_{sy}}$: Y yatay yönü üstyapı rijitliği

$\mathbf{k_Q}$: Dönme rijitliği

M : Yapı toplam kütlesi

m : Kat kütlesi

$\mathbf{m_b}$: Taban katı (izolasyon sistemi) kütlesi

$\mathbf{M_{bQ}}$: İzolasyon katı dönel kütlesi

$\mathbf{M_s}$: Üstyapı toplam kütlesi

$\mathbf{M_{sQ}}$: Üstyapı dönel kütlesi

$\mathbf{M_Q}$: Dönme kütlesi

$\mathbf{M_W}$: Deprem büyüklüğü

N : Bina toplam kat sayısı

r : Deprem kaydının faya olan uzaklığı

$\mathbf{S_a}$: Spektral ivme

$\mathbf{S_{ag}}$: Yer ivmesi spektrumu

$\mathbf{S_{ab}}$: Taban katı tepki ivme spektrumu

T : Ankastre yapı doğal periyodu

t : Zaman

$\mathbf{T_a}$: Ankastre bina tahmini periyodu (Üstyapı yaklaşık periyodu)

$\mathbf{T_Q}$: Dönme periyodu

$\mathbf{T_0}$: İzolasyon periyodu

$\mathbf{T_1}$: Yapının 1.doğal titreşim periyodu

$\mathbf{T_2}$: Yapının 2.doğal titreşim periyodu

$\mathbf{T_3}$: Yapının 3.doğal titreşim periyodu

$\mathbf{U_1}$: İzolatör z düşey yönü

$\mathbf{U_2}$: İzolatör x yatay yönü

$\mathbf{U_3}$: İzolatör y yatay yönü

W : Yapı toplam ağırlığı

Q : Karakteristik kuvvet

Q/W : Binanın ağırlığı ile normalize edilmiş karakteristik kuvvet

$\boldsymbol{\delta_s}$: Üstyapı sönüm oranı

Kısaltmalar	Açıklama
ASCE 7/16	: Amerikan Deprem Yönetmeliği (American Society of Civil Engineers /Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures)
DOF	: Serbestlik Derecesi (Degree of Freedom)
EC8	: Eurocode 8
FNA	: Hızlı Nonlineer Analiz (Fast Nonlinear Analysis)
FULL3D	: Tam Üç Boyutlu (Full 3 Dimensional)
HDRB	: Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör (High Damping Rubber Bearing)
KM	: Kütle Merkezi
LDRB	: Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatör (Low Damping Rubber Bearing)
LRB	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör (Lead Rubber Bearing)
NGA	: Next Generation of Ground-Motion Attenuation Models
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Centre
PGA	: Pik Yer İvmesi (Peak Ground Acceleration)
PGD	: Pik Yer Deplasmanı (Peak Ground Displacement)
PGV	: Pik Yer Hızı (Peak Ground Velocity)
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
UBC	: Uniform Building Code
UFD	: Uzak Fay Depremi
YFD	: Yakın Fay Depremi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TABAN YALITIMLI BİNALARDA TABAN YALITIM SİSTEMİ ve ÜSTYAPININ AYRIK DEPREM ANALİZİ

Burak YILMAZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cenk ALHAN

Yapıların depremlerin olumsuz etkilerine karşı korunmalarında gelişmiş bir teknoloji olan taban yalıtımının kullanımı hem Türkiye'de hem de dünyada giderek artmaktadır. Taban yalıtımlı binaların taban yalıtım sistemlerinde doğrusal olmayan histeretik davranış gösteren yalıtım elemanları kullanılmakta olup, hem dünyadaki pratik uygulamalarda hem de diğer yürürlükteki deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, Türk Bina Deprem Yönetmeliği'nde (2018) bu tür binaların deprem analizlerinin gerçek veya üretilmiş deprem kayıtlarının kullanıldığı zaman tanım alanında analiz yöntemi ile yapılması prensibi benimsenmiştir. Ancak, taban yalıtım sistemi ile üstyapının bütünleşik modelinin kullanıldığı bu analizler uzun ve zahmetli olup tasarım süresini uzatabilmektedir. Bu tez çalışmasında, üstyapı ön tasarımını hızlandıracak ve izolasyon sistemi ön tasarımı için hızlı analiz sonuçları verecek basitleştirilmiş bir analiz yöntemi olarak taban yalıtım sistemi ve üstyapının ayrık modelleri üzerinde ayrık deprem analizlerinin yapılması önerilmektedir. Buna göre, öncelikle taban yalıtım sisteminin zaman tanım alanında analizi, üzerinde detaylı üstyapı modeli olmadan gerçekleştirilmekte olup bu analiz sonucunda elde edilecek tepki spektrumu kullanılarak da taban ankastre olarak modellenecek olan üstyapının spektral analizi gerçekleştirilmektedir. Önerilen bu yaklaşık yönteme Yöntem B adı verilmiştir. Tez kapsamında Yöntem B'nin etkinliğinin irdelenebilmesi amacı ile iki yöntem daha ele alınmıştır. Taban yalıtımlı binaların nihai tasarımları için kullanılan ve gerçek durumu yansıtan ortak modelin doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinin yapıldığı yöntem, Yöntem A olarak isimlendirilmiştir. Pratik uygulamalarda mevcut durumda kullanılan ve sadece üstyapının taban ankastre modelinin kullanıldığı yönteme

ise Yöntem C ismi verilmiştir. Yapılan parametrik analizlerle bu tez kapsamında önerilen Yöntem B'nin, etkinliği diğer iki yönteme göre karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur.

Ekim 2019, 123 sayfa.

Anahtar kelimeler: Sismik İzolasyon, Deprem Mühendisliği, Zaman Tanım Alanı Analizi

SUMMARY

M.Sc. THESIS

UNCOUPLED EARTHQUAKE ANALYSIS of the SEISMIC ISOLATION SYSTEM and the SUPERSTRUCTURE in BASE-ISOLATED BUILDINGS

Burak YILMAZ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Cenk ALHAN

Use of base isolation, which is an advanced technology for protecting structures from harmful effects of earthquakes, is increasing both in Turkey and globally. Isolation elements exhibiting non-linear hysteretic behavior are used in base isolation systems of base-isolated buildings and, as in other practical applications and current earthquake regulations, the new Turkish Building Earthquake Code also adopted the principle of analyzing such buildings in time domain by making use of real or synthetic eathquake records. However, these analyses where integrated model of base isolation system and superstructure used are long and laborious and can extend design time of superstructure. In this thesis, a simplified analysis method, which will accelerate the superstructure and isolation system preliminary design, is proposed to perform uncoupled earthquake analysis of base isolation system and superstructure. Accordingly, first, the time history analysis of the base isolation system is carried out without a detailed superstructure model and the spectral analysis of the superstructure is realized by using the response spectrum obtained as a result of this analysis. This proposed approximate method is called Method B. Within the scope of the thesis, two other methods were considered to examine the effectiveness of Method B. The method, used for the final design of base isolated buildings and non-linear time history analysis of the common model reflecting the real situation, is called Method A. In practice, the method used in the present case and using only the fixed model of the superstructure is called Method C. The effectiveness of this proposed method has been compared with the other two methods by parametric analyses.

October 2019, 123 pages.

Keywords: Seismic Isolation, Earthquake Engineering, Time History Analysis

1. GİRİŞ

Dünyada son 15 yıllık dönemde Peru, Çin, Endonezya, Haiti, Şili, Japonya, Türkiye, Pakistan, Nepal, Afganistan, Ekvador, Meksika, Irak depremleri meydana gelmiş ve çok sayıda can kaybı olmuştur. Bu depremler can kayıpları ile birlikte birçok hasarı da beraberinde getirmektedir. Bu durum, can ve mal kayıplarını azaltmak için depreme dayanıklı yapı tasarımının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Sismik izolasyon (taban yalıtımı), etkin deprem kuvvetlerini azaltarak yapıda meydana gelen hasarları azaltır. Yapıların, depremlerin zararlı etkilerine karşı korunmalarında gelişmiş bir teknoloji olan sismik izolasyon kullanımı hem Türkiye'de hem de dünyada giderek artmaktadır. Örneğin; İtalya sismik izolasyonlu bina sayısı bakımından dünyada dördüncü ülke olup 2013 yılına kadar 400'den fazla sismik izolasyonlu yapı yapılmıştır. İtalya'daki ilk modern sismik izolasyon uygulaması 1976 yılında Udine-Tarvisio otoyolunun Somplago Viyadüğü'dür. İlk sismik izolasyonlu bina ise 1981 yılında Napoli'deki itfaiye binasıdır. San Giuliano di Puglia'da yer alan Yeni Francesco Jovine Okulu sismik izolasyon ile tasarlanmış İtalya'daki ilk okuldur. (Clemente ve Martelli, 2019). Japonya sismik izolasyon konusunda lider ülkedir. İlk izolasyonlu yapı 1983 yılında yapılmıştır (Kani ve diğ., 2006). Çin'de modern sismik izolasyonlu yapı uygulamaları 1991 yılında başlamıştır. Rusya Federasyonu'nda 600'ün üzerinde sismik izolasyonlu uygulama yapılmıştır. Sochi'deki yeni Sea Plaza Hotel önemli sismik uygulamalardan biridir (Martelli ve Forni, 2011). Bunlara ek olarak, ülkemizde de sismik izolasyon kavramı gitgide benimsenip kabul görmüştür ve mevcut durumda deprem bölgelerindeki hastaneler sismik izolasyonlu olarak inşa edilmektedir. Türkiye'de sismik izolasyon teknolojisi, özellikle 1999 Kocaeli depreminden sonra deprem koruması olarak hızlı bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır. İstanbul'daki Başıbüyük Eğitim ve Araştırma hastanesi sismik izolasyon ile güçlendirilmiş dünyadaki en büyük hastanedir. 1552 adet sismik izolatör kullanılarak 2017 yılında tamamlanan 430000 m^2'lik Adana Entegre Sağlık Kampüsü projesi sismik izolasyon sisteminin kullanıldığı dünyadaki en büyük hastanedir (Erdik ve diğ., 2018).

Sismik izolasyonlu binaların izolasyon sistemlerinde genellikle doğrusal olmayan histeretik davranış gösteren izolatörler (yalıtım elemanları) kullanılmakta olup gerek dünyadaki pratik uygulamalarda gerekse de diğer yürürlükteki deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, yeni Türk

Bina Deprem Yönetmeliği'nde de (TBDY, 2018) bu tür binaların deprem analizlerinin gerçek veya üretilmiş deprem kayıtlarının kullanıldığı zaman tanım alanında analiz yöntemi ile yapılması prensibi benimsenmiştir. Ancak, izolasyon sistemi ile üstyapının bütünleşik modelinin kullanıldığı bu analizler uzun ve zahmetli olup üstyapı tasarım süresini uzatabilmektedir. Bu tür binaların tasarımını yapmak için bir tasarımcının izolasyon sisteminden üstyapının tüm detaylarına kadar tasarımı gerçekleştirmesi gerekmektedir. Ancak, izolasyon sistemlerinin tasarımı nihai duruma kadar belli bir süreçten geçmek zorundadır. Bu durumda, projelerin devamlılığının sağlanabilmesi açısından üstyapı tasarımının izolasyon sistemi tasarımı devam ederken yapılması gerekmektedir. Bu soruna çözüm olarak, pratik olarak üstyapı ve izolasyon sistemi tasarımını ayırmak için mevcut durumdaki uygulamalardan biri, binanın taban ankastre olarak modellenmesi ve kullanılacak depremlerin spektrumlarının bu ankastre üstyapı modeline etkitilerek doğrusal bir analiz yöntemi olan spektral analizin gerçekleştirilmesidir. Bu şekilde elde edilen analiz sonuçları, yapı davranış katsayısı olarak bilinen R katsayısına bölünerek kullanılmaktadır. Bu katsayının bu şekilde kullanılması, esasen sismik izolasyonun deprem etkin kuvvetlerini azaltma etkisine karşılık gelmektedir. Fakat bu noktadaki sorun, kullanılacak katsayının ne olması gerektiğinin ve sismik izolasyonun etkin deprem kuvvetlerini azaltma etkisini ne derece temsil edeceğinin tam olarak bilinememesidir. Gerçekte depremler, üstyapıya etkimeden önce izolasyon sisteminden geçmekte ve bir anlamda frekansları modifiye olmakta, üstyapıya etkiyen etkin deprem kuvvetleri farklı deprem kayıtları ve yapı özellikleri için farklı oranlarda azalmaktadır. Yani, taban ankastre üstyapı modeline doğrudan deprem spektrumunu etkitmek, ön tasarım aşamasında ihtiyaçtan daha büyük veya daha küçük kesitlerin ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Bu yaklaşım yerine, belirtildiği üzere modifiye olmuş olan spektrumların kullanılmasının daha doğru sonuçlar verebileceği öngörülmüş olup, bu tez çalışmasında, üstyapı ve izolasyon sistemi tasarımının ilk aşamalarını ayrı ayrı yürütebilmek amacıyla üstyapı tasarımını hızlandıracak basitleştirilmiş bir yöntem olan izolasyon sistemi ve üstyapının ayrık modelleri üzerinde ayrık deprem analizlerinin yapılması önerilmiştir. Önerilen yöntem ile hedeflenen, sismik izolasyonlu bina davranışlarını ön tasarım aşamasında daha gerçekçi olarak dikkate almak ve deprem kaydı veya yapı karakterinden bağımsız olarak her durumda nihai tasarıma yakınlık açısından benzer sonucu elde etmektir. Ayrıca, sismik izolasyon sisteminin ön tasarımı için de yaklaşık analiz sonuçları elde etmenin mümkün olması hedeflenmiştir.

Ön tasarım, nihai tasarıma ne kadar yakın olacak şekilde optimize edilirse o kadar avantajlı olmaktadır. Önerilen yöntemle, üstyapı ve izolasyon sisteminin ön tasarımları ayrı uzman ekiplerce tasarlanabilmesi için, öncelikle izolasyon sisteminin zaman tanım alanında analizi, üzerinde detaylı üstyapı modeli olmadan gerçekleştirilecek olup bu analiz sonucunda elde edilecek tepki spektrumu kullanılarak taban ankastre olarak modellenecek olan üstyapının spektral analizinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen parametrik analizlerle, önerilen bu yöntemin etkinliği araştırılmıştır. Ayrık deprem analizi yönteminin etkinliğinin incelenmesinde frekans içerikleri farklı olan tarihi uzak-fay ve yakın-fay deprem kayıtları kullanılmış olup izolasyon sistemi periyodu, izolasyon sistemi karakteristik kuvvet oranı, üstyapı esnekliği gibi yapısal parametrelerin etkisi de ele alınmıştır. Bu parametrelerin önerilen yöntemin etkinliğini etkileme seviyesi farklı yapısal tepki parametreleri dikkate alınarak irdelenmiştir. Prototip sismik izolasyonlu bina modellerinin kullanıldığı bu çalışmada dikkate alınan yapısal tepki parametreleri arasında kat deplasmanları, kat ivmeleri ve kat kesme kuvvetleri bulunmaktadır. Sonraki bölümlerde bu yöntem detaylı olarak paylaşılmıştır.

Bu tezin sınırlılıkları arasında: i. Deprem analizleri boyunca üstyapının doğrusal elastik kaldığının kabulü, ii. Zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınmaması, iii. Yapısal düzensizliklerin dikkate alınmaması yer almaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çağdaş sismik tasarım ve inşaat teknolojileri son 100 yılda önemli gelişmelerden geçmiştir fakat bu gelişmeler hiçbir zaman tam olarak deprem felaketlerini ortadan kaldıramamıştır (Takagi ve Wada, 2019). Depremler dünya genelinde yılda ortalama 20.000'den fazla ölüme neden olmuş ve bunun %80'inden fazlası gelişmekte olan ülkelerdedir (Tsang ve diğ., 2012). Büyük depremler, uygun bir depreme dayanıklı tasarım bulunmayan binalarda çökmelere neden olarak can kayıplarına yol açabilir. Günümüzde performansa dayalı tasarım konusunda, yapıları deprem etkisinden korumanın ve istenen performansı elde etmenin etkili yollarından biri sistem üzerindeki sismik talebi azaltmaktır (Alhan ve Öncü-Davas, 2016). Bu amaçla son birkaç on yıl boyunca tespit edilen en kayda değer çözümlerden biri, yapının altına taban izolatörleri olarak adlandırılan düşük yanal rijitliğe sahip cihazların konulmasıdır (Calvi ve Calvi, 2018). Sismik izolasyon, yapıları güçlü depremlere karşı korumada kullanılan anti-sismik bir teknoloji olup, özellikle stratejik binalarda çok tercih edilen bir teknolojidir (Clemente ve diğ., 2019).

Sismik izolasyonlu yapılarda, bir deprem durumunda deformasyon çoğunlukla, rijit üstyapının altına yerleştirilmiş olan izolasyon sisteminde yoğunlaşmaktadır (Alhan ve Özgür, 2015). Sismik izolasyon kavramının ardındaki düşünce, yapıların yanal esnekliği sağlanmış izolasyon sistemleri üzerine oturtularak etkin periyotlarının uzatılması ve deprem yer hareketi karakteristik periyodundan uzaklaştırılmasıdır. Böylelikle, sismik izolasyon sistemlerinin ilave enerji tüketim kapasitesi sayesinde, üstyapıya iletilen kuvvetler azalmaktadır. Bu ise kat ivmelerinde ve göreli kat öteleme değerlerinde önemli azalmalara yol açar (Komodromos, 2000; Alhan ve Sürmeli, 2011). Sismik izolasyonlu yapıların performansları genel olarak taban yer değiştirmeleri, taban ivmeleri, kat ivmeleri ve göreli kat ötelenmeleri açısından değerlendirilir (Alhan ve Sürmeli, 2011). Sismik izolasyon, kat ivmeleri ve göreli kat ötelenmelerini aynı anda azaltarak yapının kendisi ile içeriğini de koruyan depreme dayanıklı tasarım yöntemi olarak kabul edilmektedir (Alhan ve Sürmeli, 2011; Alhan ve Öncü-Davas, 2016). Yani sismik izolasyonun iki amacı vardır: ilki yapı bütünlüğünü korumak iken ikincisi yapı içeriğini kat ivmelerini azaltarak korumak ancak taban yer değiştirmesini pratik ve ekonomik limitlerin altında tutmaktır (Alhan ve Öncü-Davas, 2016).

Sismik izolasyonlu yapıların tasarımında, taban ankastre yapıların tasarımından farklı olarak ilk titreşim modu daha etkin olmaktadır (Gesualdi ve diğ., 2019). Düzgün tasarlanmış bir sismik izolasyon sistemi, uzak fay depremlerinde, kabul edilemez derecede büyük taban yer değiştirmelerine neden olmadan, kat ivmeleri ve göreli kat ötelenmelerini kabul edilebilir sınırlara düşürür. Ancak, neden olduğu büyük taban deplasmanları sebebiyle sismik izolasyonun yakın fay depremlerindeki etkinliği halı hazırda sorgulanmaktadır (Alhan ve Öncü-Davas, 2016). Tipik yüksek frekans içeriğine sahip güçlü yer hareketleri altında kanıtlanmış başarısı nedeniyle, sismik izolasyon dünya çapında giderek artan bir oranda uygulanmaktadır (Martelli ve diğ., 2012). Taban izolasyonu kullanılması ilk kez 1909 yılında önerilmiş olup bunun üzerine deprem eğilimli bölgelerde sismik koruma sağlamak amacıyla kademeli olarak gelişmiş bir endüstri haline gelmiştir (Naeim ve Kelly, 1999; Markou ve diğ., 2016). Modern anlamda sismik taban izolasyonu kavramı 1970'lerin başında Yeni Zelanda'da ortaya çıkmıştır (Skinner ve diğ., 1993). Diğer deprem eğilimli ülkelerde olduğu gibi, Japonya'da taban izolasyonu uygulaması 1980'lerin başında başlamış olup ilk taban izolasyonlu bina 1983 yılında tamamlanmıştır. Taban izolasyon sistemlerinin kullanılması, sırasıyla 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinin ardından Kaliforniya ve Japonya'da geniş kabul görmüştür (Sarno ve Cosenza, 2011). Ayrıca 1995 yılında meydana gelen Kobe depreminden sonra sismik izolasyonlu yapı sayısı önemli ölçüde artmıştır (Pan ve diğ., 2005). Avrupa'da, İtalya en yüksek sismik bölgede bulunan ülke olarak Japonya, Çin ve Rusya'dan sonra Avrupa'da ve dünyada en fazla sismik izolasyonlu yapıya sahiptir (Losanno ve diğ., 2019). 1909 yılında literatürdeki bilgi seviyesi, sismik taban izolasyonu konusunda yapılan kapsamlı araştırmalar ile özellikle son 15-20 yılda önemli ölçüde artmıştır (Calvi ve Calvi, 2018). Akademinin bu kavrama olan eğilimi, yeni cihazlar icat etmek ya da mevcut cihazların dinamik davranışlarını araştırmak için daha ileri çalışmalara yol açmıştır (Losanno ve diğ., 2019).

En yaygın izolatörler doğal (sentetik) kauçuk izolatörler, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerdir (Naeim ve Kelly, 1999). 1970'lerin sonlarında Yeni Zelanda'da kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmıştır (De la Llera ve diğ., 2015). Daha sonra, yüksek sönümlü kauçuk izolatörler ortaya çıkmış ve sönümleme oranını %100 kesme gerilmesinde %10-20 aralığına yükseltmek için farklı bileşimler kullanılmıştır. Bu yüksek sönüm malzemeleri ilk olarak Malezya İzolatör Üreticileri Araştırma Birliği tarafından üretilmiş ve ilk uygulamaları 1985'te Kaliforniya'daki Foothill Toplulukları ve Adalet Merkezi için yapılmıştır (De la Llera ve diğ., 2015). Son yıllardaki en yaygın izolatörler NRB (Doğal

Kauçuk İzolatörler), HDRB (Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler), LRB (Kurşun Çekirdek Kauçuk İzolatörler) ve SB (Kayıcı İzolatörler) olarak bilinmektedir (Pan ve diğ., 2005). Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, günümüzde İtalya, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmakta, doğal veya imal edilmiş kauçuktan üretilmiş çelik levhalarla lamine edilmiş elastomerik pedlerden oluşan en yaygın izolasyon cihazlarıdır. İzolasyon teknolojisinin ilk yıllarında NRB, birçok durumda tercih edilmişken, eğilim daha sonra iki nedenden ötürü HDLRB ve LRB'ye yönelmiştir. Bunlardan birincisi, izolatör imalat sanayisindeki ilerlemeden ve ikincisi de enerji soğurma kapasitesinin daha yüksek olmasındandır (Losanno ve diğ., 2019). Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler, sismik yükler altındaki çelik ve betonarme binaların kontrolünde daha etkili olmaktadır (Kaloop ve Hu, 2017). Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler, etkin periyot sürelerini uzatarak yapıları depremlerin zararlı etkilerinden koruyan yalıtım elemanları arasındadır (Alhan ve diğ., 2016). Temel olarak yanal yüklere karşı koymak için yüzeyler arasındaki sürtünmeyi kullanan kayıcı mesnetler de günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlardan en bilineni, 1980'lerin sonunda geliştirilen ve test edilen sürtünmeli sarkaç sistemi (FPS)'dir (De la Llera ve diğ., 2015). Hibrid taban izolasyon sistemleri Japonya'da yaygın olarak kullanılmış ve kullanılmaya devam edilmektedir (Kani, 2009; Markou ve diğ., 2016). Sürtünmeli kayıcı taban izolatörleri 1980'lerin sonunda ortaya çıkmıştır (Calvi ve Calvi, 2018). Dinamik davranış açısından, bu sismik izolasyon sistemleri doğrusal ve doğrusal olmayan olarak sınıflandırılabilir (Naeim ve Kelly, 1999).

UBC (1997) ve ASCE/SEI 7-05 (2006) gibi önemli bina yönetmelikleri ve standartları, sismik yalıtımlı yapıların tasarım kriterleri, modelleme kuralları ve analiz ilkelerini anlatan bölümler içermektedir (Alhan ve Özgür, 2015). UBC (1997), ABD'de yakın kaynak faktörleri yerine ayrıntılı spektral haritalar kullanan ABD Uluslararası Yapım Kuralları'nın yerini almıştır (Saifullah ve Alhan, 2017). Yüksek sismisiteleri ile bilinen Orta ve Güney Amerika'daki çoğu ülke ayrıntılı spektral haritaların aksine sismik bölge katsayılarını kullanmaktadır (Chavez ve diğ., 2012). Japonya'daki sismik tasarım koşulları 1981 yılında revize edilmiştir. Bu revizyonda, başarısızlık mekanizmaları değerlendirilmiş ve daha büyük binalar için nihai yanal kuvvetler gerekli hale getirilmiştir (Takagi ve Wada, 2019). Amerikan hükümlerinin aksine, 2004'te yayınlanan Eurocode 8'in (2005) son sürümü, sismik izolasyon için kabul kriterlerini basitleştirmiştir. 2002'deki Puglia depreminden sonra 2003'teki İtalyan sismik yönetmeliğinin güncellenmiş hali, izolasyon cihazlarının kullanımını basitleştirmiştir. İtalyan sismik düzenlemelerindeki izolasyon teknolojisine yönelik bu yeni yaklaşımın sonucu, sismik

izolasyonlu bina sayısında önemli oranda artış olmuştur (Losanno ve diğ., 2019). Bu tür sismik izolasyonlu binaların analizleri uzun ve zahmetli olabileceğinden literatürde bu analizleri hızlandırmaya ve basitleştirmeye yönelik farklı çalışmalar mevcuttur (Andriono ve Carr, 1991; Ramirez ve Miranda, 2007; Zhang ve diğ., 2013; Tena-Colunga, 2014; Kilar ve Koren, 2008).

2.2. İZOLASYON SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

2.2.1. İzolasyon Sistemi Parametreleri

2.2.1.1. İzolasyon Periyodu

İzolasyonlu bir binanın en önemli göstergelerinden biri izolasyon periyodudur. Toplam bina kütlesi (M) ve akma sonrası rijitliğe (K_2) bağlı olarak Denklem (2.1) ile verilmektedir.

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_2}} \text{ (s)} \tag{2.1}$$

2.2.1.2. Akma Sonrası Rijitliği

İzolasyonlu binalarda izolasyon sistemleri iki ana rijitlik ile modellenmekte olup akma sonrası rijitlik (izolasyon modundaki rijitlik) olan K_2 Denklem (2.2) ile verilir:

$$K_2 = \frac{4\pi^2 \times W}{T_0^2 \times g} \tag{2.2}$$

2.2.1.3. Karakteristik Kuvvet

İzolasyonlu yapılarda izolasyon sistemindeki sönüm seviyesinin göstergesi olan karakteristik kuvvet, akma deplasmanı (D_y), akma öncesi (birincil) rijitlik (K_1) ve akma sonrası (ikincil) rijitliğe (K_2) bağlı olarak Denklem (2.3) ile verilir:

$$Q = (K_1 - K_2) \times D_y \tag{2.3}$$

2.2.1.4. Akma Öncesi Rijitliği

İzolasyon sisteminin akma deplasmanına kadar olan yüksek birincil rijitliğini temsil eden akma öncesi rijitliği, ikincil rijitliğe (K_2), karakteristik kuvvete (Q) ve akma deplasmanına (D_y) bağlı olarak Denklem (2.4) ile verilir.

$$K_1 = \frac{Q}{D_y} + K_2 \quad (2.4)$$

2.2.1.5. Akma Sonrası Rijitliğin Akma Öncesi Rijitliğe Oranı

Bu oran (α) ana parametrelerden biri olup genellikle 0.1 değerini almaktadır.

$$\alpha = \frac{K_2}{K_1} \quad (2.5)$$

2.2.1.6. Akma Kuvveti

Birincil rijitlik ve akma deplasmanına bağlı olarak akma kuvveti belirlenmektedir (Denklem 2.6).

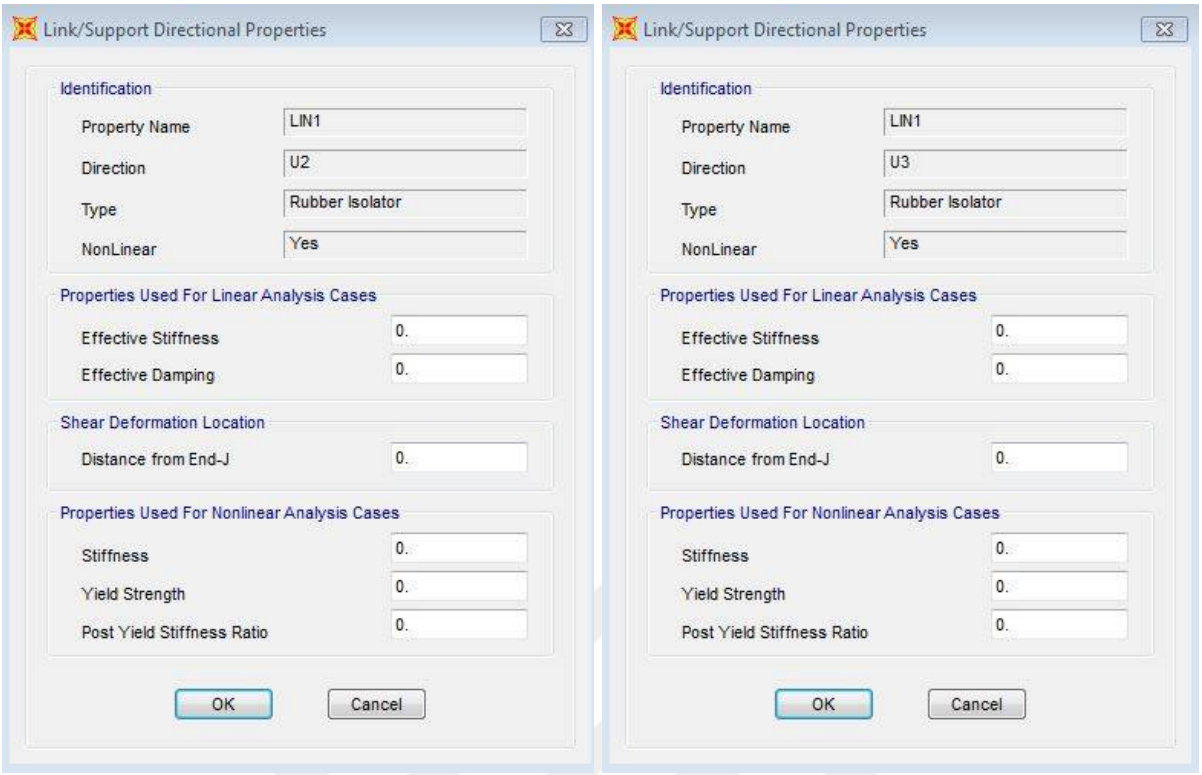
$$F_y = K_1 \times D_y \quad (2.6)$$

2.2.2. SAP2000 Yazılımında Sismik İzolasyon Sisteminin Modellenmesi ve Analizi

Bu kısımda, SAP2000 (CSI, 2019) yazılımında modelleme tekniği genel olarak bilinen ve bir ankastre model gibi modellenen üstyapının yerine, çalışma konusu ile ilgili ve gelişmiş bir teknoloji olan izolasyon sistemine ait modelleme detayları verilmiştir. SAP2000 yazılımı, bir grafik kullanıcı arayüzüne (Graphical User Interface – GUI) sahip olan, taban ankastre binalar gibi sismik izolasyonlu binaları da modelleyebilen bir sonlu elemanlar yazılımıdır.

2.2.2.1. İzolasyon Sisteminin Modellenmesi

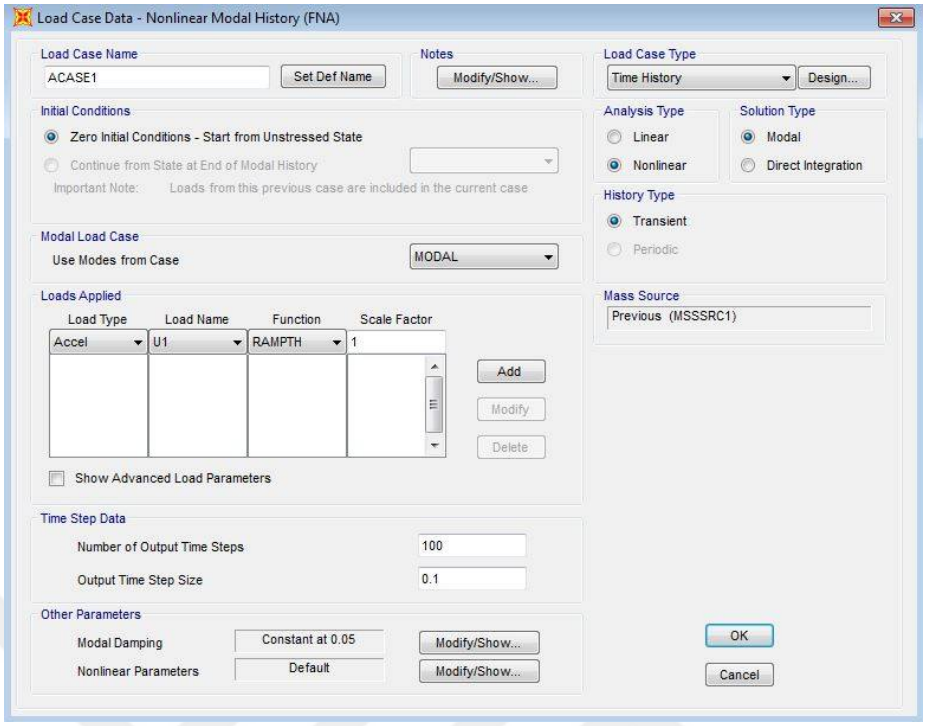
SAP2000 yazılımında izolatör tanımlanması için, tanımlama menüsü altından Link/Support Properties kısmına girilerek izolatörler tanımlanır. İzolatör tipi olarak çeşitli seçenekler mevcut olup, bu çalışma kapsamında ele alınan elastomer tabanlı izolatörler "rubber isolator" (kauçuk izolatör) seçeneği seçilerek modellenir. Bu durumda izolatörün yatay X (U_2), Y (U_3) ve düşey Z (U_1) yönlerindeki özellikleri verilmelidir. Bu özelliklerden eşdeğer rijitlik (K_{eff}), eşdeğer sönüm katsayısı (C_{eff}), başlangıç rijitliği (K_1), ikincil rijitlik (K_2), akma kuvveti (F_y), akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı (α) değerleri girilmelidir (Şekil 2.1).



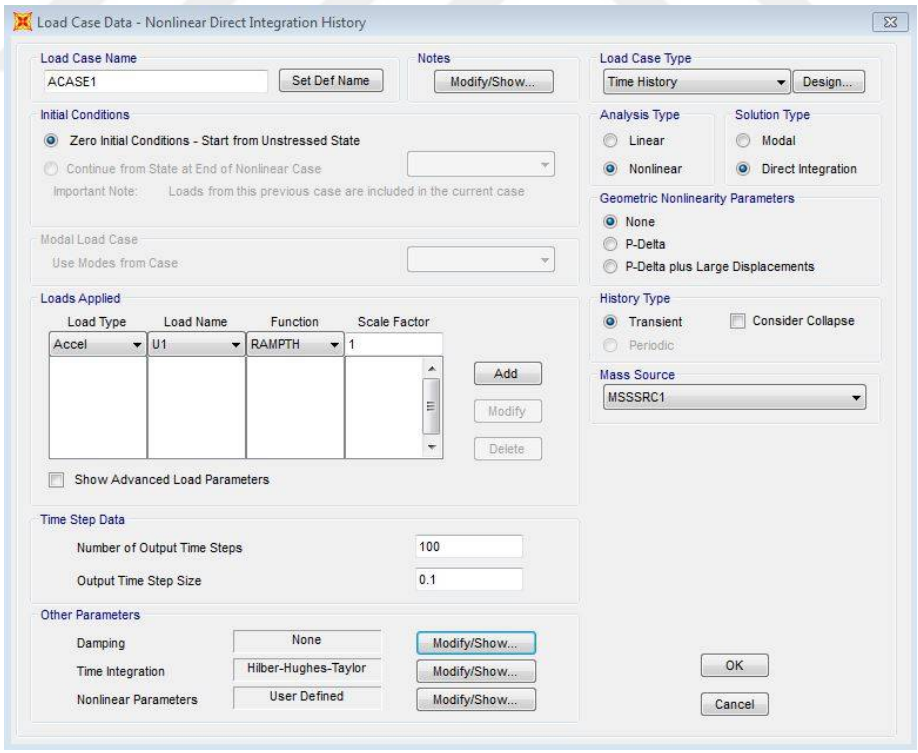
Şekil 2.1: X ve Y yönü için izolatör özelliklerinin girilmesi.

2.2.2.2. Analiz Yönteminin Seçilmesi

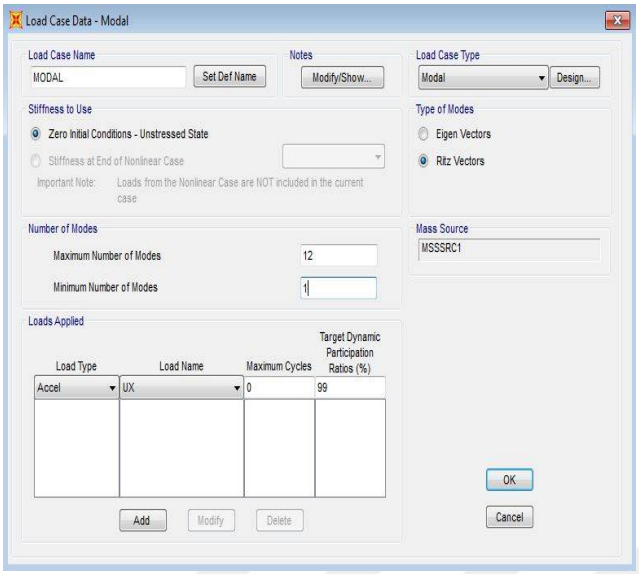
Programda öncelikle Load Case kısmından analiz tipinin tanımlanması gerekir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi seçilir. Bunun için programda Fast Nonlineer Analiz (FNA) (Şekil 2.2) ve Direct Integration Analizi (Şekil 2.3) olmak üzere iki seçenek mevcuttur. Fast Nonlineer Analiz (FNA) yapılacaksa analiz tipi kısmında nonlineer ve çözüm tipi olarak da modal seçilir. Mod tipi olarak ritz vectors seçilir (Şekil 2.4). Sönüm tanımlarken link elemanlara C_{eff} sönümü girilip tüm modlar için üstyapı sönüm katsayısı (örneğin; %5 (0.05)) ve ilk 3 modun (izolasyon modları) sıfır olarak düzenlenmesi gerekir. Eğer ilk 3 mod (izolasyon modları) sıfır yapılmaz ise izolatörlere bir C_{eff} sönümü verildiğinden ikinci defa sönüm etkisi dikkate alınmış olur (Şekil 2.5). FNA, çok kısa bir sürede analizi gerçekleştirmektedir. Nonlineer direct integration analizi yapılacaksa analiz tipi kısmında nonlineer ve çözüm tipi kısmında direct integration seçilir. Sönüm ise rijitlik orantılı sönüm olarak girilir. Rijitlik orantılı sönüm, ilk 3 modu (izolasyon modları) sıfır yapan ve kalan modları da %5 (0.05) yapan değer olarak düzenlenmelidir (Şekil 2.6). Bu analiz, FNA'e göre daha yavaştır fakat sonuçlar bakımından doğruluğu daha iyi olmaktadır. Bu tezde direct integration yöntemi kullanılmıştır.



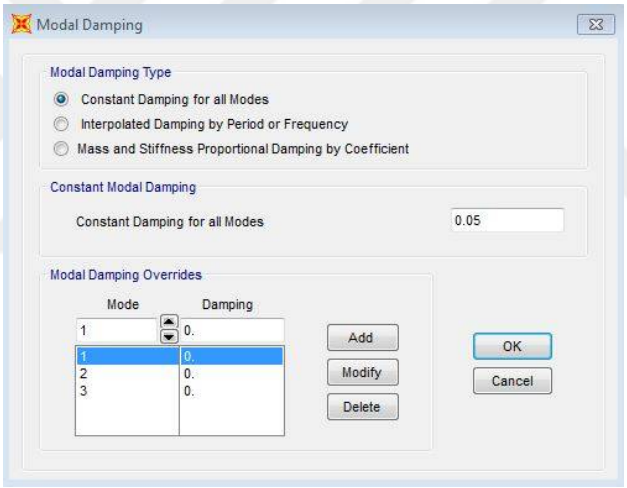
Şekil 2.2: Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz tipi olarak Fast Nonlineer (FNA) analiz tanımlanması.



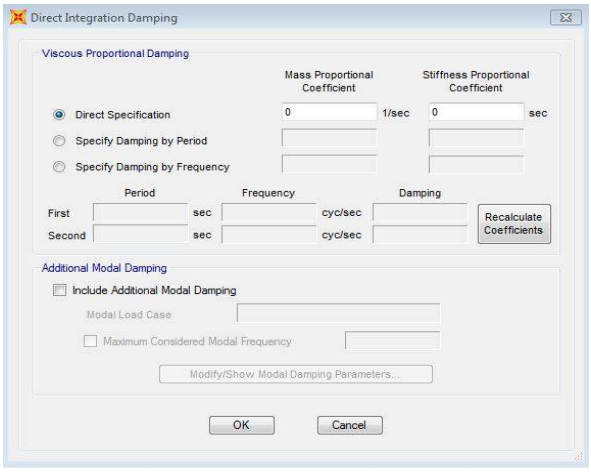
Şekil 2.3: Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz tipi olarak Nonlineer Direct Integration analizi tanımlanması.



Şekil 2.4: FNA için mod tipi seçimi.



Şekil 2.5: FNA için sönüm tanımlanması.



Şekil 2.6: Nonlineer Direct Integration analizi için sönüm tanımlanması.

2.2.2.3. Deprem Kayıtlarının Yazılıma Tanımlanması

Bu kısımda deprem veri kayıtlarının SAP2000 (CSI, 2019) yazılımına nasıl tanıtılacağı aktarılacaktır. Deprem veri kayıtları PEER (PEER, 2019) gibi veri tabanlarından indirilebilmektedir. SAP2000 yazılımında deprem kayıtlarını tanımlayabilmek için, tanımlama menüsü altından fonksiyonlar kısmına girilerek time history seçeneği seçilir. Burada deprem kayıtları tanımlanırken, kaydın zaman adımına (time-step) dikkat edilmelidir.

2.2.3. 3DBASIS Yazılımında Sismik İzolasyon Sisteminin Modellenmesi ve Analizi

3DBASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) yazılımı, izolasyonlu binaların 3 boyutlu modellemesi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizinde kullanılır. 3DBASIS yazılımında bir kullanıcı arayüzü olmadığından dolayı bir giriş dosyası oluşturularak veri girişi sağlanmaktadır. Bu giriş dosyasında üstyapı parametreleri, izolasyon sistemi parametreleri, izolasyon sistemi elemanlarının koordinatları, üstyapıya ait kat kütleleri, kat yükseklikleri ve özvektörler/özdeğerler (üstyapının taban ankastre olarak modellenmesi ve modal analizinden elde edilir) ya da üstyapı için rijitlik değerleri ve deprem datası için kayıt uzunluğu, zaman adımı, tek veya çift yönlü yük durumu gibi bilgiler ayrı veri blokları halinde girilir. Girdi dosyasında izolasyon sisteminin doğrusal olmayan analizi için akma kuvveti (F_y), akma deplasmanı (D_y) ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı (α) parametreleri her bir izolatör için girilir. İzolatörlerin konumlarını belirtmek için izolatörlerin plan koordinatları girilmektedir. Gerçekleştirilen analiz için ivme kayıtları .dat formatında oluşturulur. Deprem kayıtlarının bulunduğu dosyalar X ve Y yönleri için sırası ile WAVEX.dat ve WAVEY.dat olarak isimlendirilir. Tek yönlü veya iki yönlü yük durumuna göre düzenlemeler yapılır. Çıktı olarak kat ivmeleri, göreli kat ötelemeleri, kat kesme kuvvetleri, izolasyon sistemi deplasmanları, izolasyon sistemi elemanlarına ait kuvvetlerin pik değerleri ve zamana bağlı değişimleri elde edilebilmektedir. 3DBASIS yazılımı zaman tanım alanında analiz yapabilirken, spektral analiz yapamamaktadır. Yazılım, eleman bazında sonuç yerine kat bazında sonuçlar vermektedir. Analiz sonuçları serbestlik derecesi cinsinden verilmektedir. Sonuç çıktısı incelendiğinde serbestlik dereceleri üst kattan başlayarak tabana doğru sıralanacak şekilde verilmektedir. Örneğin; 3 katlı sismik izolasyonlu bir binanın (izolasyon katı + 3 kat = 4 x 3 DOF = 12 DOF) 3DBASIS yazılımında zaman tanım alanında analiz sonuçlarına bakıldığında 10.serbestlik derecesi taban katı x yönü değerlerini belirtmektedir.

2.3 DEPREM KAYITLARI

Sunulan çalışmada yakın fay ve uzak fay depremleri olmak üzere iki karakteristik deprem tipi dikkate alınmıştır (Tablo 2.1 ve Tablo 2.2). Genellikle yakın fay depremleri yüksek hızlar ile karakterize edilirken, uzak fay depremleri ise düşük hızlar ile karakterize edilir. Örneğin; Güllü ve Karabekmez (2017)'in yaptığı çalışmada kullanılan deprem kayıtlarının PGV değerleri 5 farklı tarihi deprem için yakın fay kayıtlarında 36.9 cm/s ile 69.7 cm/s arasında ve uzak fay kayıtlarında 18.3 cm/s ile 22.5 cm/s arasında değiştiği görülmüştür. Bunun yanında yakın fay deprem kayıtları için faya olan uzaklığı 10 km'den az olan depremler seçilirken, uzak fay depremler için 20-100 km arası uzaklık değerleri öngörülmüştür (Güllü ve Karabekmez, 2017). Yapıların tiplerine göre PGV/PGA oranı özelliğine bağlı bir cevap davranışı vardır. Bu oranı yüksek veya düşük olan depreme göre yapının davranışı kategorik olarak değişir. Yakın fay depremlerinin PGV/PGA oranları yüksektir. Çalışmada incelenen yapıların zaman tanım alanı analizleri x doğrultusunda tek yönlü deprem etkisi altında, 11 yakın fay ve 11 uzak fay tarihi deprem olmak üzere toplam 22 deprem için yapılmıştır. Bu deprem kayıtları PEER (PEER, 2019) güçlü yer hareketi veri tabanının güncel hali olan NGA güçlü yer hareketi veri tabanından alınmıştır. Analizlerde kullanılan 11 yakın fay (Tablo 2.1) ve 11 uzak fay (Tablo 2.2) deprem kayıtları izolasyon sistemini harekete geçirecek şekilde, kabul edilen akma deplasmanı olan D_y=2 cm sabit değerinden büyük deplasmanlar ortaya çıkaracak şekilde seçilmiştir. Ayrıca, yakın fay bölgesindeki deprem kayıtlarının faya olan uzaklıkları 10 km'den az seçilirken uzak fay bölgesindeki deprem kayıtlarının faya olan uzaklıkları ise 10 km'den fazla seçilmiştir. Yakın fay depremlerinin pik yer ivmeleri genellikle yüksek olup deprem yönetmeliklerinde (Örneğin: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)) 1.derece deprem bölgesi olarak ortaya konan pik değer olan 0.40g'nin üzerinde çıkmaktadır. Kullanılan yakın fay depremleri için Tablo 2.1'e bakıldığında PGV/PGA oranı yüksek olan ve faya yakınlığı 10 km'den az olarak seçilen depremlerin PGA değerlerinin de çoğunlukla (YPT: 0.322 g, ERZ: 0.387 g hariç) 0.40 g'den büyük olduğu görülmektedir. Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'den görüleceği üzere, yakın fay depremlerinin hızları yüksek iken (55-148 cm/s), uzak fay depremleri düşük hızlı (<28 cm/s) depremlerdir. Bu tablolarda deprem kayıt isimleri ve meydana geliş tarihleri, moment büyüklükleri (M_w), faya olan uzaklıklar (r), pik yer ivmesi (PGA), pik yer hızı (PGV), pik yer deplasmanı (PGD) değerleri verilmiştir.

Depremler	Yıl	İstasyonlar	Kayıtlar	Etiket	r (km)	Mw	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Kocaeli_ Turkey	1999	Yarimca	YPT150	YPT	4.83	7.51	0.32	71.89	47.33
Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	RRS228	RRS	6.50	6.69	0.87	148.00	41.88
Cape Mendocino	1992	Cape Mendocino	CPM000	CPM	6.96	7.01	1.49	122.33	32.63
Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam - Southwest Abutment	CYC285	CYC	0.53	6.19	1.31	78.45	14.56
Duzce_ Turkey	1999	Duzce	DZC270	DZC	6.58	7.14	0.52	84.23	48.04
Erzincan_ Turkey	1992	Erzincan	ERZ-NS	ERZ	4.38	6.69	0.39	107.14	31.99
Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #8	H-E08140	E08	3.86	6.53	0.61	54.49	41.78
Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	B-PTS225	PTS	0.95	6.54	0.43	134.29	46.18
Landers	1992	Lucerne	LCN260	LCN	2.19	7.28	0.73	133.40	113.93
Loma Prieta	1989	Los Gatos - Lexington Dam	LEX000	LEX	5.02	6.93	0.44	85.70	17.33
San Fernando	1971	Pacoima Dam (upper left abut)	PUL164	PUL	1.81	6.61	1.22	114.47	39.02

Tablo 2.1: Yakın fay deprem kayıtları (PEER, 2019).

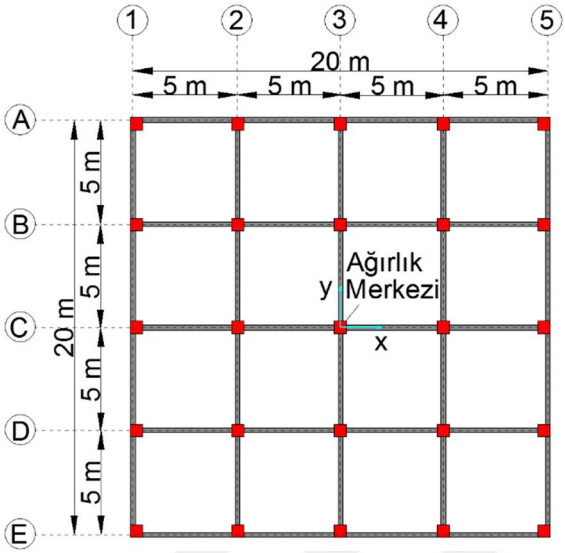
Depremler	Yıl	İstasyonlar	Kayıtlar	Etiket	r (km)	Mw	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Victoria_ Mexico	1980	Chihuahua	CHI102	CHI	18.96	6.33	0.15	26.01	13.53
Kocaeli_ Turkey	1999	Arcelik	ARE000	ARE	13.49	7.51	0.21	13.95	14.24
Borrego Mtn	1968	El Centro Array #9	A-ELC180	ELC	45.66	6.63	0.13	26.70	14.58
Imperial Valley-06	1979	Calexico Fire Station	H-CXO225	CXO	10.45	6.53	0.28	22.46	9.93
Manjil_ Iran	1990	Abhar	184057	ABH	75.58	7.37	0.13	20.71	8.42
Christchurch_ New Zealand	2011	Canterbury Aero Club	CACSN50W	CAC	14.41	6.20	0.23	20.34	14.36
Corinth_ Greece	1981	Corinth	COR--L	COR	10.27	6.60	0.24	22.96	5.74
Tabas_ Iran	1978	Dayhook	DAY-L1	DAY	13.94	7.35	0.32	22.30	15.22
Northern Calif-03	1954	Ferndale City Hall	H-FRN314	FRN	27.02	6.50	0.20	26.21	9.86
Spitak_ Armenia	1988	Gukasian	GUK000	GUK	23.99	6.77	0.20	28.36	9.58
Kern County	1952	Taft Lincoln School	TAF021	TAF	38.89	7.36	0.16	15.23	6.11

Tablo 2.2: Uzak fay deprem kayıtları (PEER, 2019).

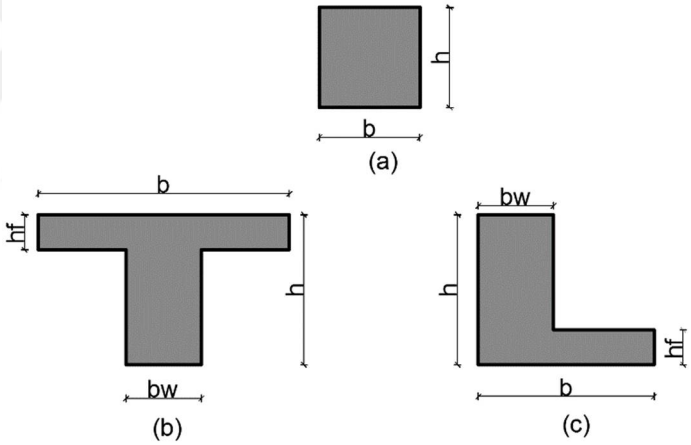
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÜSTYAPI MODELİ

Üstyapı olarak, sırası ile az katlı ve yüksek binaları temsil eden 3 katlı ve 8 katlı prototip modeller kullanılmıştır. Bu modeller, Saifullah ve Alhan (2017) tarafından, taban ankastre binalar için yakın fay katsayılarının gerekliliği ve yeterliliği konularında çalışma yapan Alhan ve Sürmeli (2015) çalışmasından yararlanılarak geliştirilmiştir. Söz konusu yapılar, betonarme moment aktaran çerçevelerden oluşmakta ve 20 m x 20 m boyutlarında simetrik bir plana sahiptir. Tipik kat planları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. X ve Y yönlerinde aks araları 5 m uzunluğunda olup toplam 4 açıklıktan oluşmaktadır. Yapı iç kirişlerinin toplam derinliği 600 mm, toplam genişliği 1000 mm, başlık kalınlığı 140 mm, gövde kalınlığı 300 mm boyutlarında olup T kesite sahiptir. Yapı dış kirişleri başlık kalınlığı bakımından farklılık göstermektedir. Dış kiriş boyutları iç kirişler ile aynı boyutlara sahiptir fakat toplam başlık genişliği 700 mm olup L kesite sahiptir. Kolonların tümü aynı kesite sahip olup 3 katlı ve 8 katlı binalar için farklılık göstermektedir. 3 katlı bina için kolon kesiti 400 mm x 400 mm iken 8 katlı bina için kolon kesiti 550 mm x 550 mm'dir. Kolon ve T/L kesitli kirişlerin tipik kesitleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir. 3 ve 8 katlı binaların tipik kat yükseklikleri 3 m olup taban ankastre hallerine ait tipik görünüşleri sırası ile Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Kolon ve kirişlerin kesit geometrik özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir. 3 ve 8 katlı prototip binalar için taban ankastre modelleme SAP2000 (CSI, 2019) sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Her kat toplu kütleli olarak modellenmiştir. Her kat iki ötelenme ve bir dönme serbestlik derecesi olmak üzere toplamda üç serbestlik derecesine sahiptir. Çerçeve elemanlara yanal kuvvetlerin aktarımı için her kat seviyesinde rijit diyaframlar tanımlanmıştır. Her bir katın kütlesi 440 kNs^2/m olup kat kütle merkezinde toplu olarak modellenmiştir. Beton sınıfı olarak C30 alınmış olup, buna bağlı olarak elastisite modülü 32000 MPa olmaktadır.



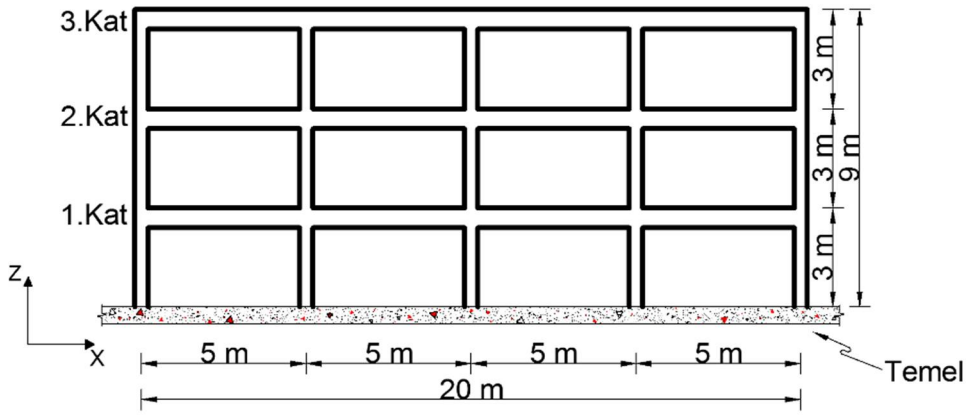
Şekil 3.1: 3 ve 8 katlı binalar için ortak kat planı (Alhan ve Sürmeli, 2011).



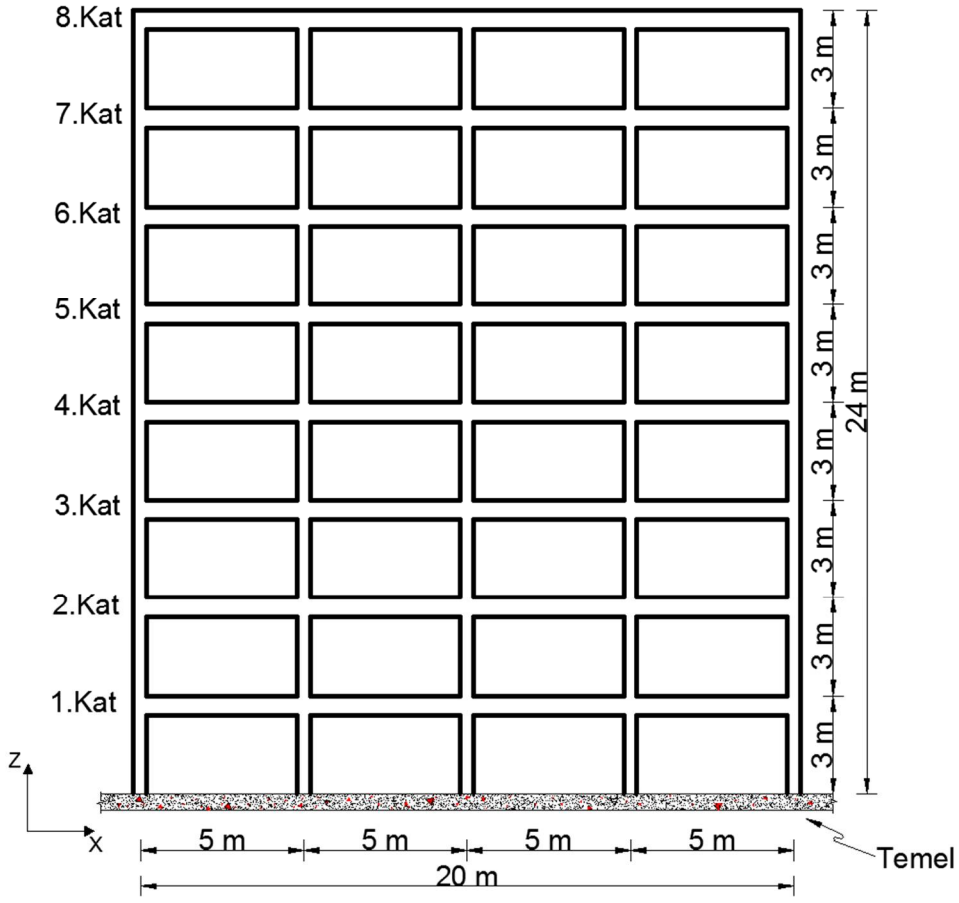
Şekil 3.2: 3 ve 8 katlı binaların kesitleri (a) Kolon kesiti (b) T-iç kiriş kesiti (c) L-dış kiriş kesiti (Saifullah ve Alhan, 2017).

Tablo 3.1: Yapı elemanlarının kesit bilgileri (Saifullah ve Alhan, 2017).

	L-İç Kiriş (mm)				T-Dış Kiriş (mm)				Kolon (mm)	
Kat	b	h	b_w	h_f	b	h	b_w	h_f	b	h
3	700	600	300	140	1000	600	300	140	400	400
8	700	600	300	140	1000	600	300	140	550	550



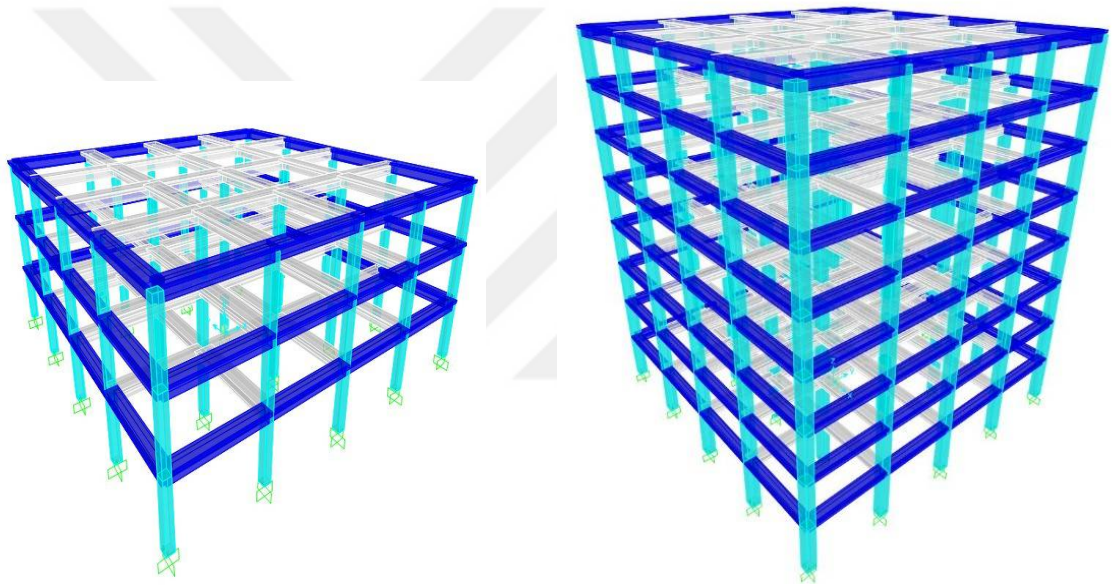
Şekil 3.3: 3 katlı taban ankastre bina düşey görünüşü.



Şekil 3.4: 8 katlı taban ankastre bina düşey görünüşü.

3.2. TABAN ANKASTRE BİNALARIN MODELLENMESİ VE MODAL ANALİZLERİ

Çalışma kapsamında binaların ankastre modelleri gerekli olmaktadır. SAP2000 yazılımında modellenen 3 ve 8 katlı taban ankastre binaların yazılımdan elde edilen üç boyutlu görünüşleri Şekil 3.5'te verilmiştir. 3 ve 8 katlı binalar için modal analizler gerçekleştirilmiş ve birinci mod periyodu 3 katlı yapı için 0.41 s iken 8 katlı yapı için 0.74 s olarak hesaplanmıştır. 3 ve 8 katlı ankastre binalar için modlara bağlı periyot değerleri ilk üç mod için Tablo 3.2'de sunulmuştur. Bu modlara ait mod şekilleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de verilmiştir.

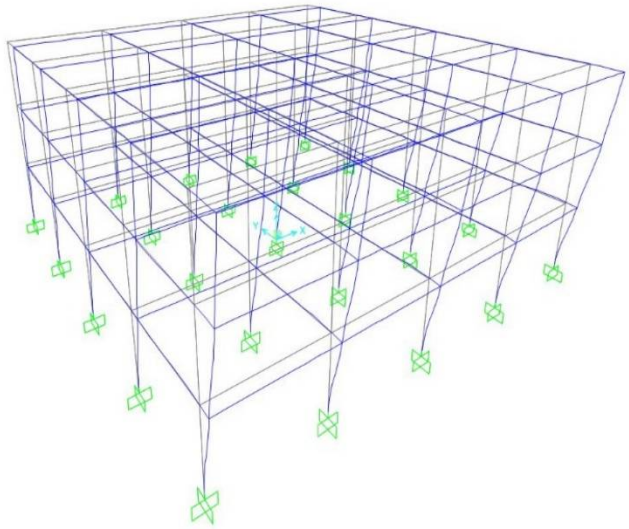


(a) **(b)**

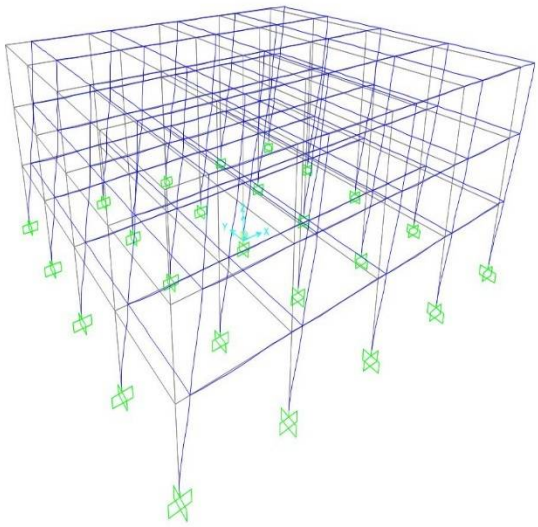
Şekil 3.5: SAP2000 yazılımında modellenen 3 ve 8 katlı taban ankastre binaların üç boyutlu görünüşleri (a) 3 katlı bina (b) 8 katlı bina.

Tablo 3.2: 3 ve 8 katlı taban ankastre binaların modal periyot değerleri.

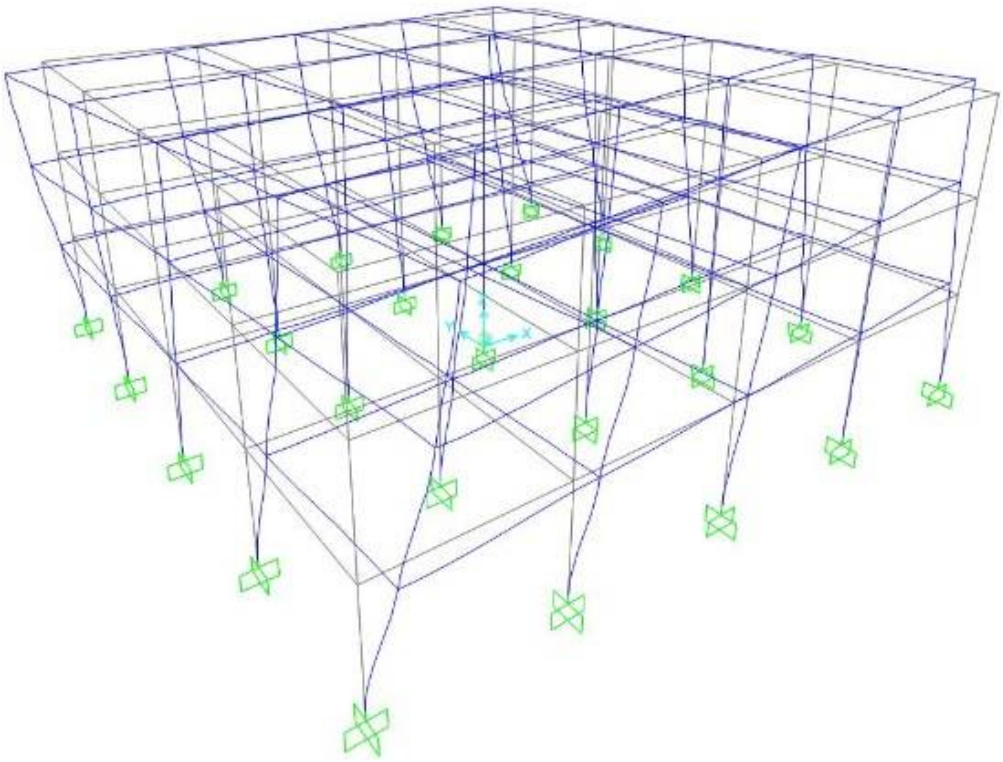
Mod	Periyot (T) (s)	
	3 Katlı	8 Katlı
1	0.41	0.74
2	0.41	0.74
3	0.34	0.60



(a)

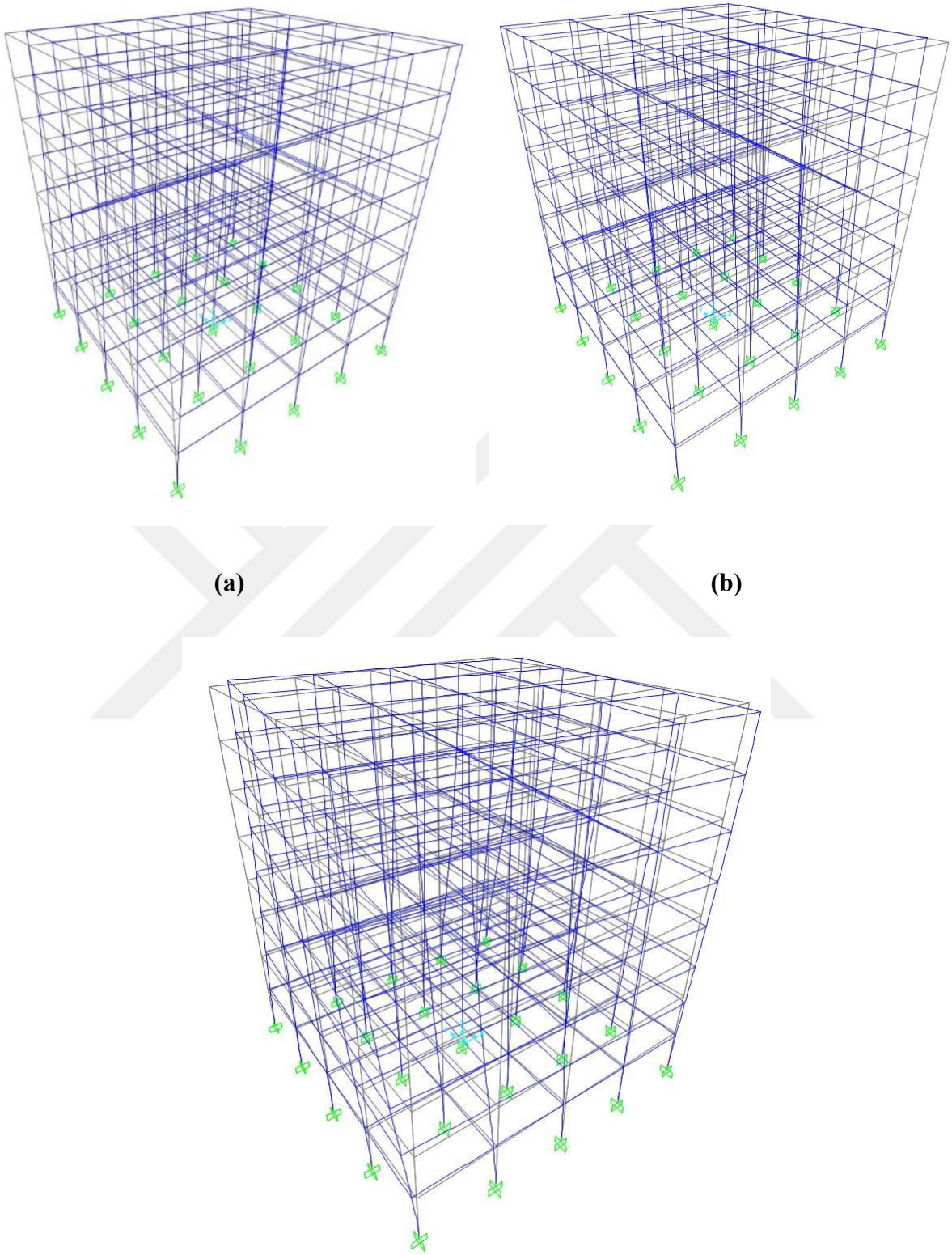


(b)



(c)

Şekil 3.6: 3 katlı taban ankastre binanın mod şekilleri (a) birinci mod ötelenme (b) ikinci mod ötelenme (c) üçüncü mod burulma.



(a) **(b)**

(c)

Şekil 3.7: 8 katlı taban ankastre binanın mod şekilleri (a) birinci mod ötelenme (b) ikinci mod ötelenme (c) üçüncü mod burulma.

3.3. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMİ

Bu tez çalışmasında her biri aynı karakteristik özelliklere sahip 25 adet kauçuk esaslı izolatör kullanılmıştır. İzolasyonlu binalar için izolasyon periyotları iki farklı tasarım için T_0=2 s ve T_0=4 s olarak düşünülmüştür. Binanın ağırlığı ile normalize edilmiş karakteristik kuvvet olan Q/W değerleri iki farklı tasarım için Q/W=%5 ve Q/W=%7.5 olarak alınmıştır. Akma deplasmanı olarak D_y=20 mm sabit seçilmiştir. Tezde izolasyon sistemleri belirtilirken QW5T02, QW5T04, QW7.5T02, QW7.5T04 kodlamaları kullanılmaktadır. Örneğin; QW5T02 kodlaması karakteristik kuvvetin %5, izolasyon periyodunun 2 s olduğunu göstermektedir. Bu sistemlerden izolasyon periyodu 4 s olanlar (QW5T04 ve QW7.5T04) Saifullah ve Alhan (2017) çalışmasında da kullanılan izolasyon sistemleridir. Burada doğrusal olmayan izolasyon parametrelerinin hesabı sadece 3 katlı yapıda tek tip izolasyon sistemi (QW5T02) için verilmiştir. 3 ve 8 katlı binaların diğer izolasyon tipleri için benzer şekilde hesaplanarak elde edilen sonuçlar Tablo 3.3'te toplu olarak gösterilmiştir. Q, F_y, K_2, K_1 değerleri için hesaplamalar bina toplam ağırlığı dikkate alınarak yapıldığı için hesaplamalar sonrası bulunan ve Tablo 3.3'te verilen değerler tüm izolasyon sistemine ait değerlerdir. İzolatör başına karşılık gelen değerleri belirlemek için bu değerler izolatör sayısı olan 25'e bölünmektedir. Fakat akma deplasmanı olan D_y tüm izolatörlerin aynı anda akması ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı olan α değeri de bir oran olduğundan izolatör sayısına bölme işlemi yapılmaz.

İzolasyon katı da dahil olmak üzere her kat kütlesi eşit kabul edilmiş ve kat kütle değeri 440 kNs^2/m olarak alınmıştır. Hesaplar altı aşamada yapılmıştır:

1-) Bina toplam kütlesi hesaplanır.

$$M = \sum_{i=1}^{N} m_i \tag{3.1}$$

Burada m kat kütlesi, N izolasyon katı dahil toplam kat sayısı ve M bina toplam kütlesidir.

3 katlı binalar için (3 kat + izolasyon katı): $M = \sum_{i=1}^{4} M_i = 4 \times 440 = 1760$ kNs^2/m

2-) T_0 = 4 s izolasyon periyodu için akma sonrası rijitlik (K_2) değeri Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) ile hesaplanır:

$4 = 2\pi \sqrt{\frac{1760}{K_2}}$ K_2=17371 kN/m bulunur.

3-) Q/W karakteristik kuvvet oranı ve bina toplam ağırlığı (W=M×g) bilindiği için karakteristik kuvvet (Q) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{Q}{W} = \frac{Q}{1760 \times 9.81} = \%7.5$$

Buradan Q=863.3 kN bulunur.

4-) Akma deplasmanı (D_y) değeri 20 mm seçilmiştir. Bu aşamaya kadar bulunan K_2 ve Q değerleri de kullanılarak Denklem (2.3) ile K_1 akma öncesi rijitlik değeri hesaplanır:

$$863.3 = (K_1 - 17371) \times 0.02$$

Buradan K_1=60535 kN/m bulunur.

5-) Akma kuvveti (F_y) değeri Denklem (2.6) kullanılarak hesaplanır.

$$F_y = 60535 \times 0.02 = 1210.7 \text{ kN}$$

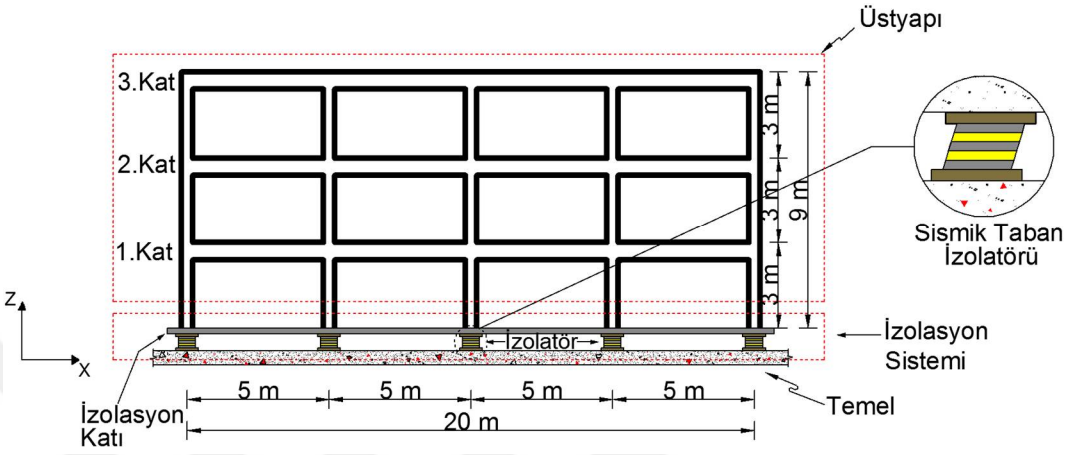
6-) Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı olan α değeri Denklem (2.5) kullanılarak hesaplanır.

$$\alpha = \frac{4343}{69089} = 0.287$$

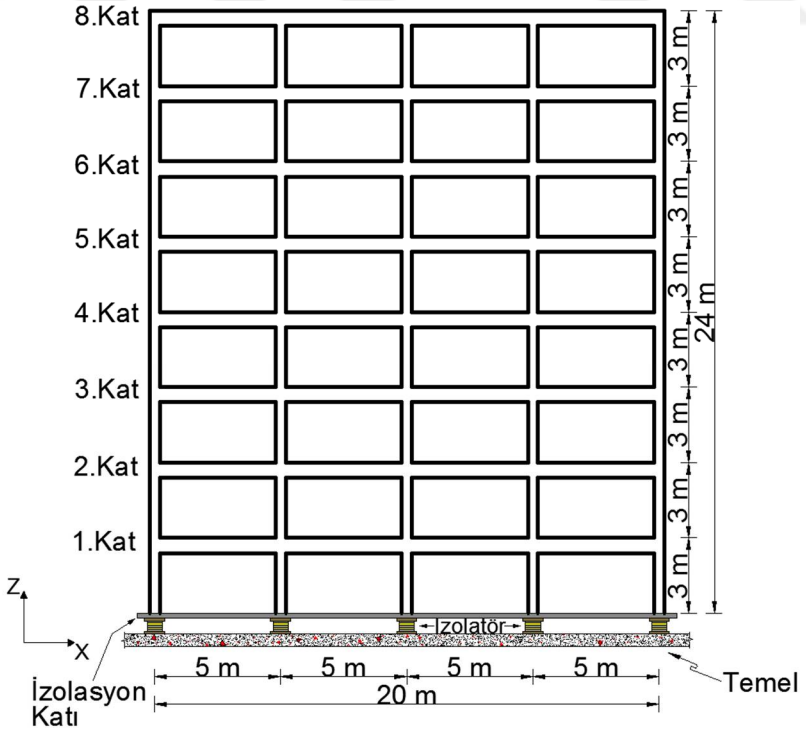
Tablo 3.3: İzolasyon sistemi parametreleri.

Kat	İzolasyon Sistemi	Q/W (%)	T_0 (s)	K_2 (kN/m)	Q (kN)	D_y (m)	K_1 (kN/m)	F_y (kN)	α
3	QW5T02	5	2	17371	863.3	0.02	60535	1210.7	0.287
	QW5T04	5	4	4343	863.3	0.02	47507	950.1	0.091
	QW7.5T02	7.5	2	17371	1294.9	0.02	82117	1642.3	0.212
	QW7.5T04	7.5	4	4343	1294.9	0.02	69089	1381.8	0.063
8	QW5T02	5	2	39084	1942.4	0.02	136203	2724.1	0.287
	QW5T04	5	4	9771	1942.4	0.02	106890	2137.8	0.091
	QW7.5T02	7.5	2	39084	2913.6	0.02	184762	3695.2	0.212
	QW7.5T04	7.5	4	9771	2913.6	0.02	155449	3109	0.063

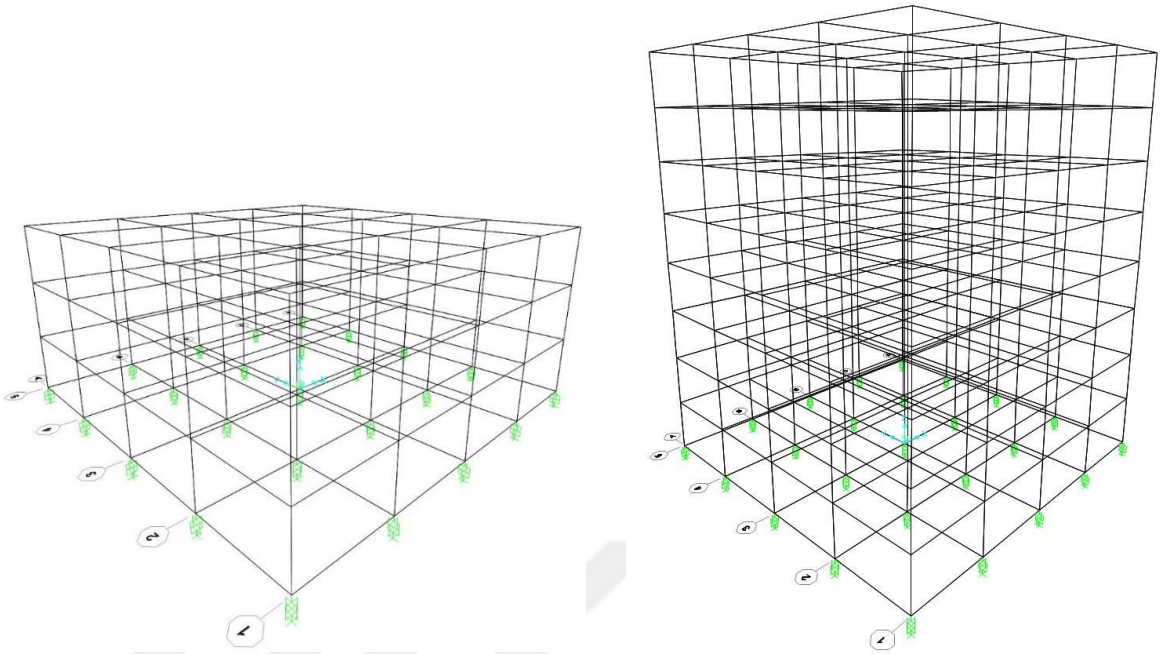
3 ve 8 katlı sismik izolasyonlu binaların tipik düşey görünüşleri sırası ile Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir. SAP2000 yazılımında izolasyonlu olarak modellenen 3 ve 8 katlı binaların programdan alınan üç boyutlu görünüşleri Şekil 3.10'da verilmiştir. İzolatörlerin yerleşim planı ve numaraları Şekil 3.11'de verilmiştir.



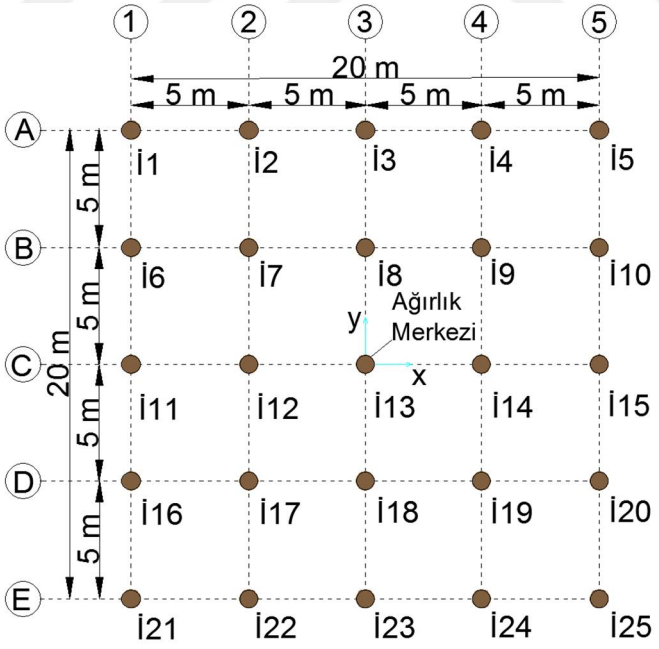
Şekil 3.8: 3 katlı sismik izolasyonlu bina düşey görünüşü.



Şekil 3.9: 8 katlı sismik izolasyonlu bina düşey görünüşü.



Şekil 3.10: SAP2000 yazılımında modellenen 3 ve 8 katlı sismik izolasyonlu binaların üç boyutlu çizgisel görünüşleri.



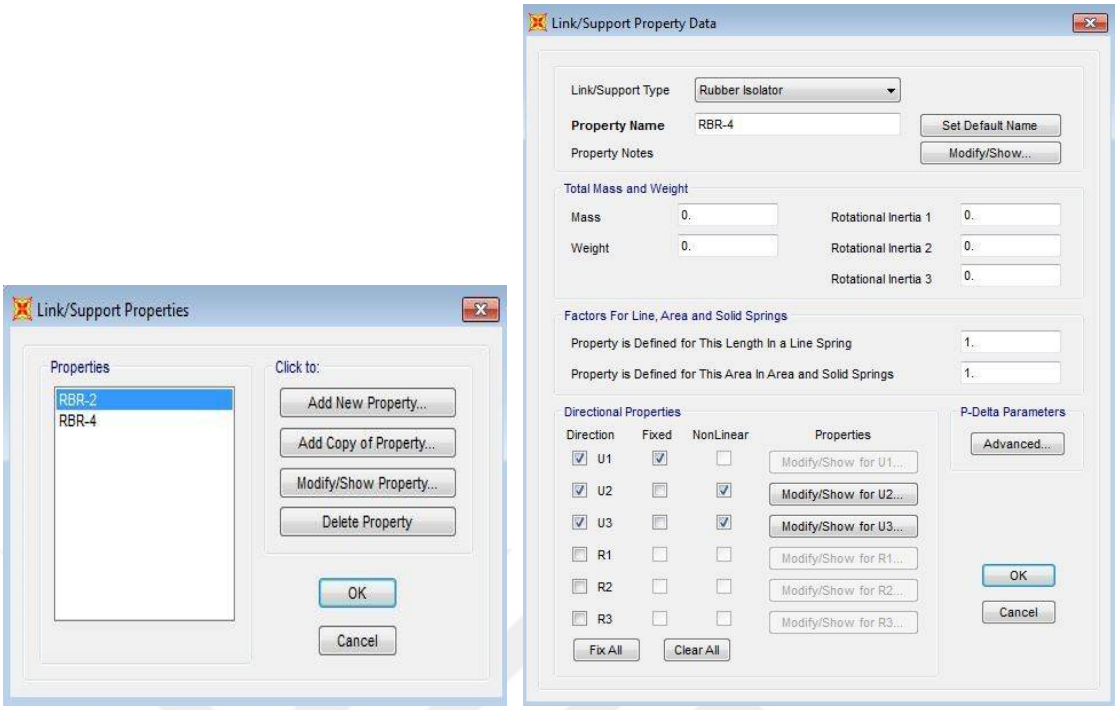
Şekil 3.11: İzolatörlerin yerleşim planı.

3.4. SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN MODELLENMESİ

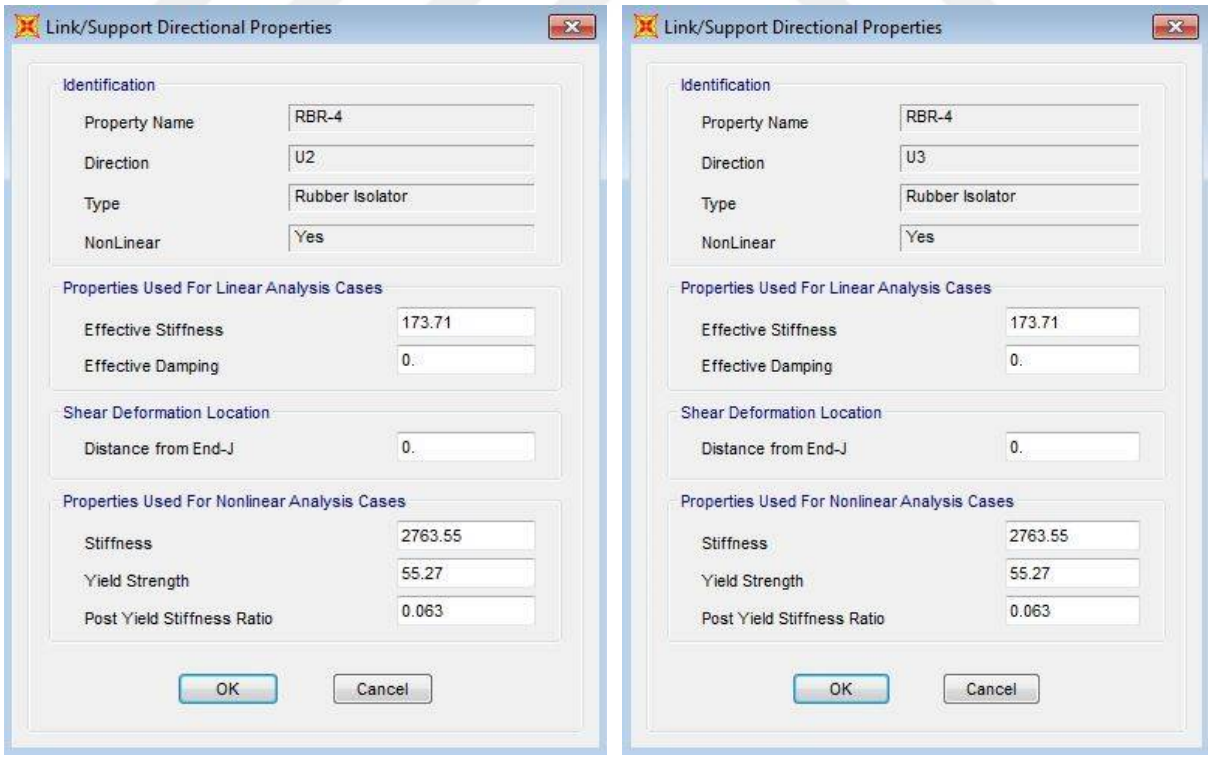
Tablo 3.3'te hesaplanan değerlerden F_y, D_y ve α değerleri 3DBASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) yazılımında girdi parametreleri olarak kullanılır. K_1, F_y ve α değerleri ise SAP2000 yazılımında doğrusal olmayan zaman tanım analizi için izolatör özellikleri kısmında doğrusal olmayan girdi parametreleri olarak kullanılır.

3.4.1. SAP2000 Yazılımında Tam Üç Boyutlu Modelleme

3 ve 8 katlı taban ankastre bina modelleri SAP2000 yazılımında kolon altlarındaki ankastre mesnetlerin link elemanlar (izolatörler) ile değiştirilip, hesaplanan izolatör özelliklerinin tanımlanması ile sismik izolasyonlu binalar haline getirilmiştir. Bunun için öncelikle bir taban katı oluşturulmuş ve rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Bu kat, izolasyon katı olarak isimlendirilmiştir. Kat kütlesinin ankastre bina modelinde olduğu gibi kat kütle merkezinde toplandığı düşünülmüştür. Taban ankastre modeller için üstyapı sönüm oranları %5 alınırken, sismik izolasyonlu modellerde ilk üç mod izolasyon modunu temsil edeceğinden bu modlara ait sönüm oranları farklılık gösterir. Burada örnek olarak izolasyon periyodu T_0=4 s ve 3 katlı bina için (QW7.5T04 sistemi) hesaplanan izolasyon parametrelerine bağlı olarak SAP2000 yazılımında izolasyon sisteminin link elemanlar aracılığıyla modellenmesi gösterilmiştir. Link eleman özellikleri tanımlanırken izolatör düşey özellikleri ankastre olarak, yatay özellikler (x ve y yönü) doğrusal olmayan davranışı temsil edecek şekilde tanımlanmıştır. Yatay özellikler girilirken doğrusal olmayan durumda; birincil rijitlik K_1, akma deplasmanı F_y ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranını temsil eden α değeri girilir. Sönüm, izolatörlerin histeretik davranışı ile sağlanır. Modal analiz için gereken doğrusal (lineer) durumda ise efektif rijitlik K_{eff} yerine yaklaşık olarak K_2 değeri girilebilir.



Şekil 3.12: Link elemanların ve özelliklerinin tanımlanması.



Şekil 3.13: Hesaplanan link eleman parametrelerinin girilmesi (x ve y yönleri).

3.4.2. 3DBASIS Yazılımında Yaklaşık/Eşlenik Modelleme

3DBASIS yazılımının teorik altyapısı Nagarajaiah ve diğerleri (1991) tarafından detaylı olarak 3DBASIS raporunda açıklanmıştır. Nagarajaiah ve diğerleri (1991) ikili eksenli etkileşimi göz önüne alan ve doğrusal olmayan izolasyon sistemlerinin histeretik davranışını temsil eden Bouc Wen modeline göre bir kauçuk mesnetin hareketi sırasında enine ve boyuna doğrultuda oluşacak histeretik kuvvetlerden x yönündeki denklem Denklem (3.2) ile verilmektedir.

$$f_x = \alpha \frac{F_y}{D_y} U_x + (1-\alpha) F_y Z_x \tag{3.2}$$

Denklemde x yönü deplasmanı U_x yerine y yönü deplasmanı U_y ve histeretik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değerler olan Z_x yerine Z_y değerleri yazılarak y yönündeki denklem elde edilebilmektedir.

Histeretik kuvvetler arasındaki etkileşim Denklem (3.3) ile verilmektedir.

$$\begin{Bmatrix} \dot{Z}_x D_y \\ \dot{Z}_y D_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A\,\dot{U}_x \\ A\,\dot{U}_y \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_x^2\left(\gamma \mathrm{Sign}\left(Z_x \dot{U}_x\right)+\beta\right) & Z_x Z_y\left(\gamma \mathrm{Sign}\left(Z_y \dot{U}_y\right)+\beta\right) \\ Z_x Z_y\left(\gamma \mathrm{Sign}\left(Z_x \dot{U}_x\right)+\beta\right) & Z_y^2\left(\gamma \mathrm{Sign}\left(Z_y \dot{U}_y\right)+\beta\right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_x \\ \dot{U}_y \end{Bmatrix} \tag{3.3}$$

$\tan\theta = \begin{pmatrix} \dot{U}_y \\ \dot{U}_x \end{pmatrix}$ olmak üzere, $\dot{U}_x$ ve $\dot{U}_y$ mesnette oluşan x ve y yönündeki hızları göstermekte olup, histeretik parametreler $Z_x = \cos\theta$ ve $Z_y = \sin\theta$ olarak ortaya çıkmaktadır (Nagarajaiah, 1991).

3DBASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) yazılımında 3 ve 8 katlı binaların tam üç boyutlu modelleri değil, bu tez kapsamında önerilen yaklaşık yöntemde ele alınan eşlenik/yaklaşık tek katlı üstyapıya haiz modelleri (Bkz. Bölüm 3.5) analiz edilmiştir. Bu modelde, izolasyon sistemi ve izolasyon katı birebir modellenirken, üstyapı, eşleniği olduğu binanın taban ankastre periyodunu verecek şekilde ve kütlesi üstyapı toplam kütlesine eşit olacak şekilde modellenir.

Burada T_0=2 s, Q/W=%5 izolasyon sistemine sahip 3 katlı binanın modellenmesi örnek olarak verilecektir. Bu örneğe ait 3DBASIS girdisi Şekil 3.14'te verilmiştir.

1-) 3 katlı binalar için üstyapı kütlesi: $M_s = \sum_{i=2}^{4} m_i = 3 \times 440 = 1320$ kNs^2/m

2-) Üstyapıyı temsil eden kat ve izolasyon katı için dönel kütleler Denklem (3.4) ile hesaplanabilir:

$$\frac{m \times (d_x^2+d_y^2)}{12} \tag{3.4}$$

Burada d_x ve d_y ilgili katın plan boyutları, m ise ilgili kata ait kütledir.

Üstyapı dönel kütlesi: $M_{sQ} = \frac{1320 \times (20^2+20^2)}{12}$ = 88000 kNs^2 m

İzolasyon katı dönel kütlesi: $M_{bQ} = \frac{440 \times (20^2+20^2)}{12}$ = 29333.33 kNs^2 m

3-) Üstyapı taban ankastre periyodu yaklaşık olarak $T_a = 0.1 \times N$ ampirik formülüne göre elde edilerek bu periyodu verecek üstyapı yaklaşık rijitliği hesaplanabilir. Burada N üstyapıdaki kat sayısıdır.

3 katlı bina için: $T_a = 0.1 \times 3 = 0.3$ s

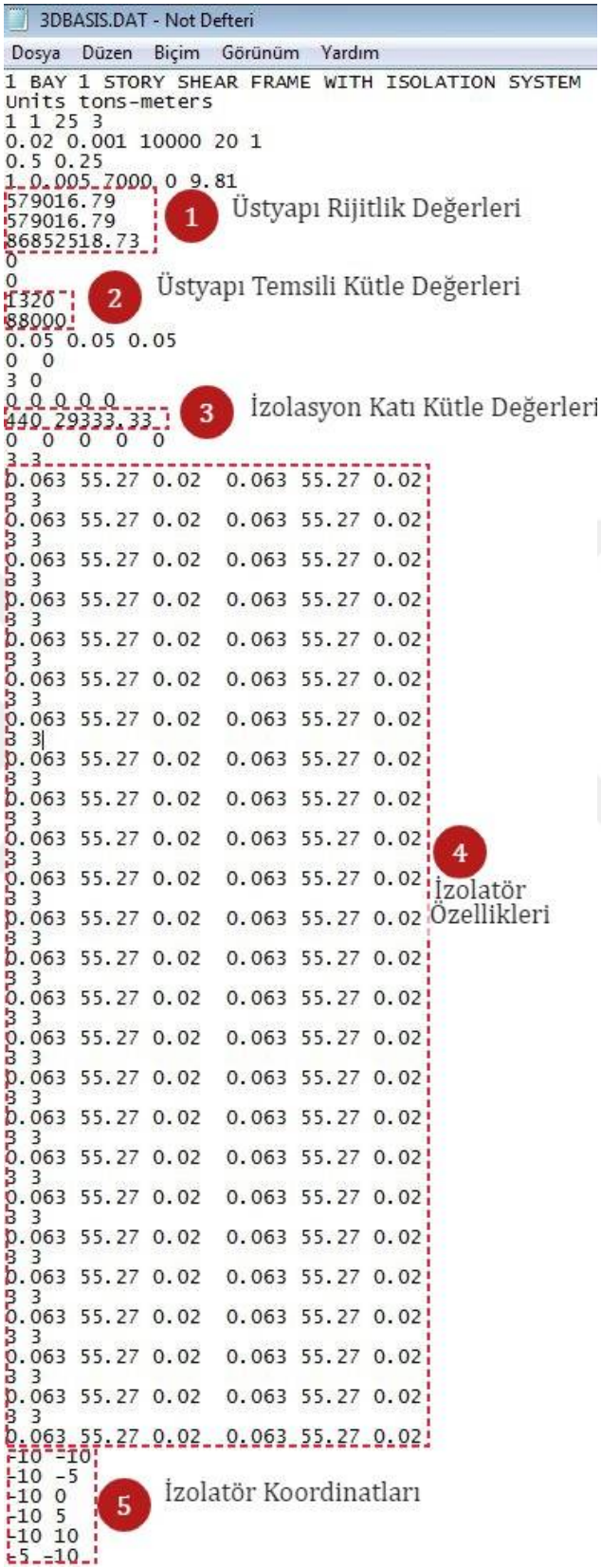
Üstyapı yaklaşık temsili toplam rijitliği k_s Denklem (3.5) kullanılarak hesaplanabilir:

$$T_a = 2\pi \sqrt{\frac{M_s}{k_s}} \tag{3.5}$$

Bu durumda, 3 katlı binanın üstyapı rijitliği şu şekilde hesaplanır:

$$0.3 = 2\pi \sqrt{\frac{1320}{k_s}}$$

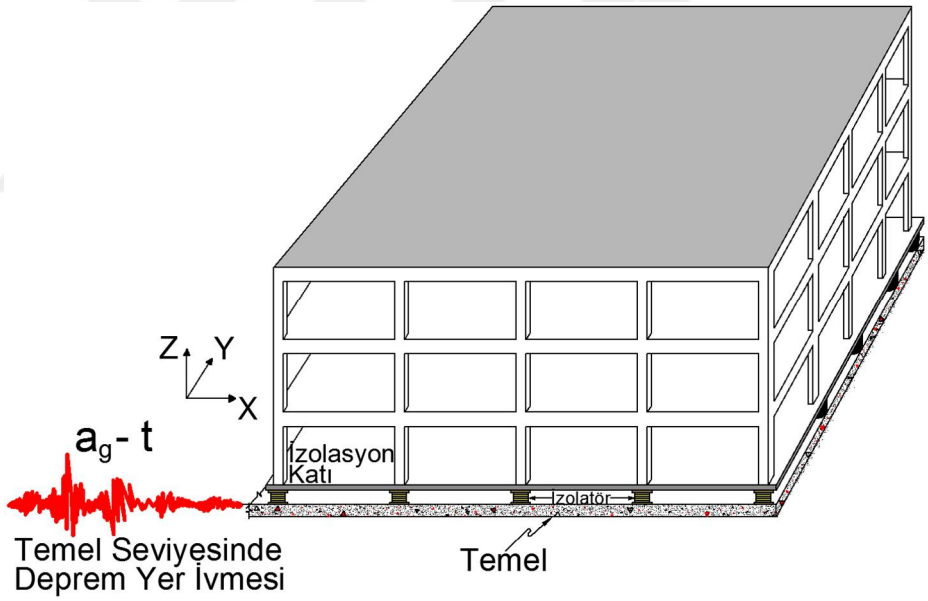
Buradan k_s=579016.79 kN/m elde edilir. Bu rijitlik x ve y yönü için aynıdır.



Şekil 3.14: 3DBASIS yazılımı girdi parametreleri.

3.5. SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN ANALİZİ İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ YÖNTEM

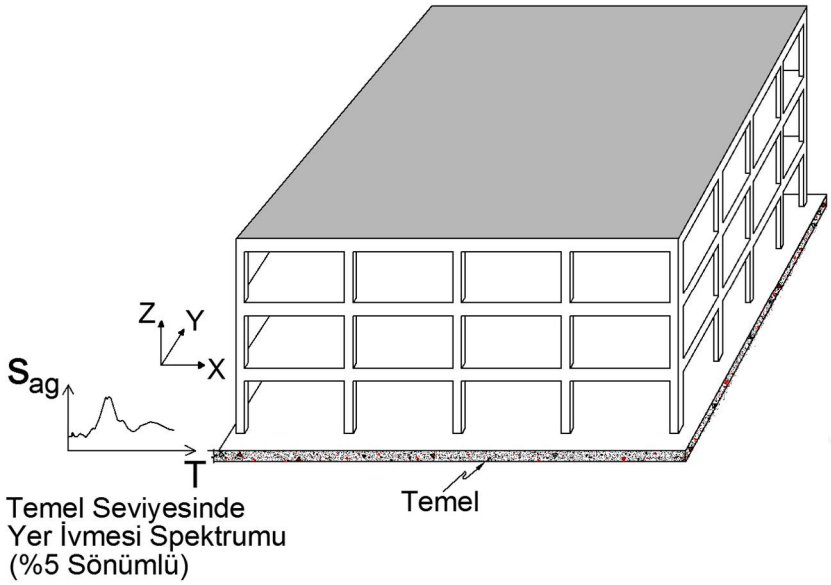
Çalışmada, sismik izolasyonlu binaların analizleri için önerilen basitleştirilmiş yöntem (Yöntem B), halihazırda kullanılan diğer iki yöntemle (Yöntem A ve C) karşılaştırılmıştır. Ele alınan üç yöntemden ilki olan Yöntem A, üstyapı ve izolasyon sisteminin bütünleşik tam üç boyutlu modelinin kullanıldığı ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizini içeren yöntem olup nihai tasarım için kullanılması gereken ve en gerçekçi sonuçları verdiği kabul edilen yöntemdir. 3 katlı bina örneği üzerinde yöntemin şematik gösterimi Şekil 3.15'te verilmiştir. Yöntem A kapsamındaki analizler SAP2000 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Diğer iki yöntem, Yöntem B ve C yaklaşık yöntemler olup sadece ön tasarım aşamasında kullanılabilecek yöntemlerdir. Bu yöntemler sonucunda elde edilen yapısal tepki değerleri Yöntem A'dan elde edilen değerlere ne kadar yakınsa, ilgili yaklaşık yöntem o derece başarılı kabul edilecektir.



Şekil 3.15: Üç katlı sismik izolasyonlu binanın tam üç boyutlu modelinin şematik görünüşü. Model, temel seviyesinde yer ivmesi-zaman (a_g-t) kaydına maruz kalmaktadır: Yöntem A.

Yaklaşık yöntemlerden olan Yöntem C, esasen pratik uygulamalarda hali hazırda kullanılmakta olan bir yöntemdir. Bu yöntemde, tasarım çalışmasının başında sismik izolasyon sistemi henüz tasarlanmamış olduğundan, üstyapı tasarımı, binanın tam üç boyutlu taban ankastre modeline deprem yer ivmesi kayıtlarına ait %5 sönümlü ivme spektrumlarının doğrudan etkitilerek (yani sismik izolasyon sisteminin kayıtlar üzerindeki bir anlamdaki yüksek frekansları filtreleme

etkisi tamamen göz ardı edilerek) spektral analizler gerçekleştirilmektedir. Buradan elde edilen sonuçların sismik izolasyonun etkin deprem kuvvetlerini azaltma etkisini temsilen kullanılan azaltma katsayısına bölünmesiyle elde edilen değerlere göre üstyapının tasarlanması söz konusudur (Şekil 3.16). Bu tez çalışmasında söz konusu analizler SAP2000 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen azaltma katsayısının ne olacağı konusu net olmamakla birlikte, uygulamada yapısal sistemin yapı davranış katsayısı için kullanılan R katsayısına eşit alınabilmektedir. Bu çalışmada bu azaltma katsayısı, sınırlı süneklik düzeyi için kullanılan R katsayısı esas alınarak 4 olarak dikkate alınmıştır.

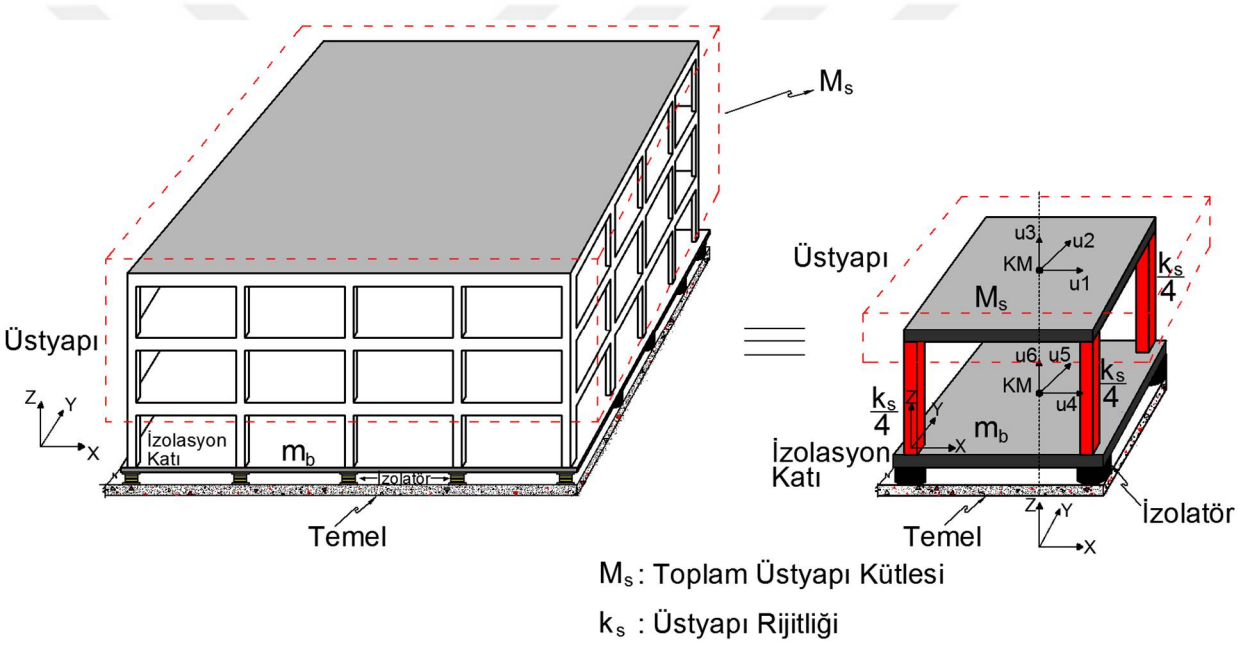


Şekil 3.16: Üç katlı bina üstyapısının tam üç boyutlu taban ankastre modelinin şematik görünüşü. Model, temel seviyesinde yer ivmesi kayıtlarının %5 sönümlü ivme spektrumlarına ($S_{ag} - T$) maruz kalmaktadır: Yöntem C.

Çalışma kapsamında ortaya konulan ve özellikle üstyapının Yöntem C'ye göre daha gerçekçi ve nihai duruma daha yakın ön tasarımı için önerilen yaklaşık yöntemlerden diğeri olan Yöntem B'de, iki ayrık model (i) taban katı üzerinde yükselen üstyapı kısmının üç serbestlik dereceli tek bir kat olarak modellendiği sismik izolasyonlu model ve (ii) tam üç boyutlu taban ankastre model kullanılmaktadır. Bütünleşik bir model yerine ayrık iki modelin birlikte kullanıldığı bu yaklaşımda, Yöntem C'den belirgin bir farklılık olarak, analizlerde üstyapı ve sismik izolasyon sisteminin etkileşimi dolaylı olarak da olsa dikkate alınmaktadır. Yöntem B'nin Yöntem C'ye diğer bir üstünlüğü de, izolasyon sisteminin davranışına ait yaklaşık bilgilerin de ön tasarım aşamasında edinilebilmesidir. Bu tezde, sismik izolasyonlu yaklaşık bina modeline ait doğrusal

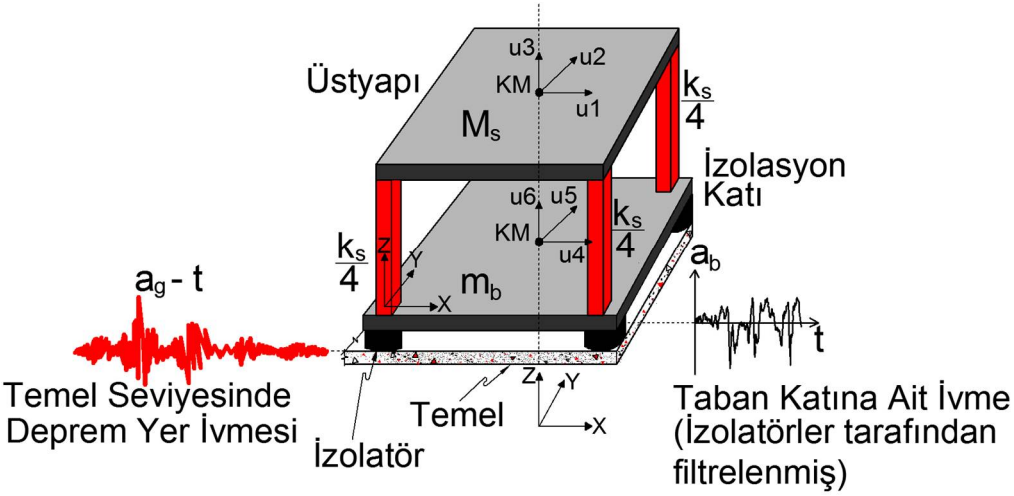
olmayan analizler 3DBASIS yazılımında, tam üç boyutlu taban ankastre bina modelinin spektral analizleri ise SAP2000 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin ana hatları ve nasıl uygulanacağı aşağıda adım adım anlatılmıştır:

Aşama 1: 3DBASIS yazılımında taban katı üzerinde yükselen tek katlı sismik izolasyonlu yaklaşık model oluşturulur (Şekil 3.17). Taban katı üzerindeki tek katlı kısmın kütlesi, tüm üstyapı kütlesine (M_s) eşit olarak modellenir. Bu üstyapı kesme çerçevesi (shear building) olarak modellenir. Taban katı kütlesi (m_b) modele ayrıca girilir. Kesme çerçevesinin kolon rijitlikleri toplamı, yani kat rijitliği k_s, üstyapı yaklaşık periyodu olan T_a elde edilecek şekilde seçilir. Bununla ilgili hesaplama detayları Bölüm 3.4.2'de verilmiştir.



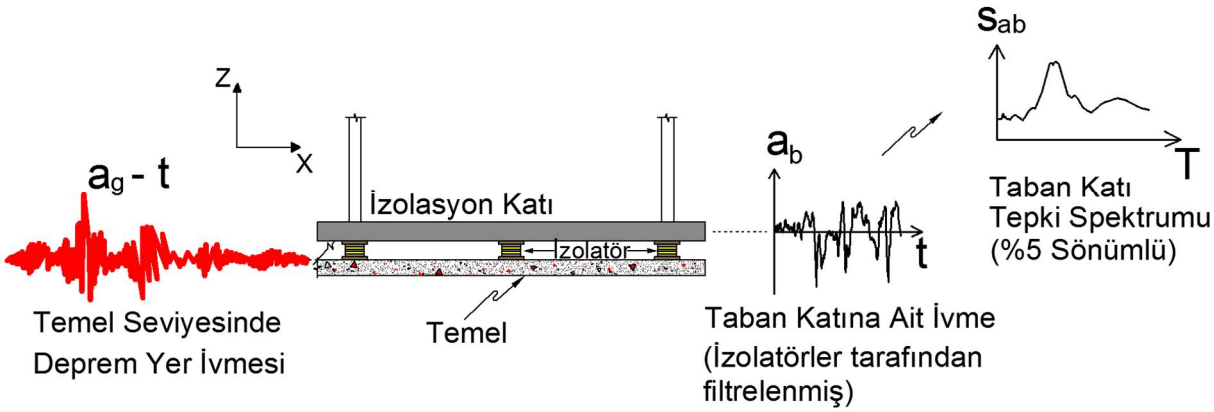
Şekil 3.17: Taban katı üzerinde yükselen üstyapı kısmının üç serbestlik dereceli tek bir kat olarak modellendiği sismik izolasyonlu model.

Bu model, temel seviyesinde deprem yer ivmesi-zaman (a_g-t) kayıtlarına maruz bırakılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri gerçekleştirilir. Taban katına ait ivme-zaman tepkisi (a_b-t) elde edilir. Bir anlamda, deprem kayıtlarının sismik izolasyon isteminin yüksek frekansları filtreleme etkisi sonucu filtrelenmiş şekildeki taban ivme kayıtları elde edilir (Şekil 3.18).

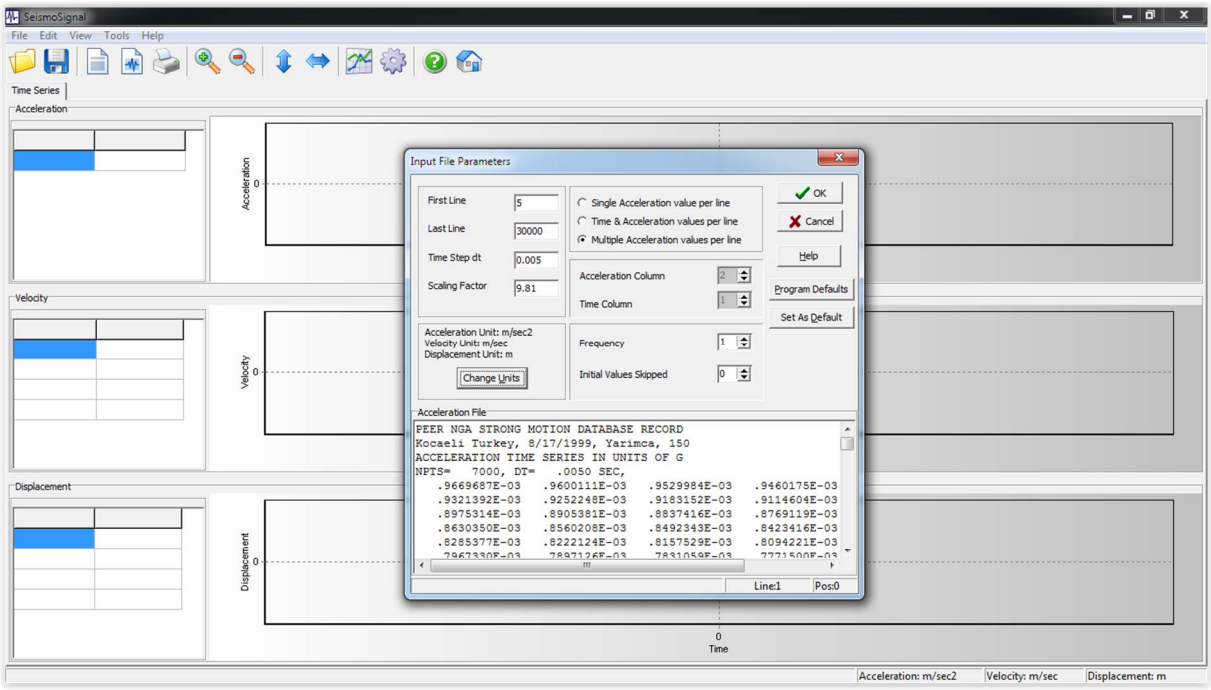


Şekil 3.18: Deprem etkisi altında toplu üstyapı kütlesine sahip tek katlı yaklaşık sismik izolasyonlu sistem modeli. Model, temel seviyesinde yer ivmesi-zaman (a_g-t) kaydına maruz kalmaktadır: Yöntem B – Aşama 1.

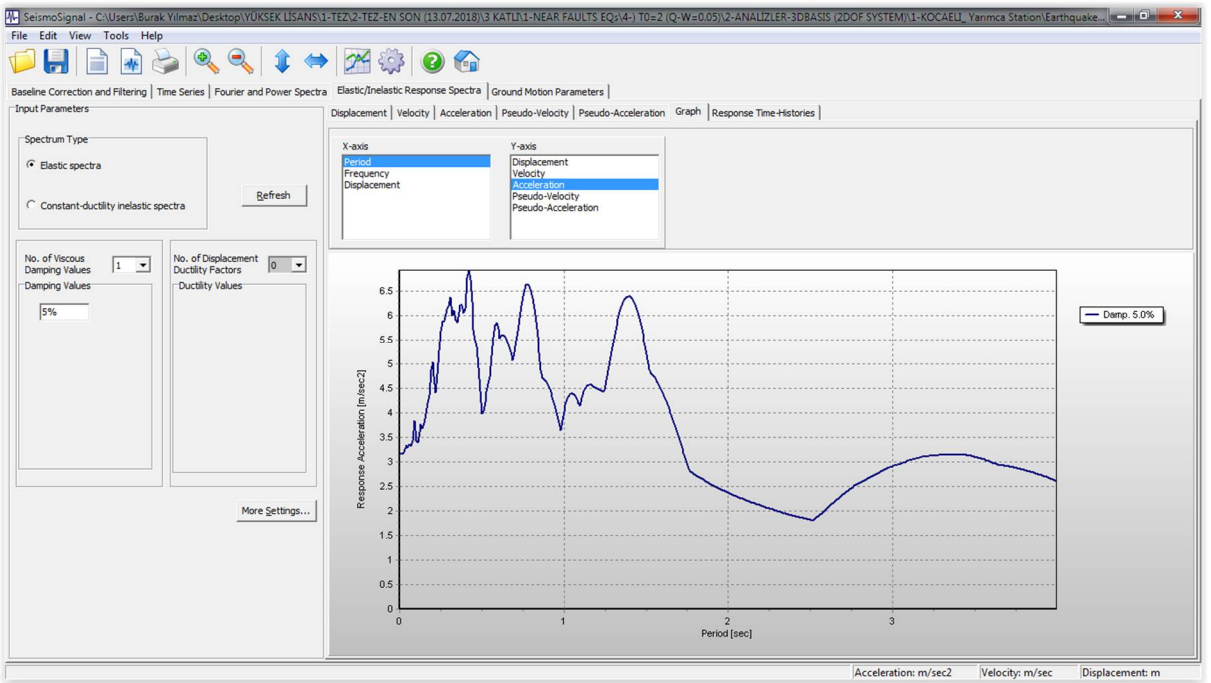
Aşama 2: Aşama 1'de elde edilen taban ivmesi kayıtlarının (a_b-t) üstyapı sönüm değeri olarak dikkate alınmış olan %5 sönümlü spektral ivmeleri elde edilir (Şekil 3.19). Bu spektrum aslında taban katı tepki spektrumudur (S_{ab}-T). Söz konusu işlem Seismosignal (SEISMOSOFT, 2019) yazılımında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.20 ve 3.21). Ayrık taban ankastre olarak modellenen üstyapıya bu ivme spektrumu (S_{ab}-T), 3. aşamada deprem etkisi olarak etkitilecektir (Şekil 3.22).



Şekil 3.19: Taban katı ivme-zaman kaydından (a_b-t) taban katı tepki spektrumu (S_{ab}-T) elde edilmesi: Yöntem B – Aşama 2.

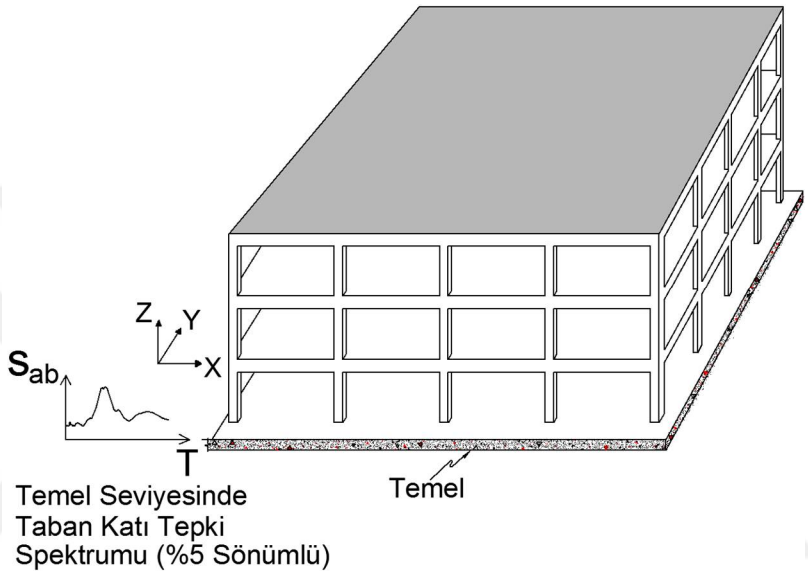


Şekil 3.20: Seismosignal yazılımı genel görünüşü- 1/2 (SEISMOSOFT, 2019).



Şekil 3.21: Seismosignal yazılımı genel görünüşü- 2/2 (SEISMOSOFT, 2019).

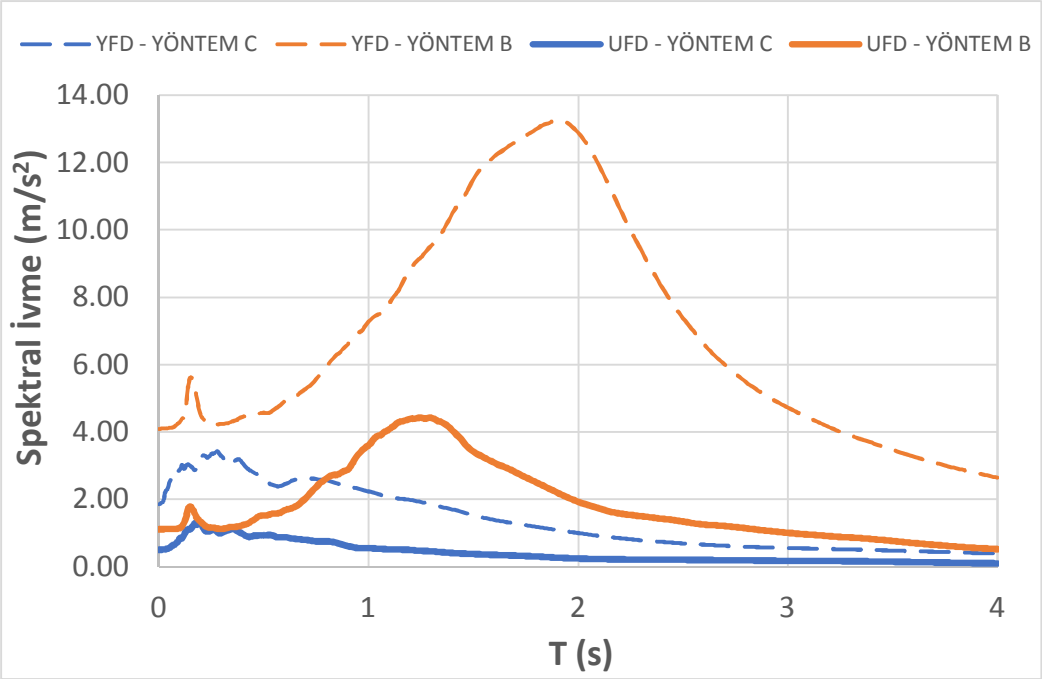
Aşama 3: Aşama 2'de elde edilen taban katı tepki spektrumu (S_{ab}-T), tam üç boyutlu olarak SAP2000'de modellenen taban ankastre modele temel seviyesinde etkitilir ve spektral analiz gerçekleştirilir (Şekil 3.22). Analizler sonucunda, ön tasarım için gerekli olan tüm katların tabana göre deplasmanları (göreli deplasmanlar), taban (izolasyon sistemi) deplasmanları, mutlak kat ivmeleri, taban kesme kuvveti, kolon ve kiriş gibi yapısal elemanların iç kesit tesirleri (kesme, eğilme, vb) elde edilir.



Şekil 3.22: Üç katlı bina üstyapısının tam üç boyutlu taban ankastre modelinin şematik görünüşü. Model, temel seviyesinde taban katı tepki spektrumuna (%5 sönümlü S_{ab} – T) maruz kalmaktadır: Yöntem B – Aşama 3.

Yöntem B ve Yöntem C'nin Yöntem A'ya göre ne kadar yakın sonuçlar verdiği Bölüm 4'te çeşitli yapısal tepki parametreleri cinsinden detaylı bir şekilde incelenecektir. Ancak burada, Yöntem B ve Yöntem C, taban ankastre üstyapı modeline yüklenecek olan spektral ivmelerin doğrudan karşılaştırılması suretiyle genel olarak karşılaştırılacaktır. Şekil 3.23'te uzak fay depremleri (UFD) ve yakın fay depremleri (YFD) için Yöntem C'de kullanılan ortalama deprem kaydı spektrumları ile Yöntem B'de kullanılan taban katı ortalama tepki spektrumları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Her bir kayıt için elde edilen spektral değerlerin ortalamaları karşılaştırılmıştır. Yöntem C için spektrumlar, bu çalışmada ele alınan azaltma katsayısı olan 4'e bölünerek verilmiştir. Grafik incelendiğinde, öncelikle yakın fay depremlerine ait spektral ivmelerin uzak faya ait olanlardan çok daha büyük olduğu görülmektedir. Yöntem C'de kullanılan spektral ivmelerin tepe değeri daha küçük periyotlarda ortaya çıkarken, Yöntem B

için kullanılan taban katı tepki spektrumunun tepe noktalarının daha uzun periyot bölgesine (sismik izolasyon sisteminin efektif periyoduna) doğru ötelendiği görülmektedir.



Şekil 3.23: Spektral ivme grafiği. Yöntem B grafikleri, üç katlı sismik izolasyonlu model (Q/W=%5, T_0=2s) için elde edilmiştir. Yöntem C grafikleri yer ivmesi kayıtlarına ait olup azaltma katsayısı değeri olarak dikkate alınan 4'e bölünmüştür.

4. BULGULAR

Bu kısımda, Bölüm 3'te detayları verilen ve bu çalışma kapsamında önerilen Yöntem B'nin etkinliği, en gerçekçi sonuçları verdiği kabul edilen Yöntem A'ya göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Halihazırda uygulamada kullanılmakta olan Yöntem C sonuçları da, Yöntem A sonuçları ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Böylece, Yöntem B sonuçlarını Yöntem C sonuçları ile karşılaştırmalı olarak irdeleme imkanı da sağlanmıştır.

Karşılaştırmalar üstyapı tepkileri olan; (i) göreli kat deplasmanları (taban katına göre), (ii) mutlak (toplam) kat ivmeleri ve (iii) kat kesme kuvvetleri açısından yapılmıştır. Karşılaştırmalı sonuçlar, söz konusu yapısal tepkilerin pik değerlerinin Yöntem A'ya göre oranları cinsinden (Yöntem B / Yöntem A ve Yöntem C / Yöntem A) olarak verilmiştir. Bu oranlar 1.00'a ne kadar yakınsa, yaklaşık yöntemler olan B veya C o kadar etkin olup ön tasarım nihai tasarıma o kadar yakın yapılabilir. Bu durumu değerlendirebilmek açısından ilgili oran grafiklerinde 1.00 seviyesine kalın bir çizgi çekilmiştir. Oranların 1.00'dan büyük olması durumunda ön tasarımda yapısal eleman boyutları olması gerekenden büyük çıkacaktır. Oranların 1.00'dan küçük olması durumunda ise ön tasarımda yapısal eleman boyutları küçük çıkacaktır. Kısacası, hesaplanan oranların 1.00'ın çok altında veya çok üstünde olması durumunda, üstyapı nihai tasarımı için büyük revizyon gerektirecek olması nedeniyle zor olmaktadır.

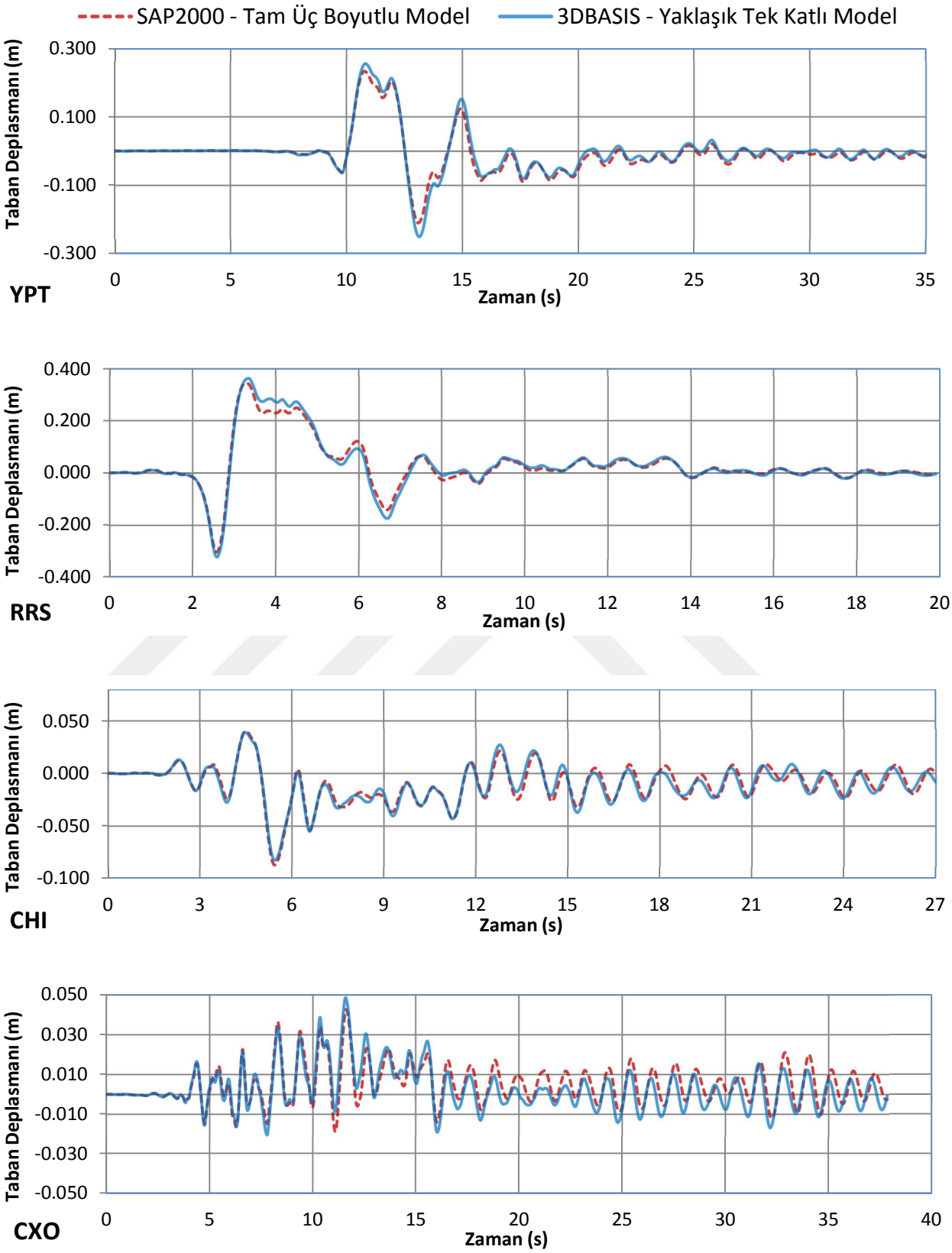
Çalışma kapsamında 11 adet yakın ve 11 adet uzak olmak üzere 22 adet kayıt kullanılmıştır. Her bir deprem için sonuçların ayrı ayrı sunumu, çok fazla yer tutmaması için, sadece 1. Kat için verilmiştir. Fakat tüm katlara ait sonuçlar, deprem bazında değil, deprem ortalamalarını yansıtan grafikler olarak sunulmuştur. Ayrıca, ortalamalar, yakın fay ve uzak fay depremleri için kendi içerisinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Analizler hem 3 hem de 8 katlı bina ve tüm izolasyon sistemleri (QW5T02, QW5T04, QW7.5T02, QW7.5T04) için gerçekleştirilmiştir.

Yöntem B ve Yöntem C'nin geçerliliği incelenirken, yapılan ilk tahmini modelde kütlenin tam olarak bilinmediği gerçeği dikkate alınarak bina toplam kütlesinde ± %10'luk değişimler öngörülmüş ve tüm analizler bu 3 farklı kütle durumu için gerçekleştirilmiştir. Grafiklerde yer alan sonuçlarda, bu durumları belirtmek için M, M + %10 M ve M - %10 M lejantları kullanılmıştır. Burada, M binanın toplam kütlesidir ve kütlenin tam doğru alındığı durumu temsil eder. M + %10 M binanın toplam kütlesinin %10 fazla tahmin edildiği, M - %10 M ise

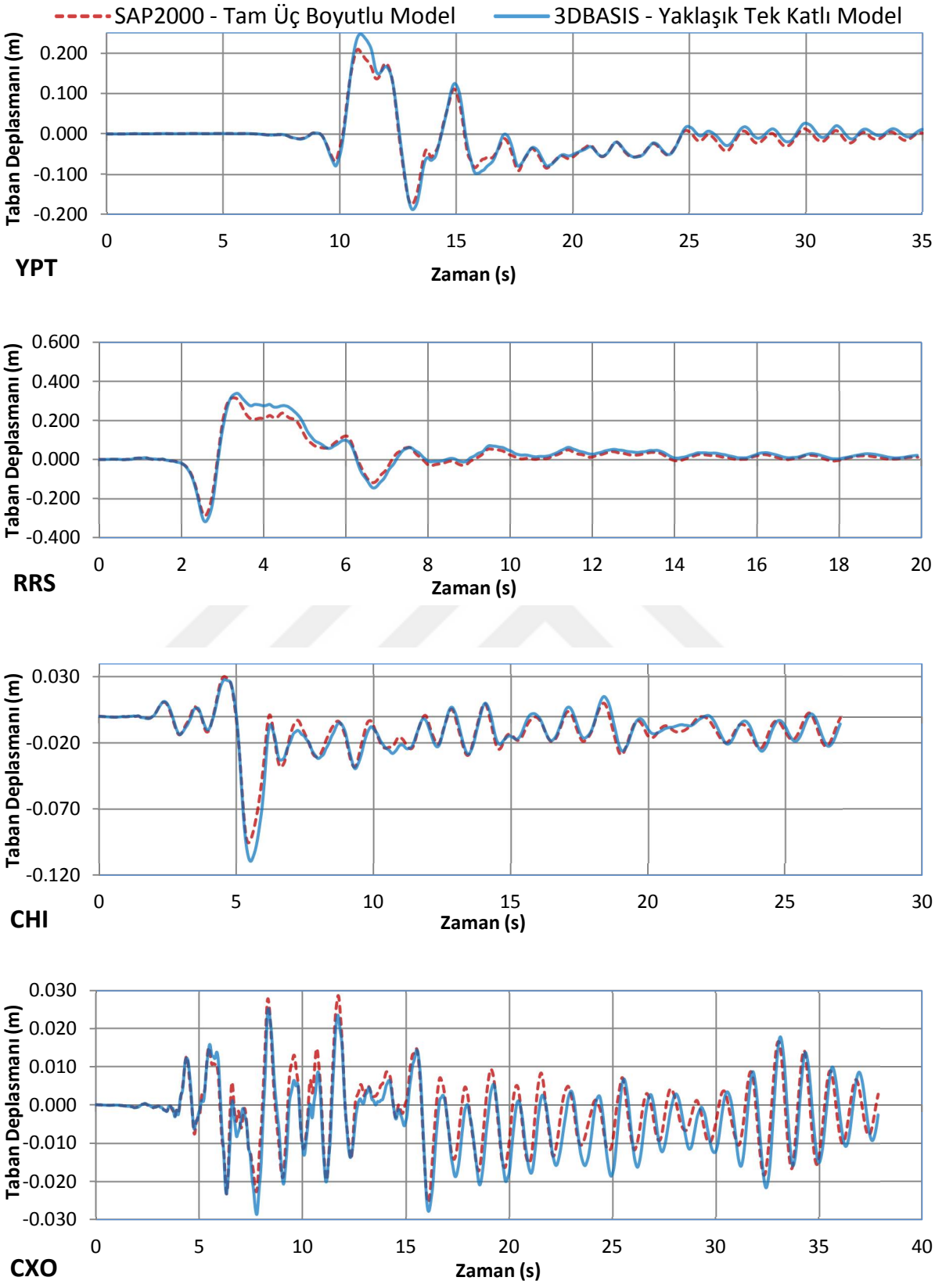
binanın toplam kütlesinin %10 eksik tahmin edildiği durumları temsil etmektedir. Söz konusu kütle artış ve azalışları tüm katlar için aynı oranda alınmıştır.

Her alt bölümün başında, oransal değerlerden önce, ortaya çıkan durumu tam olarak tarif edebilmek amacıyla, gerçek yapısal tepki değerleri de örnek olarak seçilen QW5T02 sismik izolasyon sistemi için tüm analiz yöntemleri (Yöntem A, Yöntem B, Yöntem C), her bir deprem kaydı ve her bir kat için tablolar halinde sunulmuştur.

Aşağıda ayrıca, öncelikle Yöntem B'de kullanılmak üzere 3DBASIS yazılımında modellenen tek katlı üç boyutlu yaklaşık sismik izolasyonlu modelin Yöntem A'da kullanılmak üzere SAP2000 yazılımında modellenen tam üç boyutlu sismik izolasyonlu modeli ne kadar doğru temsil edebildiğini göstermek açısından, taban deplasmanı-zaman grafikleri örnek yakın fay (YPT ve RRS) ve örnek uzak fay (CHI ve CXO) depremleri için üç ve sekiz katlı binalarda sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de QW7.5T04 doğrusal olmayan izolasyon sistemi için sunulmuştur. Şekillerden de anlaşılacağı gibi, her iki model için de elde edilen taban deplasmanları hemen hemen aynıdır. Yani üstyapıların basitleştirilmiş tek katlı modeli kullanıldığında, zaman tanım alanı boyunca gerçek tam üç boyutlu modellerin kullanıldığı durum doğru bir şekilde yakalanmaktadır. Burada ayrıca belirtmek gerekir ki, önerilen Yöntem B ile, ön tasarım aşamasında izolasyon sistemi yapısal tepkileri de yaklaşık olarak elde edilebilmektedir.



Şekil 4.1: 3 katlı bina için örnek yakın ve uzak fay depremleri altında taban deplasman grafikleri.



Şekil 4.2: 8 katlı bina için örnek yakın ve uzak fay depremleri altında taban deplasman grafikleri.

4.1. ÜÇ KATLI BİNA İÇİN ANALİZ SONUÇLARI

4.1.1. Kat Deplasmanları

4.1.1.1. Yakın Fay Kat Deplasmanları

Tablo 4.1'de tüm yöntemler için tüm katlara ait deplasman değerleri (oransal olmayan) örnek olarak QW5T02 izolasyon sistemi için toplu olarak verilmiştir. Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A deplasman oranı grafikleri tüm izolasyon sistemleri için sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te sunulmuştur. 11 yakın fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A deplasman oranlarının ortalamaları, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sırasıyla sunulmuştur.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'ten görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen deplasman oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, örneğin, QW5T02 için (Şekil 4.3a) kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran E08 depreminde ve 0.56 iken, en büyük oran 1.03'e kadar (DZC depreminde) çıkabilmektedir. Bu oranlar, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.48-0.98 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.72-1.08 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.70-1.04 arasında değişmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları irdelendiğinde ise oranların, kütlenin değişmediği durumda (M), QW5T02 izolasyon sistemi için 0.25-1.07 arasında, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.65-3.14 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.28-1.07 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.65-2.81 arasında değiştiği görülmüştür. Bu grafiklerden dahi bu tez kapsamında önerilen Yöntem B'nin Yöntem C'ye göre başarısı ortaya çıkmaktadır. Örneğin QW5T04 izolasyon sistemi için Yöntem B/Yöntem A'da 0.48-0.98 arasında değişen oranlar, Yöntem C/Yöntem A'da 0.65-3.14 aralığına yükselmiştir.

Buraya kadarki irdelemeler, yalnızca 1.kat deplasman oranları üzerinden her bir deprem için yapılmıştır. Bunun yanında ortalama deplasman oranlarına bakıldığında izolasyon sistemi tipine göre de farklılık olmakla birlikte bu farklılıklar Yöntem B söz konusu olduğunda az iken Yöntem C söz konusu olduğunda, özellikle farklı izolasyon periyotları için önemli farklılıklar arz etmektedir. Yöntem B için Şekil 4.5'teki izolasyon sistemleri karşılaştırıldığında aynı bir kat için, örneğin 1.kat için, QW5T02 izolasyon sistemi için oran 0.88 iken, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.86, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.94 ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için ise bu oran 0.95 olmaktadır. Farklı izolasyon tipleri için başarı oranları benzerdir. Buna karşın

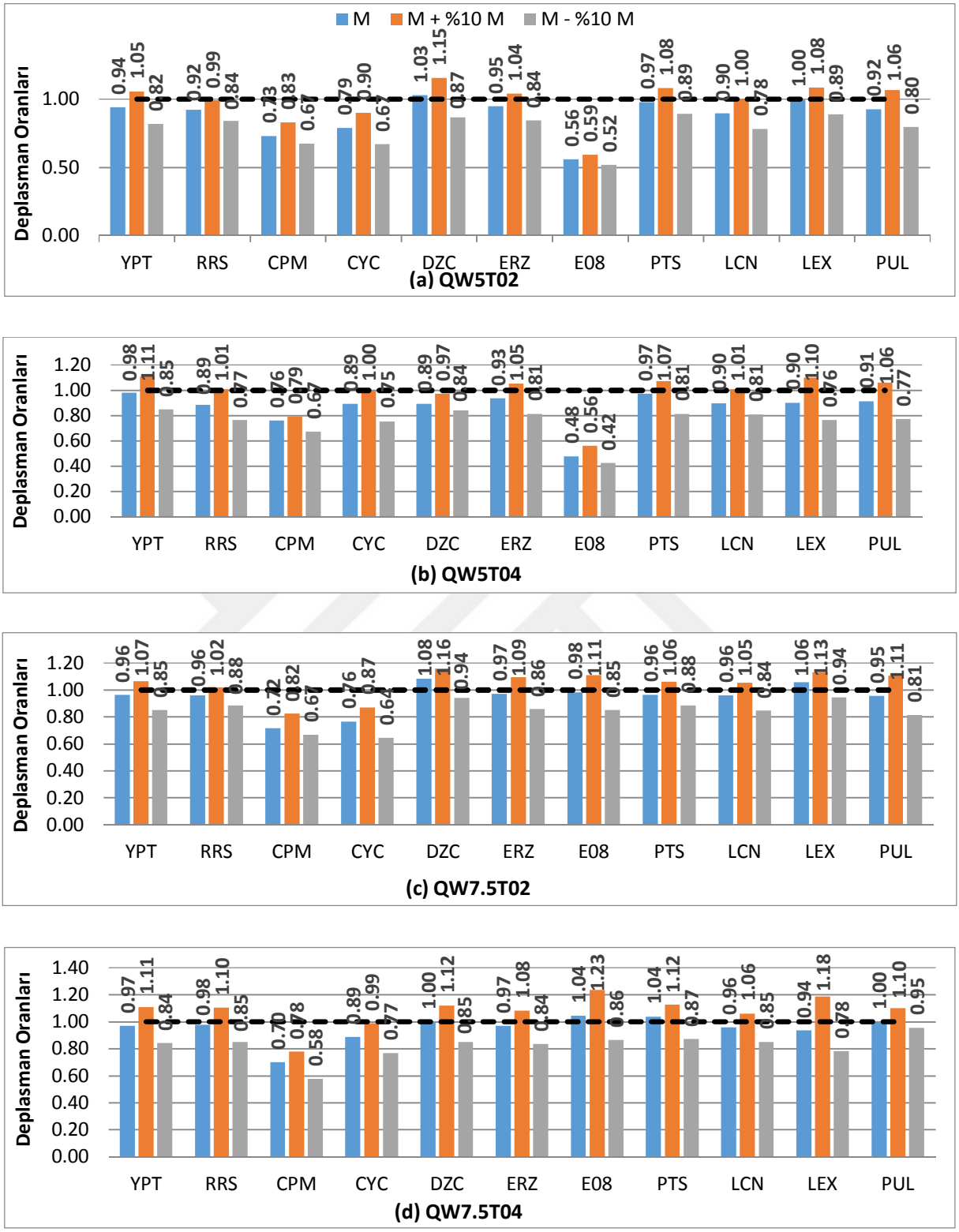
Yöntem C söz konusu olduğunda 1.kat için bu oranlar sırası ile 0.63, 1.60, 0.66, 1.43 olmaktadır (Şekil 4.6). Yani Yöntem C, izolasyon tipine ve özellikle izolasyon sistemi periyoduna oldukça duyarlıdır.

Ortalama oran grafikleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Ortalama deplasman oranları değerlendirildiğinde, Şekil 4.5'te ortalama deplasman oranlarının 1.00'a çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Ortalama deplasman değerleri için kütlenin saptığı durumlarda dahi, aynı seviyede olmasa da, Yöntem B özellikle Yöntem C'ye göre etkindir. Fakat Şekil 4.6'da ortalama oranların 1.00'ın oldukça altında veya üstünde olduğu durumlar söz konusudur. Şekil 4.5'te verilen Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları tüm izolasyon sistemlerinde kat bazında incelendiğinde; 1.kat için 0.86-0.95 aralığında, 2.kat için 0.96-1.05 aralığında, 3.kat için ise 1.01-1.10 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda ortalama oranlar 1.kat için 0.98-1.08 aralığında, 2.kat için 1.09-1.19 aralığında, 3.kat için ise 1.14-1.23 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar 1.kat için 0.75-0.83 aralığında, 2.kat için 0.84-0.93 aralığında, 3.kat için ise 0.88-0.98 aralığında değişmiştir. Şekil 4.6'da verilen Yöntem C/Yöntem A ortalama deplasman oranları incelendiğinde Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranlarının 0.5-2 katı aralığında olduğu görülmektedir. Örneğin, QW5T04 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 1.kat ortalama deplasman oranı Yöntem B/Yöntem A'da 0.86 iken Yöntem C/Yöntem A'da 1.60 olmaktadır. Öte yandan QW7.5T02 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 1.kat ortalama deplasman oranı Yöntem B/Yöntem A'da 0.94 iken Yöntem C/Yöntem A'da 0.66'ya düşmüştür.

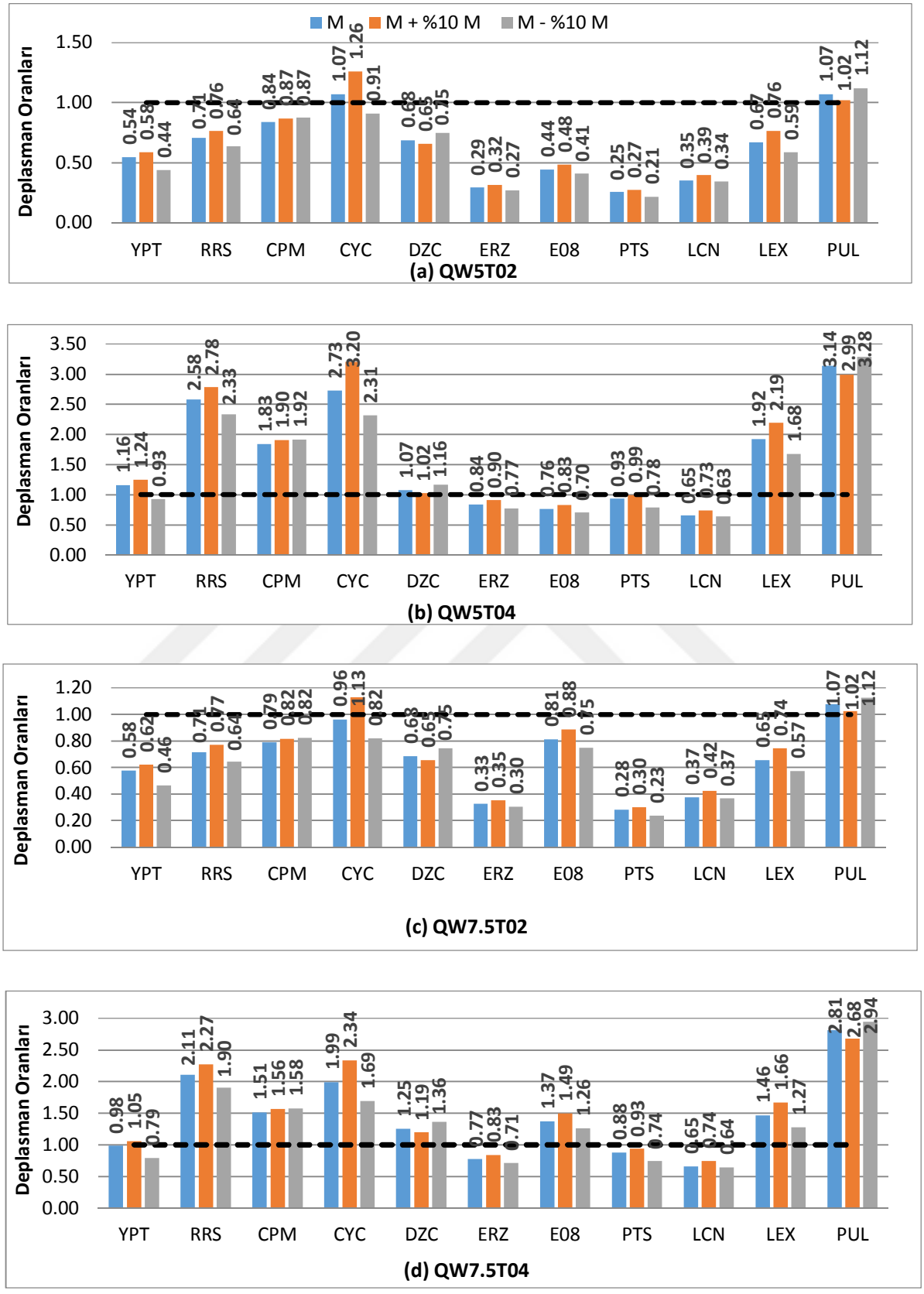
Tablo 4.1: Farklı yöntemler ile yakın fay depremleri altında elde edilen kat deplasmanları – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli. *

		YÖNTEM A				YÖNTEM B			YÖNTEM C		
Kayıtlar	**Taban Katı (cm)**	**1.Kat (cm)**	**2.Kat (cm)**	**3.Kat (cm)**	**Spektral Analizler**	**1.Kat (cm)**	**2.Kat (cm)**	**3.Kat (cm)**	**1.Kat (cm)**	**2.Kat (cm)**	**3.Kat (cm)**
YPT	19.40	0.64	1.14	1.41	M	0.60	1.20	1.55	0.35	0.70	0.90
					M + %10 M	0.67	1.35	1.74	0.37	0.75	0.97
					M - %10 M	0.52	1.05	1.35	0.28	0.56	0.72
RRS	50.01	1.40	2.48	3.05	M	1.29	2.58	3.33	0.99	1.99	2.57
					M + %10 M	1.39	2.76	3.57	1.07	2.14	2.77
					M - %10 M	1.18	2.35	3.04	0.89	1.79	2.31
CPM	25.58	0.87	1.57	1.94	M	0.63	1.26	1.62	0.72	1.43	1.85
					M + %10 M	0.72	1.43	1.85	0.75	1.48	1.91
					M - %10 M	0.58	1.16	1.50	0.76	1.50	1.93
CYC	19.87	0.70	1.27	1.59	M	0.55	1.10	1.42	0.75	1.50	1.93
					M + %10 M	0.63	1.25	1.62	0.88	1.76	2.27
					M - %10 M	0.47	0.93	1.21	0.64	1.27	1.64
DZC	21.29	0.70	1.25	1.54	M	0.72	1.44	1.85	0.48	0.96	1.24
					M + %10 M	0.81	1.61	2.08	0.46	0.92	1.18
					M - %10 M	0.60	1.21	1.56	0.52	1.04	1.35
ERZ	44.17	1.27	2.25	2.76	M	1.20	2.40	3.10	0.37	0.74	0.96
					M + %10 M	1.32	2.63	3.40	0.40	0.80	1.04
					M - %10 M	1.07	2.14	2.76	0.34	0.69	0.89
E08	33.42	0.98	1.73	2.12	M	0.55	1.09	1.41	0.43	0.87	1.12
					M + %10 M	0.58	1.16	1.50	0.47	0.95	1.22
					M - %10 M	0.51	1.02	1.31	0.40	0.80	1.03
PTS	67.28	1.85	3.27	4.01	M	1.80	3.61	4.66	0.47	0.95	1.22
					M + %10 M	2.00	4.00	5.16	0.50	1.01	1.30
					M - %10 M	1.65	3.30	4.26	0.40	0.80	1.03
LCN	33.40	1.00	1.77	2.17	M	0.89	1.78	2.30	0.35	0.69	0.89
					M + %10 M	1.00	1.99	2.57	0.39	0.78	1.00
					M - %10 M	0.78	1.55	2.01	0.34	0.67	0.87
LEX	24.01	0.75	1.33	1.64	M	0.74	1.49	1.92	0.50	1.00	1.30
					M + %10 M	0.81	1.61	2.08	0.57	1.15	1.48
					M - %10 M	0.66	1.32	1.71	0.44	0.88	1.13
PUL	42.41	1.24	2.21	2.73	M	1.15	2.29	2.96	1.33	2.66	3.43
					M + %10 M	1.32	2.64	3.41	1.26	2.53	3.27
					M - %10 M	0.99	1.98	2.55	1.39	2.78	3.60

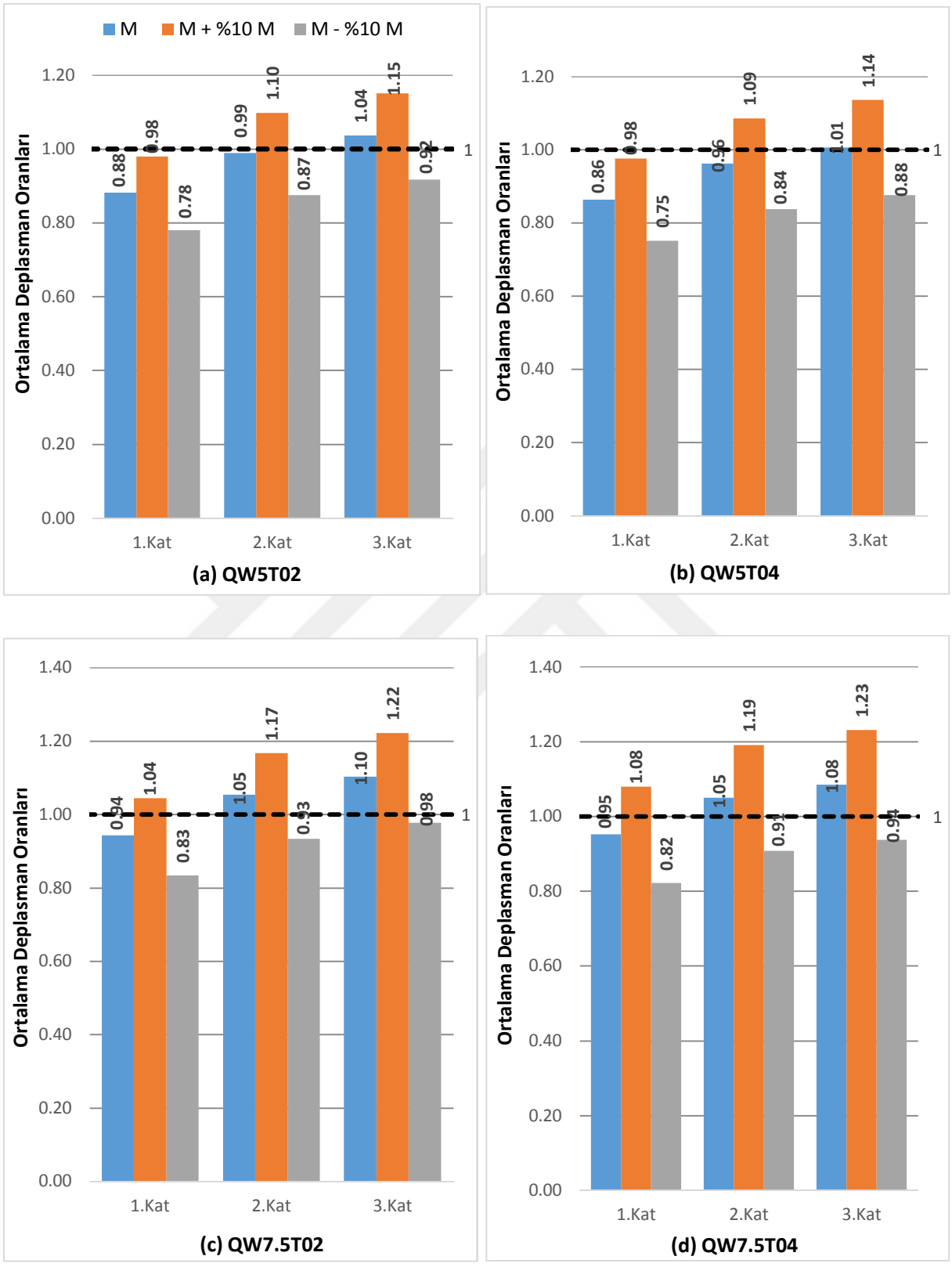
* Taban katı deplasmanı yere göre, 1., 2., 3. kat deplasmanları tabana göre verilmiştir.



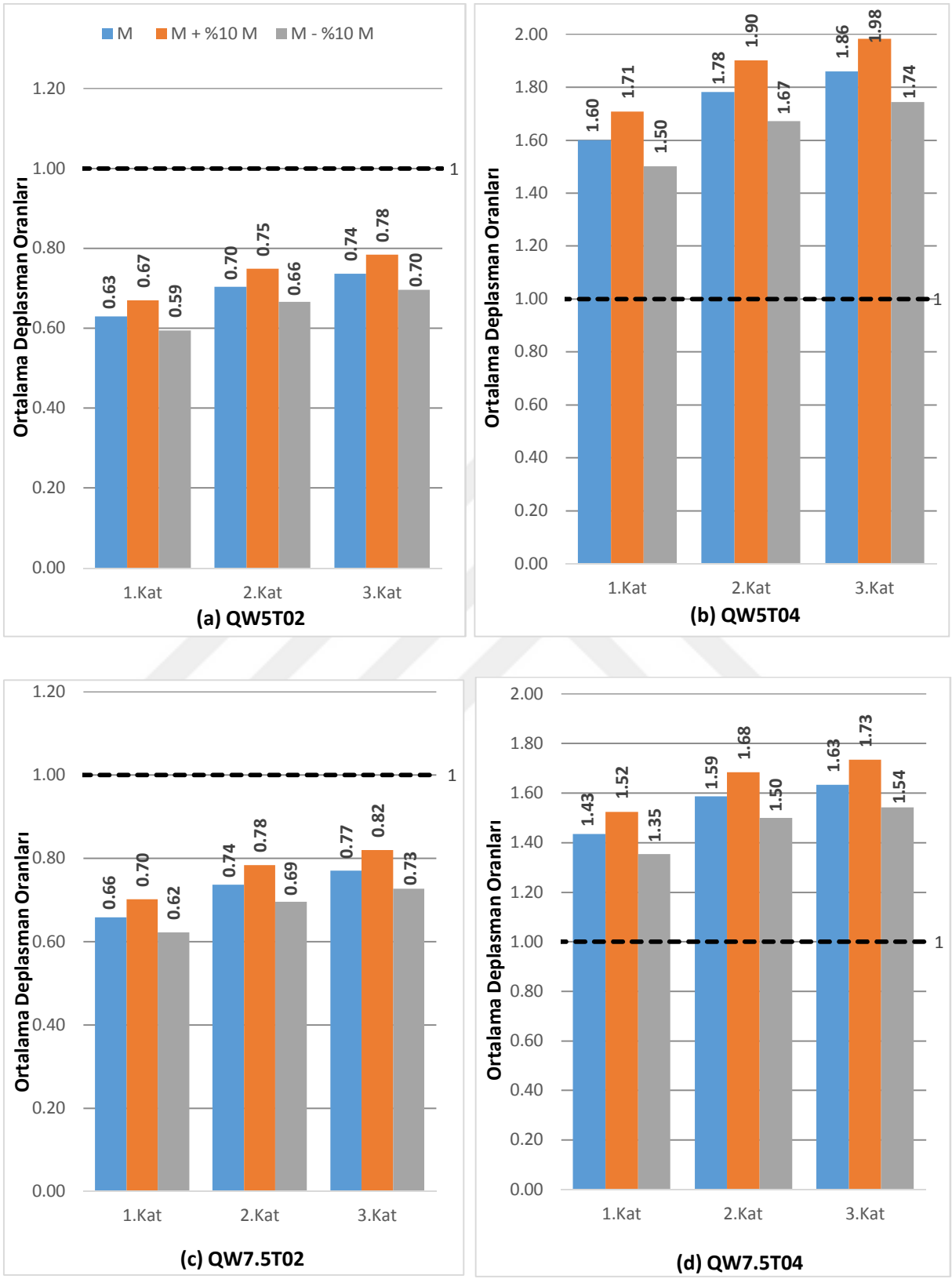
Şekil 4.3: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A deplasman oranları.



Şekil 4.4: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A deplasman oranları.



Şekil 4.5: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları.



Şekil 4.6: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama deplasman oranları.

4.1.1.2. Uzak Fay Kat Deplasmanları

Tablo 4.2'de tüm yöntemler için tüm katlara ait deplasman değerleri (oransal olmayan) örnek olarak QW5T02 izolasyon sistemi için toplu olarak verilmiştir. Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A deplasman oranı grafikleri tüm izolasyon sistemleri için sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sunulmuştur. 11 uzak fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A deplasman oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da sunulmuştur.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'den görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen deplasman oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, örneğin, QW5T02 için (Şekil 4.7a) kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran TAF depreminde ve 0.79 iken, en büyük oran 1.04'e kadar (CXO depreminde) çıkabilmektedir. Bu oranlar, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.81-1.17 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.83-1.05 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.92-1.08 arasında değişmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları irdelendiğinde ise oranların, kütlenin değişmediği durumda (M), QW5T02 izolasyon sistemi için 0.29-1.47 arasında, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.53-2.14 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.32-1.09 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.45-1.52 arasında değiştiği görülmüştür. Görüldüğü üzere, Yöntem B sonuçları Yöntem C'den daha etkindir. Örneğin QW5T04 izolasyon sistemi için Yöntem B/Yöntem A'da 0.81-1.17 arasında değişen oranlar, Yöntem C/Yöntem A'da 0.53-2.14 aralığına yükselmiştir.

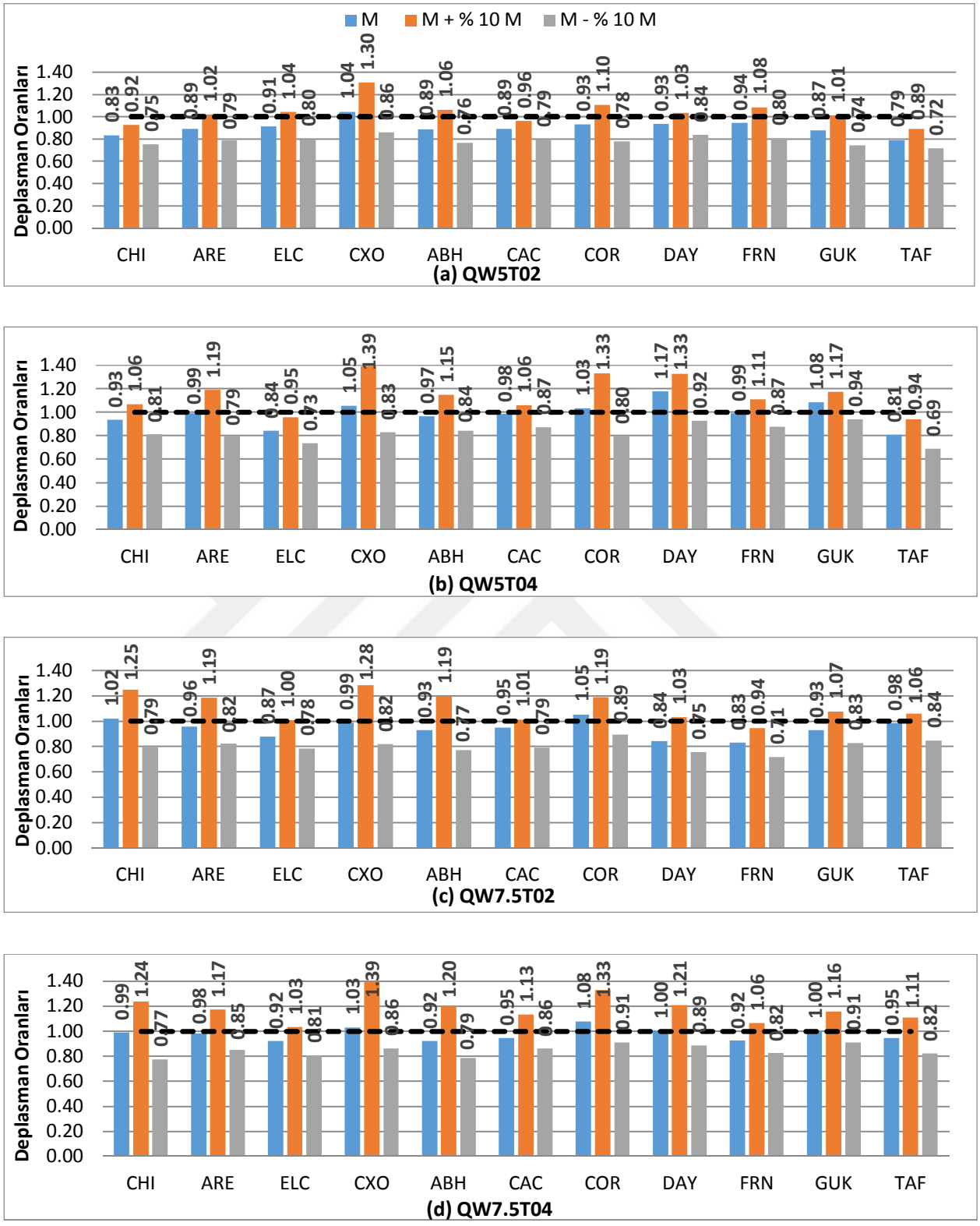
Buraya kadarki irdelemeler, yalnızca 1.kat deplasman oranları üzerinden her bir deprem için yapılmıştır. Bunun yanında ortalama deplasman oranlarına bakıldığında izolasyon sistemi tipine göre de farklılık olmakla birlikte bu farklılıklar Yöntem B söz konusu olduğunda az iken Yöntem C söz konusu olduğunda, özellikle farklı izolasyon periyotları için önemli farklılıklar arz etmektedir. Yöntem B için Şekil 4.9'daki izolasyon sistemleri karşılaştırıldığında aynı bir kat için, örneğin 1.kat için, QW5T02 izolasyon sistemi için oran 0.90 iken, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.99, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.94 ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için ise bu oran 0.98 olmaktadır. Yöntem C için Şekil 4.10'a bakıldığında, 1.kat için bu oranlar sırası ile 0.70, 1.11, 0.59, 0.82 olmaktadır. Farklı izolasyon tipleri için Yöntem B'de etkinlik oranları benzerken, Yöntem C söz konusu olduğunda izolasyon tipine ve özellikle izolasyon sistemi periyoduna göre önemli farklılıklar gözlenmektedir.

Ortalama deplasman oranları Yöntem B için 1.00'a yakın iken (Şekil 4.9), Yöntem C için sapmaktadır (Şekil 4.10). Ortalama deplasman değerleri için kütle sapsa dahi Yöntem B, Yöntem C'ye göre çok daha etkindir. Üst katlara çıkıldıkça ortalama oranların hem Yöntem B hem de Yöntem C'de arttığı görülmektedir. Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları tüm izolasyon sistemlerinde kat bazında incelendiğinde; 1.kat için 0.90-0.99 aralığında, 2.kat için 1.01-1.09 aralığında, 3.kat için ise 1.05-1.13 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda ortalama oranlar 1.kat için 1.04-1.18 aralığında, 2.kat için 1.16-1.31 aralığında, 3.kat için ise 1.21-1.36 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar 1.kat için 0.78-0.84 aralığında, 2.kat için 0.88-0.93 aralığında, 3.kat için ise 0.92-0.97 aralığında değişmiştir. Kısacası ortalama deplasman oranları bakımından her katta önerilen yöntem ile olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 4.10'da verilen Yöntem C/Yöntem A ortalama deplasman oranları incelendiğinde Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranlarının 0.5-1.5 katı aralığında olduğu görülmektedir. Örneğin, QW5T04 izolasyon sisteminde, M - %10 M kütle durumunda, 3.kat ortalama deplasman oranı Yöntem B/Yöntem A'da 0.95 iken Yöntem C/Yöntem A'da 1.25'e yükselmektedir. Öte yandan QW5T02 izolasyon sisteminde, M + %10 M kütle durumunda, 1.kat ortalama deplasman oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.04 iken Yöntem C/Yöntem A'da 0.74'e düşmektedir. Yine QW5T02 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 2.kat ortalama deplasman oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.01 iken Yöntem C/Yöntem A'da 0.79 olmaktadır.

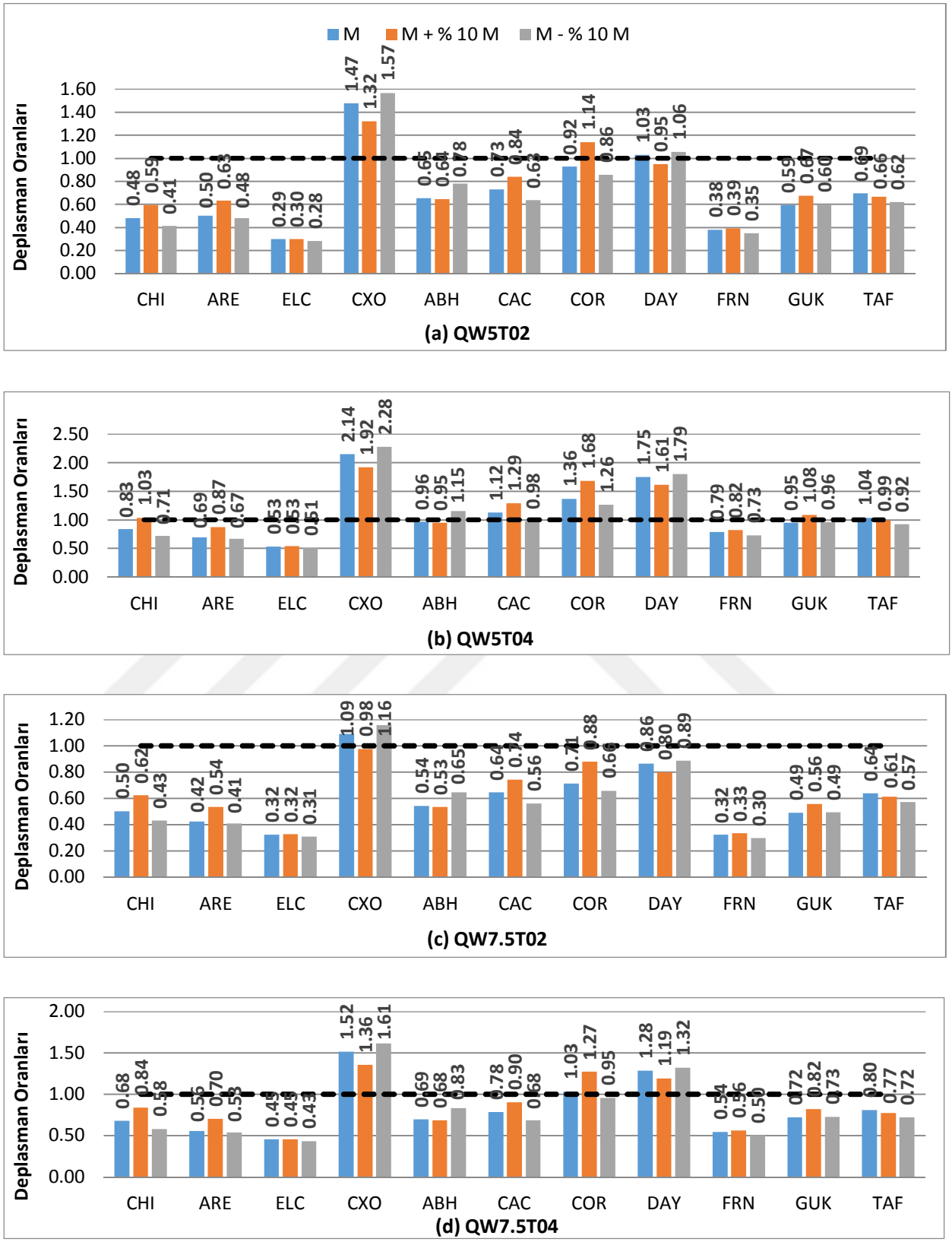
Tablo 4.2: Farklı yöntemler ile uzak fay depremleri altında elde edilen kat deplasmanları – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli. *

		YÖNTEM A				YÖNTEM B			YÖNTEM C		
Kayıtlar	**Taban Katı (cm)**	**1.Kat (cm)**	**2.Kat (cm)**	**3.Kat (cm)**	**Spektral Analizler**	**1.Kat (cm)**	**2.Kat (cm)**	**3.Kat (cm)**	**1.Kat (cm)**	**2.Kat (cm)**	**3.Kat (cm)**
CHI	9.44	0.37	0.65	0.80	M	0.30	0.61	0.79	0.18	0.35	0.45
					M + %10 M	0.34	0.68	0.87	0.22	0.43	0.56
					M - %10 M	0.27	0.55	0.71	0.15	0.30	0.39
ARE	3.10	0.20	0.35	0.43	M	0.18	0.35	0.45	0.10	0.19	0.25
					M + %10 M	0.20	0.40	0.51	0.12	0.24	0.31
					M - %10 M	0.15	0.31	0.40	0.09	0.19	0.24
ELC	9.50	0.38	0.67	0.82	M	0.34	0.69	0.88	0.11	0.22	0.29
					M + %10 M	0.39	0.78	1.01	0.11	0.22	0.29
					M - %10 M	0.30	0.60	0.77	0.11	0.21	0.27
CXO	3.68	0.22	0.40	0.50	M	0.23	0.46	0.59	0.33	0.65	0.84
					M + %10 M	0.29	0.58	0.74	0.29	0.58	0.75
					M - %10 M	0.19	0.38	0.49	0.35	0.69	0.90
ABH	4.39	0.24	0.43	0.52	M	0.21	0.42	0.55	0.16	0.31	0.41
					M + %10 M	0.25	0.51	0.66	0.15	0.31	0.40
					M - %10 M	0.18	0.37	0.47	0.19	0.38	0.48
CAC	3.93	0.23	0.42	0.52	M	0.21	0.41	0.53	0.17	0.34	0.44
					M + %10 M	0.22	0.45	0.58	0.20	0.39	0.50
					M - %10 M	0.19	0.37	0.48	0.15	0.30	0.38
COR	6.07	0.29	0.51	0.63	M	0.27	0.53	0.69	0.26	0.53	0.69
					M + %10 M	0.32	0.63	0.81	0.33	0.65	0.85
					M - %10 M	0.22	0.44	0.57	0.24	0.49	0.63
DAY	6.17	0.28	0.50	0.62	M	0.27	0.52	0.68	0.29	0.57	0.74
					M + %10 M	0.29	0.58	0.75	0.27	0.53	0.68
					M - %10 M	0.24	0.47	0.61	0.30	0.59	0.77
FRN	10.06	0.39	0.71	0.88	M	0.37	0.74	0.96	0.15	0.30	0.38
					M + %10 M	0.43	0.85	1.10	0.15	0.31	0.39
					M - %10 M	0.32	0.63	0.82	0.14	0.27	0.35
GUK	5.95	0.29	0.52	0.64	M	0.25	0.51	0.65	0.17	0.34	0.44
					M + %10 M	0.29	0.58	0.76	0.20	0.39	0.51
					M - %10 M	0.22	0.43	0.55	0.17	0.35	0.45
TAF	5.32	0.27	0.48	0.59	M	0.21	0.42	0.54	0.18	0.37	0.48
					M + %10 M	0.24	0.47	0.61	0.18	0.35	0.46
					M - %10 M	0.19	0.38	0.49	0.16	0.33	0.43

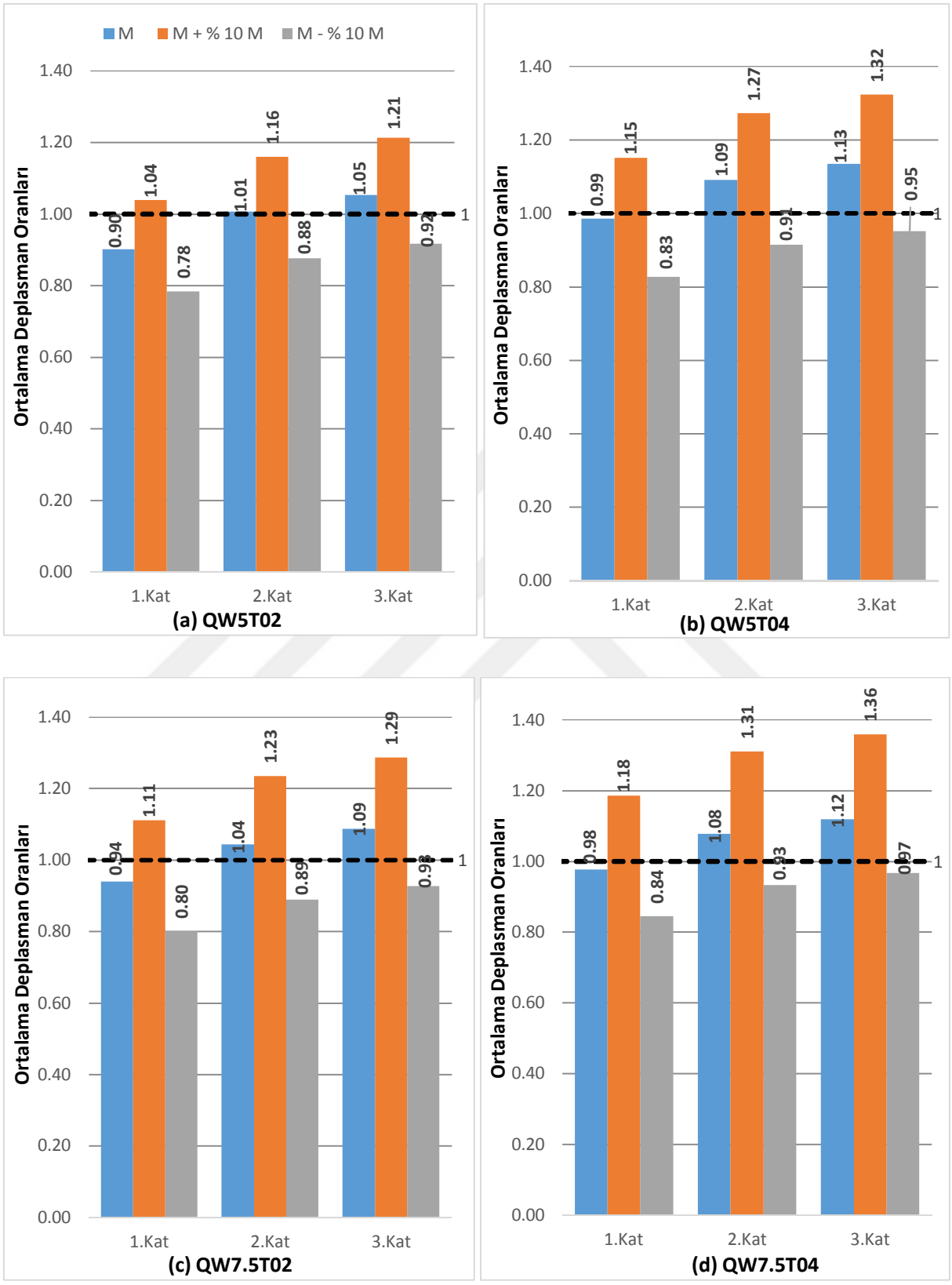
* Taban katı deplasmanı yere göre, 1., 2., 3. kat deplasmanları tabana göre verilmiştir.



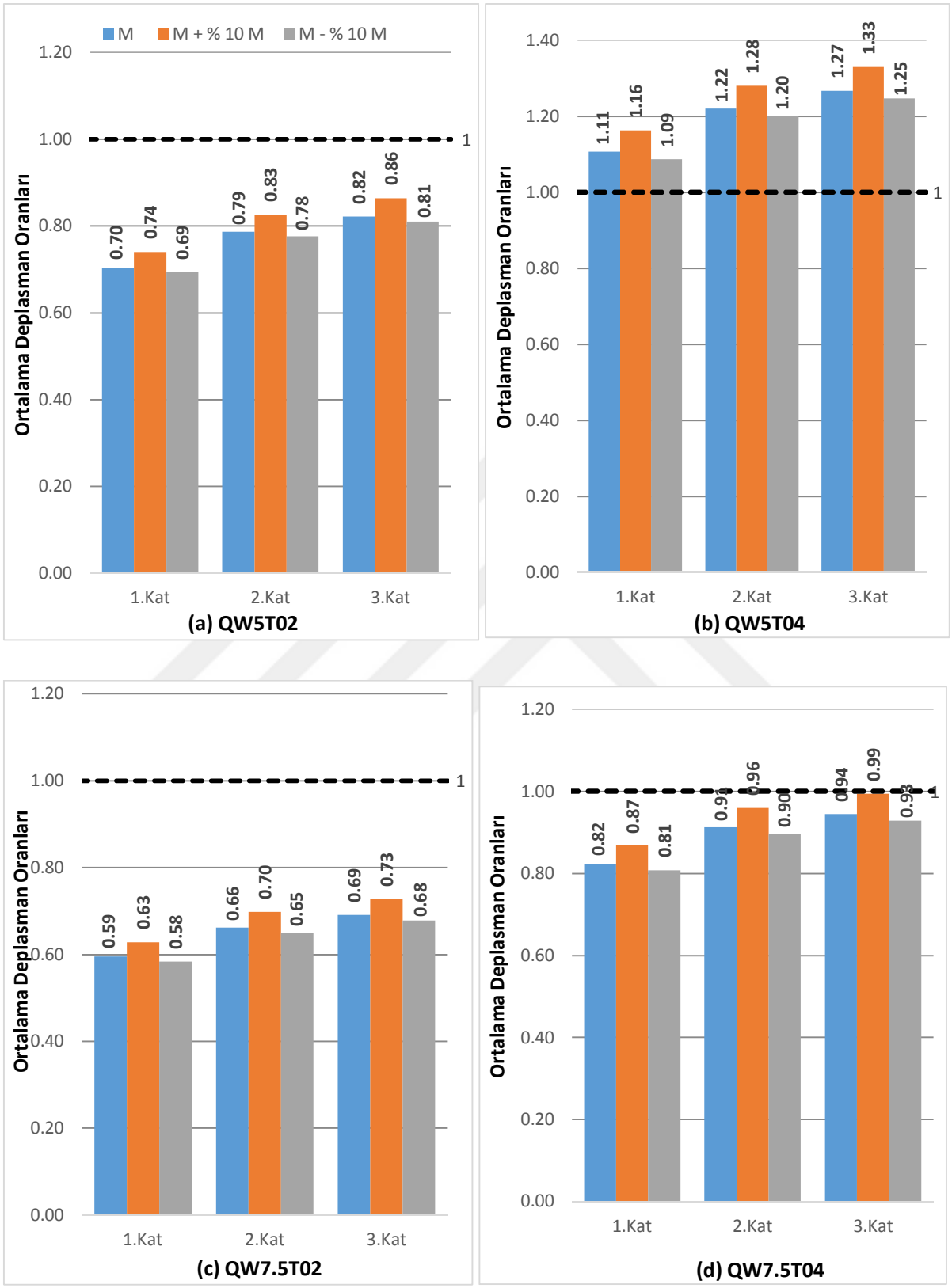
Şekil 4.7: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A deplasman oranları.



Şekil 4.8: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A deplasman oranları.



Şekil 4.9: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları.



Şekil 4.10: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama deplasman oranları.

4.1.2. Kat İvmeleri

4.1.2.1. Yakın Fay Kat İvmeleri

Tablo 4.3'te tüm yöntemler için tüm katlara ait ivme değerleri (oransal olmayan) örnek olarak QW5T02 izolasyon sistemi için toplu olarak verilmiştir. Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A ivme oranı grafikleri tüm izolasyon sistemleri için sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de sunulmuştur. 11 yakın fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A ivme oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te sunulmuştur.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'den görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen ivme oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, örneğin, QW5T02 için (Şekil 4.11a) kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran E08 depreminde ve 0.50 iken, en büyük oran 0.88'e kadar (DZC depreminde) çıkabilmektedir. Bu oranlar, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.38-1.30 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.78-1.03 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.75-1.42 arasında değişmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları irdelendiğinde ise oranların, kütlenin değişmediği durumda (M), QW5T02 izolasyon sistemi için 0.18-1.20 arasında, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.58-2.62 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.19-1.13 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.55-2.11 arasında değiştiği görülmüştür. Yaklaşık yöntemlerin ivme tepkisi açısından etkinlikleri deplasman tepkilerine göre daha az olmakla birlikte, bu yapısal tepki için de Yöntem B'nin Yöntem C'den daha etkin ve yeterli olduğu söylenebilir. Örneğin QW5T04 izolasyon sistemi için Yöntem B/Yöntem A'da 0.38-1.30 arasında değişen oranlar, Yöntem C/Yöntem A'da 0.58-2.62 aralığındadır.

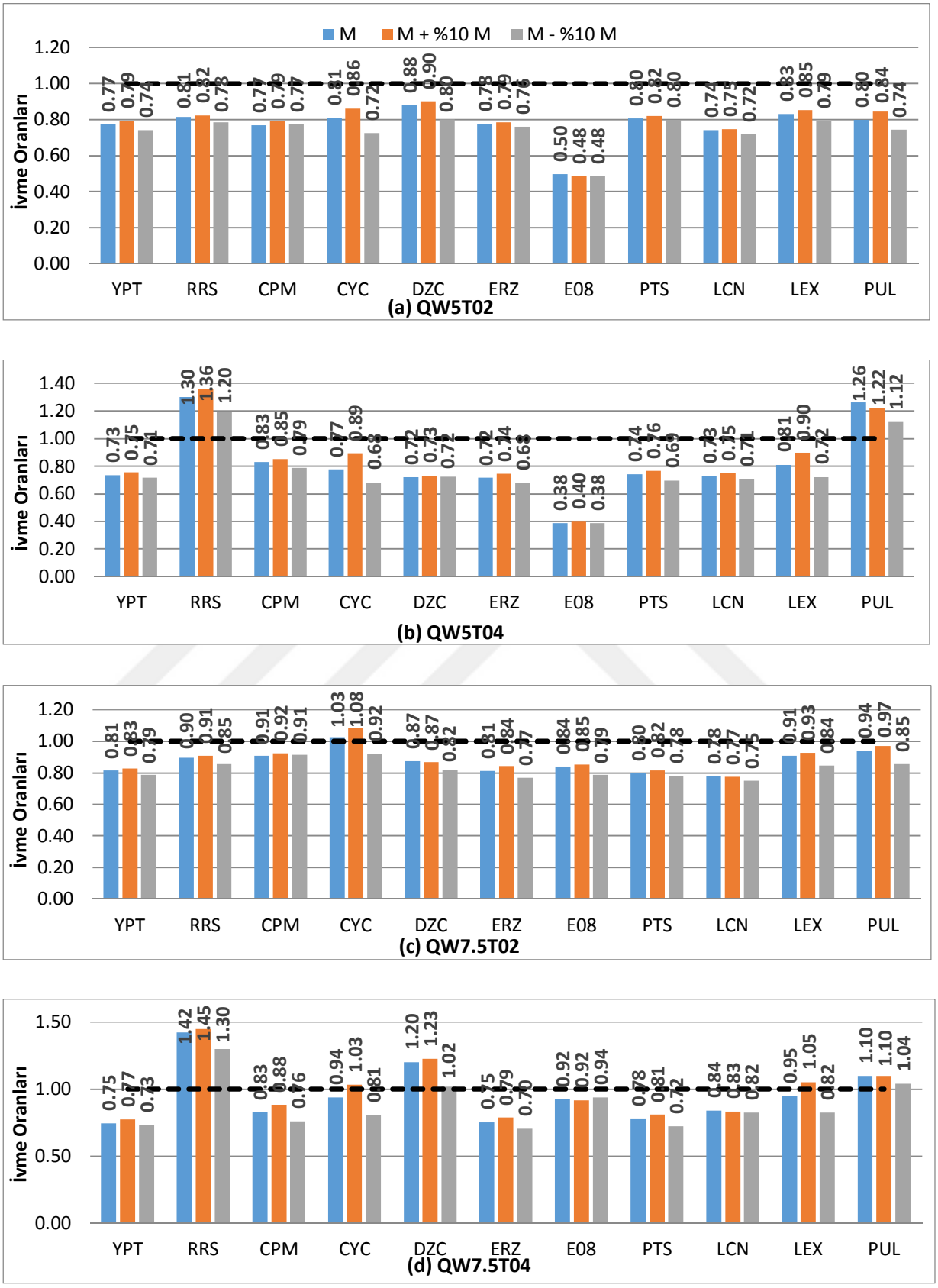
Buraya kadarki irdelemeler, yalnızca 1.kat ivme oranları üzerinden her bir deprem için yapılmıştır. Bunun yanında ortalama ivme oranlarına bakıldığında izolasyon sistemi tipine göre de farklılık olmakla birlikte bu farklılıklar Yöntem B söz konusu olduğunda az iken Yöntem C söz konusu olduğunda, özellikle farklı izolasyon periyotları için önemli farklılıklar arz etmektedir. Şekil 4.13'teki izolasyon sistemleri karşılaştırıldığında (Yöntem B) aynı bir kat için, örneğin 1.kat için, QW5T02 izolasyon sistemi için oran 0.77 iken, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.82, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.87 ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için ise bu oran 0.95 olmaktadır. Şekil 4.14'e bakıldığında, 1.kat için bu oranlar sırası ile 0.55, 1.30,

0.56, 1.15 olmaktadır. Yani Yöntem C'nin etkinliği izolasyon sistemi karakteristik özelliklerine duyarlıdır.

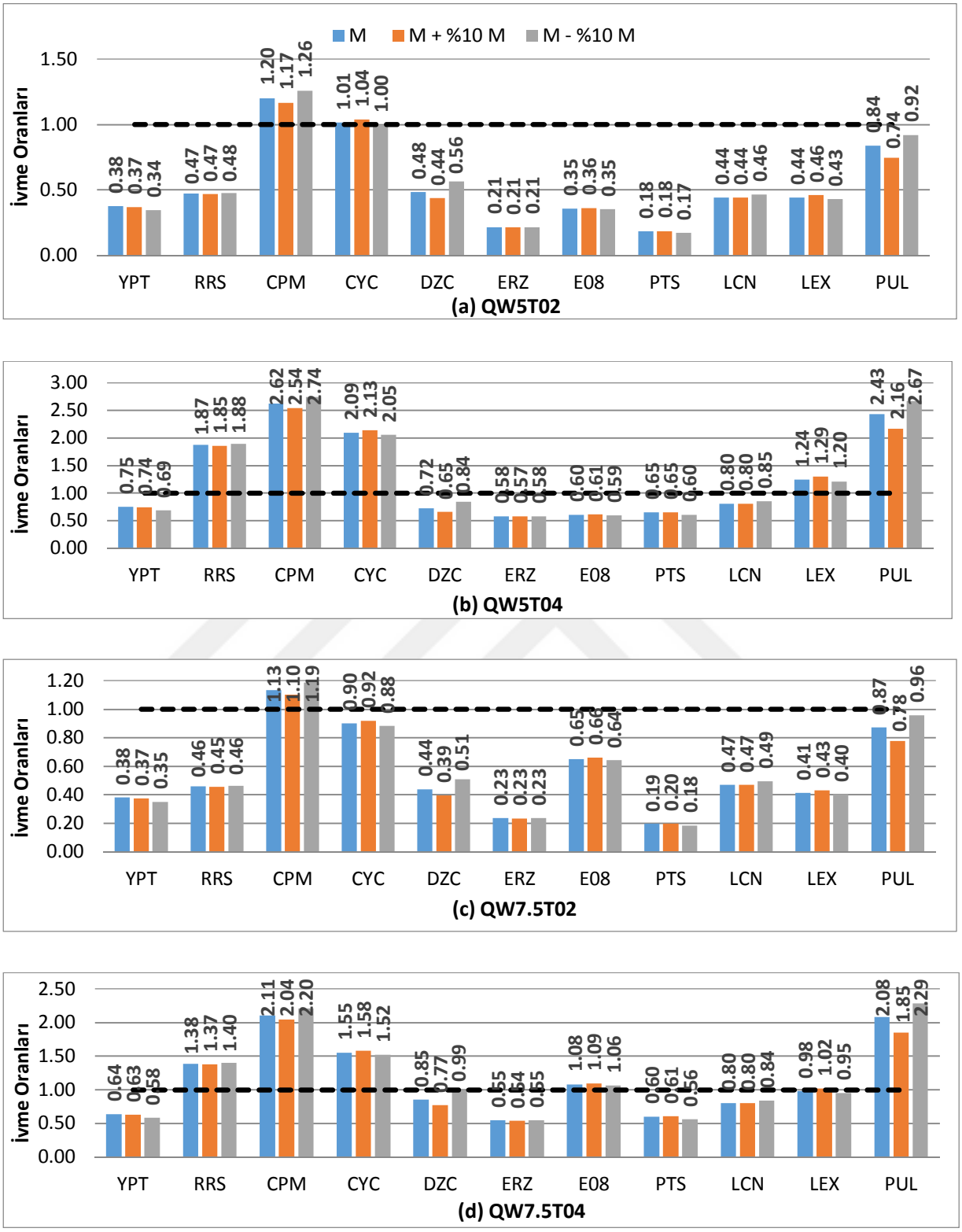
Ortalama ivme oranları değerlendirildiğinde, Şekil 4.13'teki Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranlarının 1.00'a çok uzak olmadığı (yaklaşık %25-%35 civarında bir fark olmaktadır) görülmektedir. Fakat Şekil 4.14'teki Yöntem C/Yöntem A ortalama oranların 1.00 değerinin çok üzerinde veya çok altında olduğu görülmektedir. Ortalama ivme değerleri için kütle sapsa dahi Yöntem B, Yöntem C'ye göre daha etkin ve yeterlidir. Üst katlara doğru ortalama ivme oranlarının arttığı görülmektedir. Şekil 4.13'te verilen Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları tüm izolasyon sistemlerinde kat bazında incelendiğinde; 1.kat için 0.77-0.95 aralığında, 2.kat için 1.08-1.20 aralığında, 3.kat için ise 1.26-1.41 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda ortalama oranlar 1.kat için 0.79-0.99 aralığında, 2.kat için 1.09-1.24 aralığında, 3.kat için ise 1.30-1.42 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar 1.kat için 0.74-0.88 aralığında, 2.kat için 1.04-1.14 aralığında, 3.kat için ise 1.19-1.37 aralığında değişmiştir. Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları grafiklerine bakıldığında yöntemin orta katlar için daha iyi çalıştığı, alt ve üst katlarda ise dikkate değer sapmalar gözlenebildiği görülmektedir. Örneğin, QW5T04 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 1.kat ortalama ivme oranı Yöntem B/Yöntem A'da 0.82 iken Yöntem C/Yöntem A'da 1.30 olmaktadır. QW5T04 izolasyon sisteminde, M - %10 M kütle durumunda, 3.kat ortalama ivme oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.24 iken Yöntem C/Yöntem A'da 2.36'a yükselmektedir. Öte yandan QW5T02 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 2.kat ortalama ivme oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.08 iken Yöntem C/Yöntem A'da 0.77'e düşmektedir.

Tablo 4.3: Farklı yöntemler ile yakın fay depremleri altında elde edilen kat ivmeleri – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli.

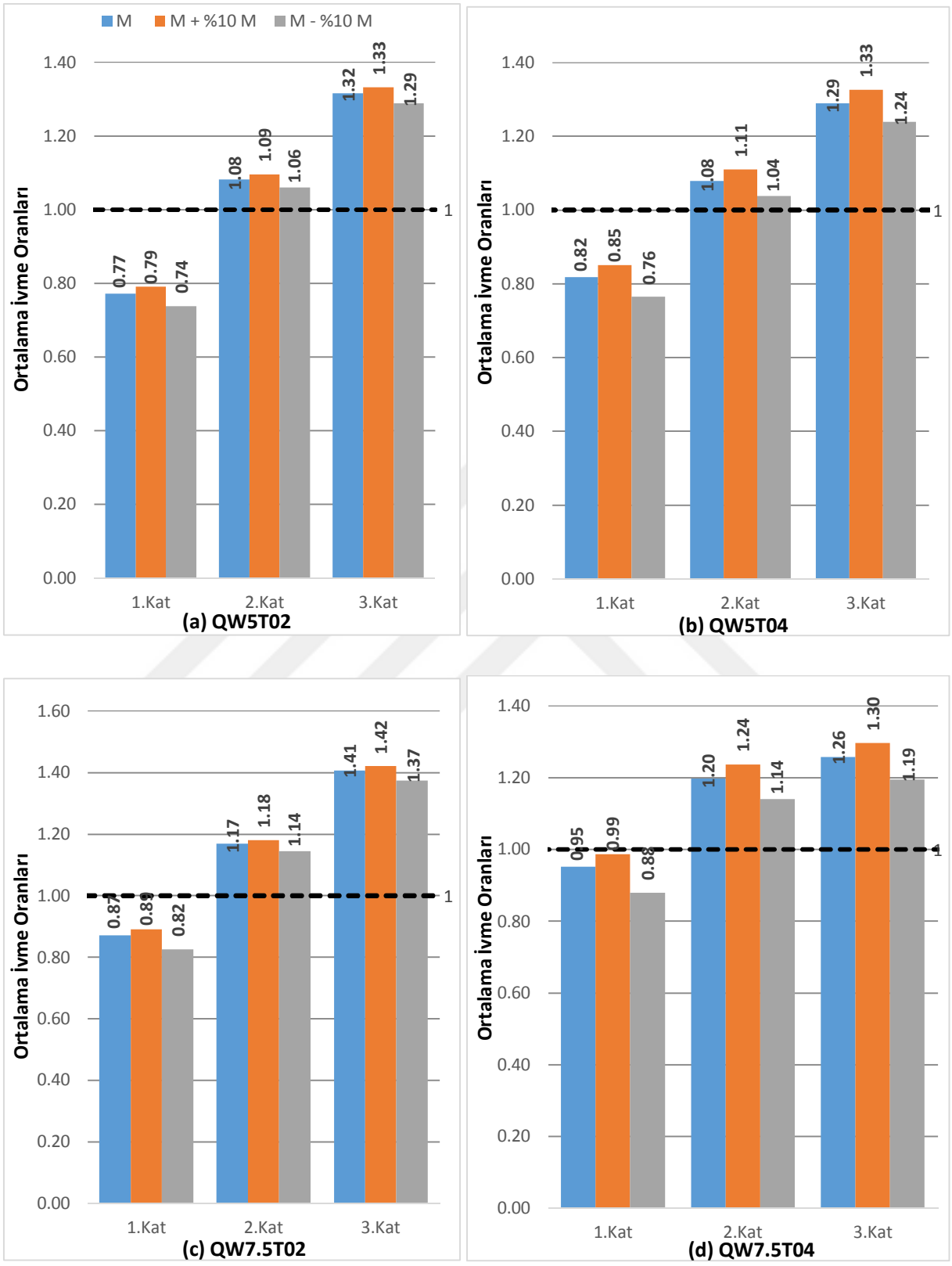
		YÖNTEM A				YÖNTEM B			YÖNTEM C		
Kayıtlar	**Taban Katı (m/s^2)**	**1.Kat (m/s^2)**	**2.Kat (m/s^2)**	**3.Kat (m/s^2)**	**Spektral Analizler**	**1.Kat (m/s^2)**	**2.Kat (m/s^2)**	**3.Kat (m/s^2)**	**1.Kat (m/s^2)**	**2.Kat (m/s^2)**	**3.Kat (m/s^2)**
YPT	2.44	2.39	2.53	2.69	M	1.84	2.89	3.72	0.90	1.64	2.12
					M + %10 M	1.89	2.95	3.80	0.88	1.61	2.07
					M - %10 M	1.77	2.80	3.60	0.82	1.47	1.89
RRS	5.62	5.56	5.54	5.76	M	4.53	6.33	8.17	2.62	4.69	6.05
					M + %10 M	4.58	6.21	8.02	2.60	4.61	5.94
					M - %10 M	4.35	6.37	8.21	2.64	4.70	6.06
CPM	2.91	2.93	3.51	3.88	M	2.25	3.12	3.99	3.52	3.85	4.89
					M + %10 M	2.32	3.22	4.13	3.42	3.66	4.64
					M - %10 M	2.27	3.19	4.08	3.69	4.33	5.54
CYC	2.54	2.45	2.83	3.21	M	1.98	2.71	3.50	2.48	3.66	4.69
					M + %10 M	2.11	2.82	3.65	2.54	3.88	4.98
					M - %10 M	1.77	2.54	3.27	2.44	3.47	4.45
DZC	2.77	2.61	2.76	2.99	M	2.29	3.48	4.48	1.26	2.27	2.91
					M + %10 M	2.35	3.54	4.57	1.14	1.98	2.54
					M - %10 M	2.09	3.24	4.17	1.46	2.73	3.52
ERZ	4.62	4.77	5.01	5.15	M	3.71	5.80	7.45	1.02	1.76	2.27
					M + %10 M	3.75	5.79	7.44	1.01	1.74	2.23
					M - %10 M	3.62	5.73	7.36	1.02	1.80	2.32
E08	3.72	3.78	3.86	3.94	M	1.87	2.68	3.45	1.34	2.11	2.69
					M + %10 M	1.83	2.59	3.33	1.36	2.10	2.67
					M - %10 M	1.83	2.74	3.53	1.32	2.15	2.74
PTS	7.07	7.12	7.29	7.43	M	5.72	8.74	11.23	1.30	2.24	2.89
					M + %10 M	5.82	8.82	11.33	1.31	2.18	2.81
					M - %10 M	5.67	8.85	11.36	1.21	2.09	2.70
LCN	3.77	3.80	3.93	4.10	M	2.82	4.32	5.55	1.67	1.88	2.32
					M + %10 M	2.83	4.38	5.63	1.67	1.92	2.37
					M - %10 M	2.73	4.18	5.38	1.75	2.03	2.50
LEX	3.01	2.95	2.96	3.13	M	2.45	3.61	4.66	1.30	2.37	3.05
					M + %10 M	2.51	3.59	4.63	1.35	2.46	3.17
					M - %10 M	2.34	3.56	4.58	1.26	2.30	2.96
PUL	4.49	4.64	4.91	5.20	M	3.71	5.56	7.16	3.89	6.36	8.19
					M + %10 M	3.92	5.83	7.51	3.45	5.53	7.10
					M - %10 M	3.45	5.31	6.83	4.27	7.35	9.46



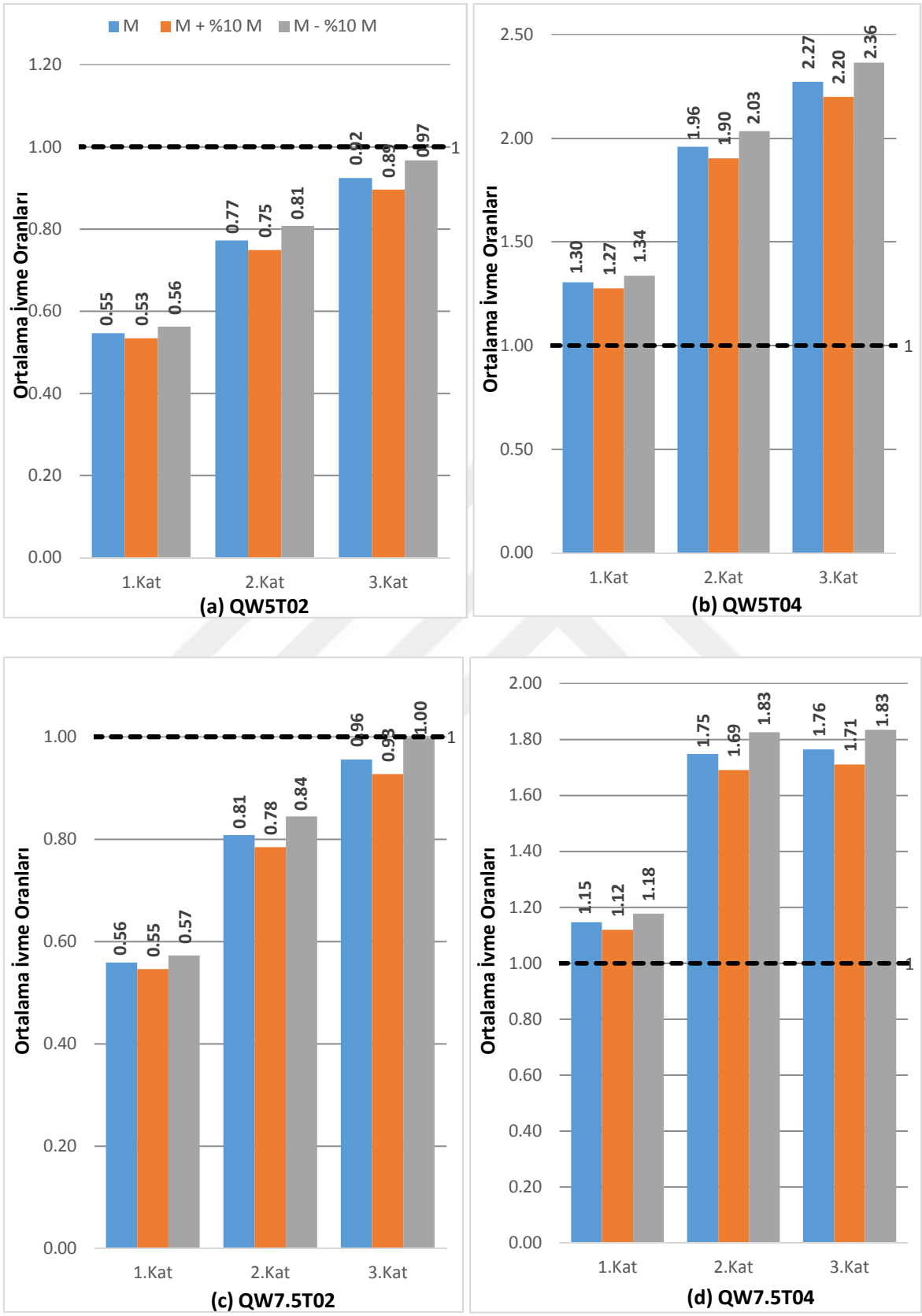
Şekil 4.11: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ivme oranları.



Şekil 4.12: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A ivme oranları.



Şekil 4.13: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları.



Şekil 4.14: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama ivme oranları.

4.1.2.2. Uzak Fay Kat İvmeleri

Tablo 4.4'te tüm yöntemler için tüm katlara ait ivme değerleri (oransal olmayan) örnek olarak QW5T02 izolasyon sistemi için toplu olarak verilmiştir. Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A ivme oranı grafikleri tüm izolasyon sistemleri için sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da sunulmuştur. 11 uzak fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A ivme oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de sunulmuştur.

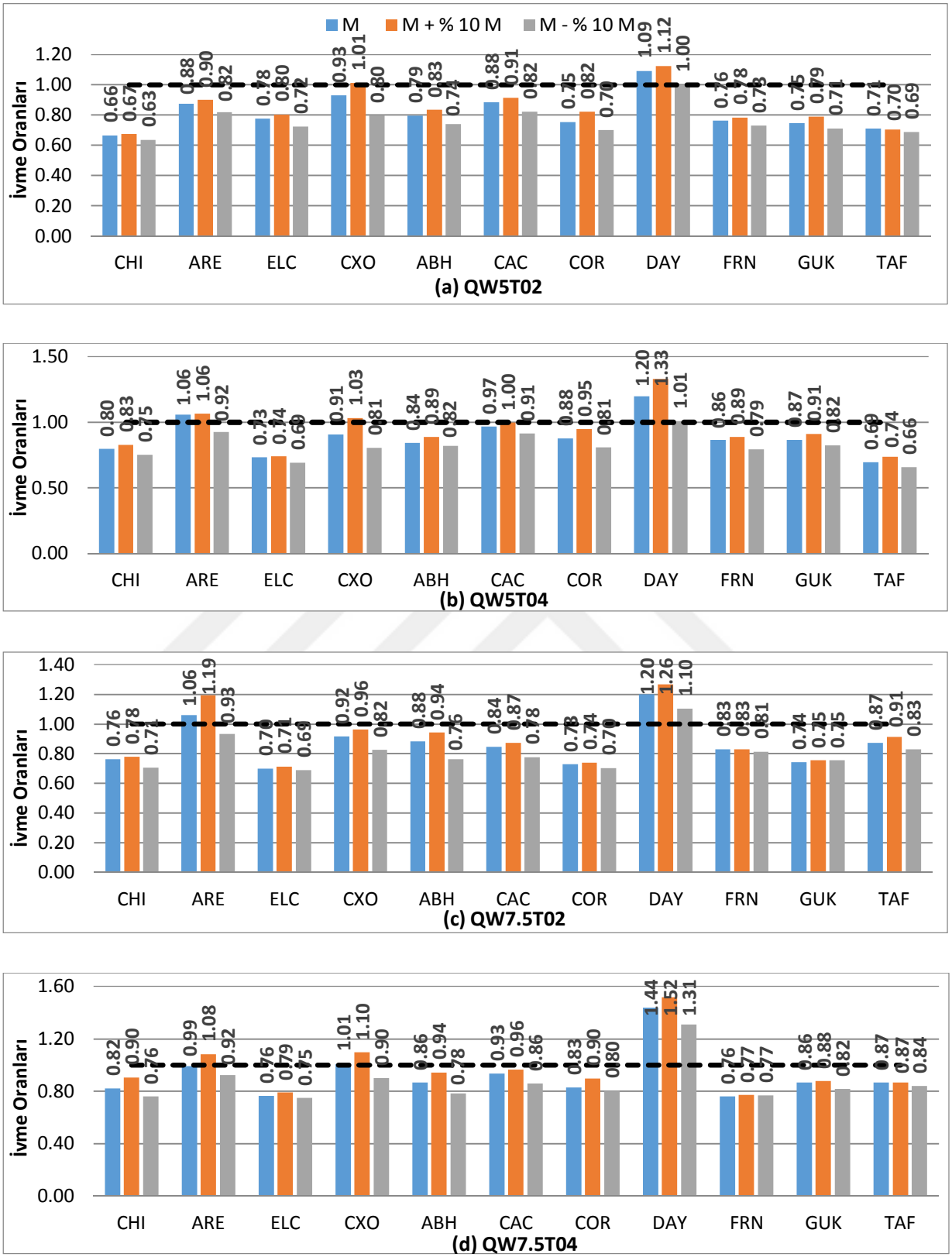
Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'dan görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen ivme oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, örneğin, QW5T02 için (Şekil 4.15a) kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran CHI depreminde ve 0.66 iken, en büyük oran 1.09'a kadar (DAY depreminde) çıkabilmektedir. Bu oranlar, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.69-1.20 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.70-1.20 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.76-1.44 arasında değişmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları irdelendiğinde ise bu aralıkların arttığı, kütlenin değişmediği durumda (M) oranların, QW5T02 izolasyon sistemi için 0.21-1.25 arasında, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.39-2.01 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.23-1.11 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.32-1.59 arasında değiştiği görülmüştür. Yaklaşık yöntemlerin ivme tepkisi açısından etkinlikleri deplasman tepkilerine göre daha az olmakla birlikte, kat ivmesi tepkisi için de Yöntem B'nin Yöntem C'den daha etkin ve yeterli olduğu ifade edilebilir.

Buraya kadarki irdelemeler, yalnızca 1.kat ivme oranları üzerinden her bir deprem için yapılmıştır. Bunun yanında ortalama ivme oranlarına bakıldığında izolasyon sistemi tipine göre de farklılık olmakla birlikte bu farklılıklar Yöntem B söz konusu olduğunda az iken Yöntem C söz konusu olduğunda, özellikle farklı izolasyon periyotları için önemli farklılıklar arz etmektedir. Şekil 4.17'deki izolasyon sistemleri karşılaştırıldığında (Yöntem B) aynı bir kat - örneğin 1.kat- için, QW5T02 izolasyon sisteminde oran 0.82 iken, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.89, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.87 ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için ise bu oran 0.92 olmaktadır. Şekil 4.18'e bakıldığında (Yöntem C), 1.kat için bu oranlar sırası ile 0.61, 0.94, 0.51, 0.70 olmaktadır. Yani Yöntem C'nin etkinliği izolasyon sistemi karakteristik özelliklerine çok daha duyarlıdır.

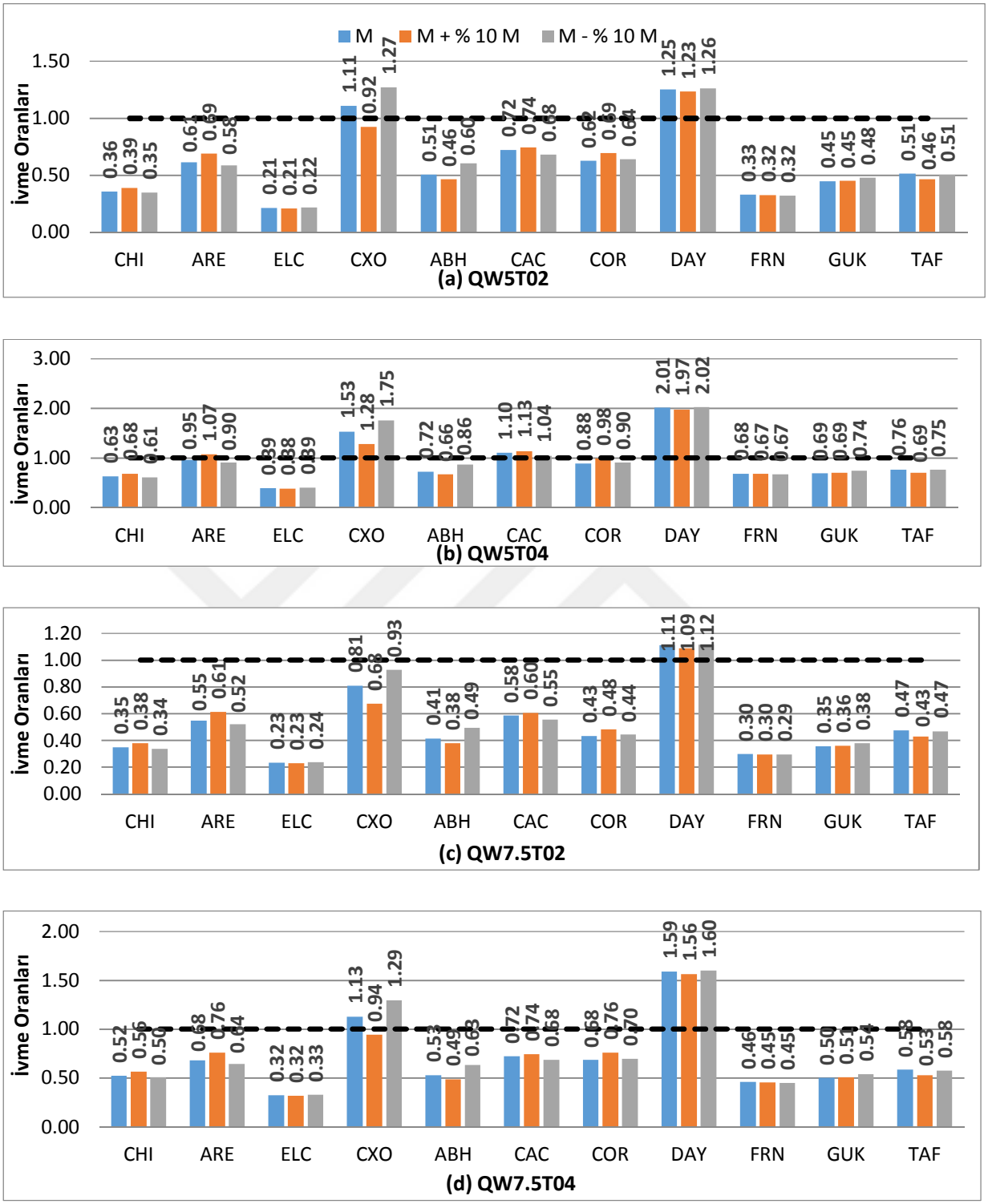
Ortalama ivme oranları değerlendirildiğinde, Şekil 4.17'deki Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranlarının 1.00'a çok uzak olmadığı (%25-%35 oranında bir fark olmaktadır) görülmektedir. Fakat Şekil 4.18'deki Yöntem C/Yöntem A ortalama oranların 1.00 değerinin çok üzerinde veya çok altında olduğu görülmektedir ve üst katlara doğru ortalama ivme oranları artmaktadır. Şekil 4.17'de verilen Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları tüm izolasyon sistemlerinde kat bazında incelendiğinde; 1.kat için 0.82-0.92 aralığında, 2.kat için 1.12-1.22 aralığında, 3.kat için ise 1.34-1.36 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Ortalama ivme değerleri için kütle sapsa dahi Yöntem B'nin etkinliğinde çok önemli azalma olmamaktadır. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda ortalama oranlar 1.kat için 0.85-0.97 aralığında, 2.kat için 1.17-1.34 aralığında, 3.kat için ise 1.40-1.47 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar 1.kat için 0.76-0.86 aralığında, 2.kat için 1.08-1.17 aralığında, 3.kat için ise 1.28-1.29 aralığında değişmiştir. Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları grafiklerine bakıldığında yöntemin orta katlar için daha iyi çalıştığı, alt ve üst katlarda ise 1.00'dan dikkate değer sapmalar gözlenebildiği görülmektedir. Örneğin, QW5T04 izolasyon sisteminde, M - %10 M kütle durumunda, 3.kat ortalama ivme oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.28 iken Yöntem C/Yöntem A'da 1.63'e yükselmektedir. Öte yandan QW7.5T02 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 2.kat ortalama ivme oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.17 iken Yöntem C/Yöntem A'da 0.73 olmaktadır.

Tablo 4.4: Farklı yöntemler ile uzak fay depremleri altında elde edilen kat ivmeleri – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli.

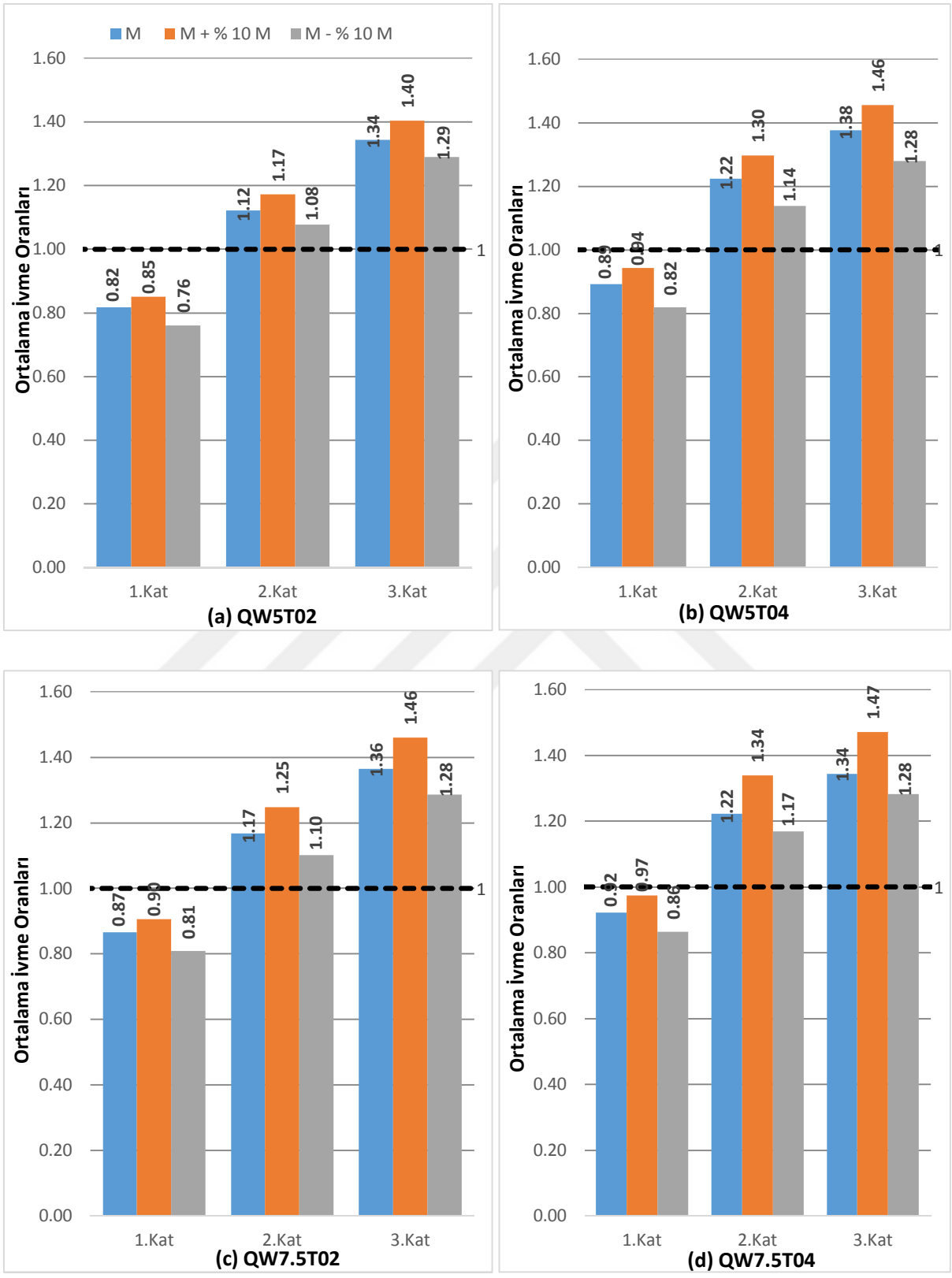
		YÖNTEM A				YÖNTEM B			YÖNTEM C		
Kayıtlar	**Taban Katı (m/s^2)**	**1.Kat (m/s^2)**	**2.Kat (m/s^2)**	**3.Kat (m/s^2)**	**Spektral Analizler**	**1.Kat (m/s^2)**	**2.Kat (m/s^2)**	**3.Kat (m/s^2)**	**1.Kat (m/s^2)**	**2.Kat (m/s^2)**	**3.Kat (m/s^2)**
CHI	1.47	1.46	1.45	1.53	M	0.97	1.48	1.90	0.52	0.84	1.08
					M + %10 M	0.98	1.49	1.91	0.56	0.94	1.21
					M - %10 M	0.93	1.47	1.89	0.50	0.80	1.03
ARE	0.81	0.83	0.78	0.84	M	0.73	0.88	1.15	0.51	0.52	0.68
					M + %10 M	0.75	0.92	1.19	0.57	0.59	0.78
					M - %10 M	0.68	0.86	1.11	0.49	0.54	0.70
ELC	1.51	1.46	1.48	1.56	M	1.13	1.67	2.15	0.31	0.53	0.68
					M + %10 M	1.17	1.73	2.23	0.30	0.49	0.62
					M - %10 M	1.05	1.61	2.07	0.32	0.56	0.72
CXO	0.89	0.86	0.87	1.04	M	0.79	1.12	1.45	0.95	1.56	2.01
					M + %10 M	0.86	1.27	1.64	0.79	1.28	1.64
					M - %10 M	0.68	1.02	1.31	1.09	1.83	2.36
ABH	0.91	0.92	0.95	0.99	M	0.73	1.04	1.34	0.47	0.75	0.97
					M + %10 M	0.77	1.12	1.45	0.43	0.67	0.87
					M - %10 M	0.68	0.99	1.28	0.56	0.98	1.27
CAC	0.95	0.88	0.92	1.01	M	0.78	1.03	1.33	0.64	0.85	1.09
					M + %10 M	0.81	1.02	1.32	0.66	0.88	1.14
					M - %10 M	0.73	1.01	1.30	0.60	0.82	1.05
COR	1.11	1.10	1.13	1.20	M	0.83	1.29	1.65	0.69	1.25	1.61
					M + %10 M	0.90	1.38	1.79	0.76	1.40	1.80
					M - %10 M	0.77	1.19	1.53	0.70	1.28	1.65
DAY	1.12	1.11	1.12	1.15	M	1.21	1.36	1.78	1.39	1.51	1.97
					M + %10 M	1.25	1.37	1.80	1.37	1.33	1.74
					M - %10 M	1.11	1.33	1.73	1.40	1.68	2.19
FRN	1.65	1.56	1.56	1.73	M	1.19	1.80	2.31	0.51	0.72	0.94
					M + %10 M	1.22	1.87	2.41	0.51	0.69	0.89
					M - %10 M	1.14	1.70	2.19	0.50	0.74	0.95
GUK	1.16	1.10	1.15	1.24	M	0.82	1.23	1.58	0.49	0.82	1.05
					M + %10 M	0.87	1.29	1.66	0.50	0.85	1.09
					M - %10 M	0.78	1.16	1.49	0.53	0.92	1.18
TAF	1.10	1.05	1.06	1.13	M	0.74	1.03	1.33	0.54	0.88	1.14
					M + %10 M	0.73	1.05	1.35	0.49	0.77	0.99
					M - %10 M	0.72	1.03	1.33	0.53	0.87	1.13



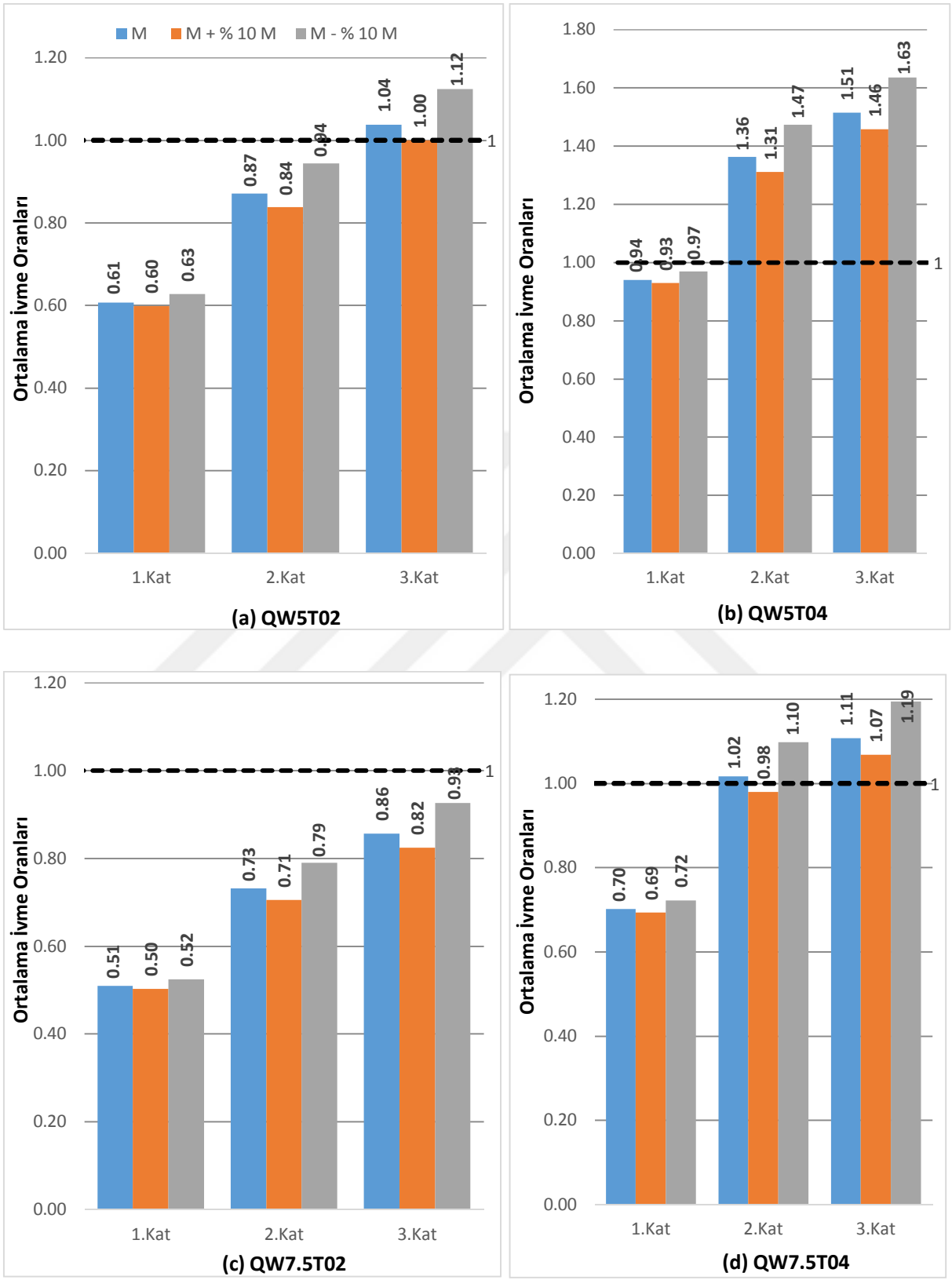
Şekil 4.15: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ivme oranları.



Şekil 4.16: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A ivme oranları.



Şekil 4.17: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları.



Şekil 4.18: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama ivme oranları.

4.1.3. Kat Kesme Kuvvetleri

4.1.3.1. Yakın Fay Kat Kesme Kuvvetleri

Tablo 4.5'te tüm yöntemler için tüm katlara ait kesme kuvveti değerleri (oransal olmayan) örnek olarak QW5T02 izolasyon sistemi için toplu olarak verilmiştir. Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranı grafikleri tüm izolasyon sistemleri için sırasıyla Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de sunulmuştur. 11 yakın fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de sunulmuştur.

Kat kesme kuvvetleri, kat ivmelerine paralel bir davranış sergilemektedir. Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'den görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen kesme kuvveti oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, örneğin, QW5T02 için (Şekil 4.19a) kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran E08 depreminde ve 0.62 iken, en büyük oran 1.15'e kadar (DZC depreminde) çıkabilmektedir. Bu oranlar, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.53-1.09 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.80-1.21 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.79-1.17 arasında değişmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları irdelendiğinde ise oranların, kütlenin değişmediği durumda (M), QW5T02 izolasyon sistemi için 0.28-1.20 arasında, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.73-3.49 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.31-1.20 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.73-3.14 arasında değiştiği görülmüştür. Yaklaşık yöntemlerin kesme kuvveti tepkisi açısından etkinlikleri deplasman tepkilerine göre daha az olmakla birlikte, bu yapısal tepki için de Yöntem B'nin Yöntem C'den daha etkin ve yeterli olduğu söylenebilir. Örneğin QW5T04 izolasyon sistemi için Yöntem B/Yöntem A'da 0.53-1.09 arasında değişen oranlar, Yöntem C/Yöntem A'da 0.73-3.49 aralığına yükselmiştir.

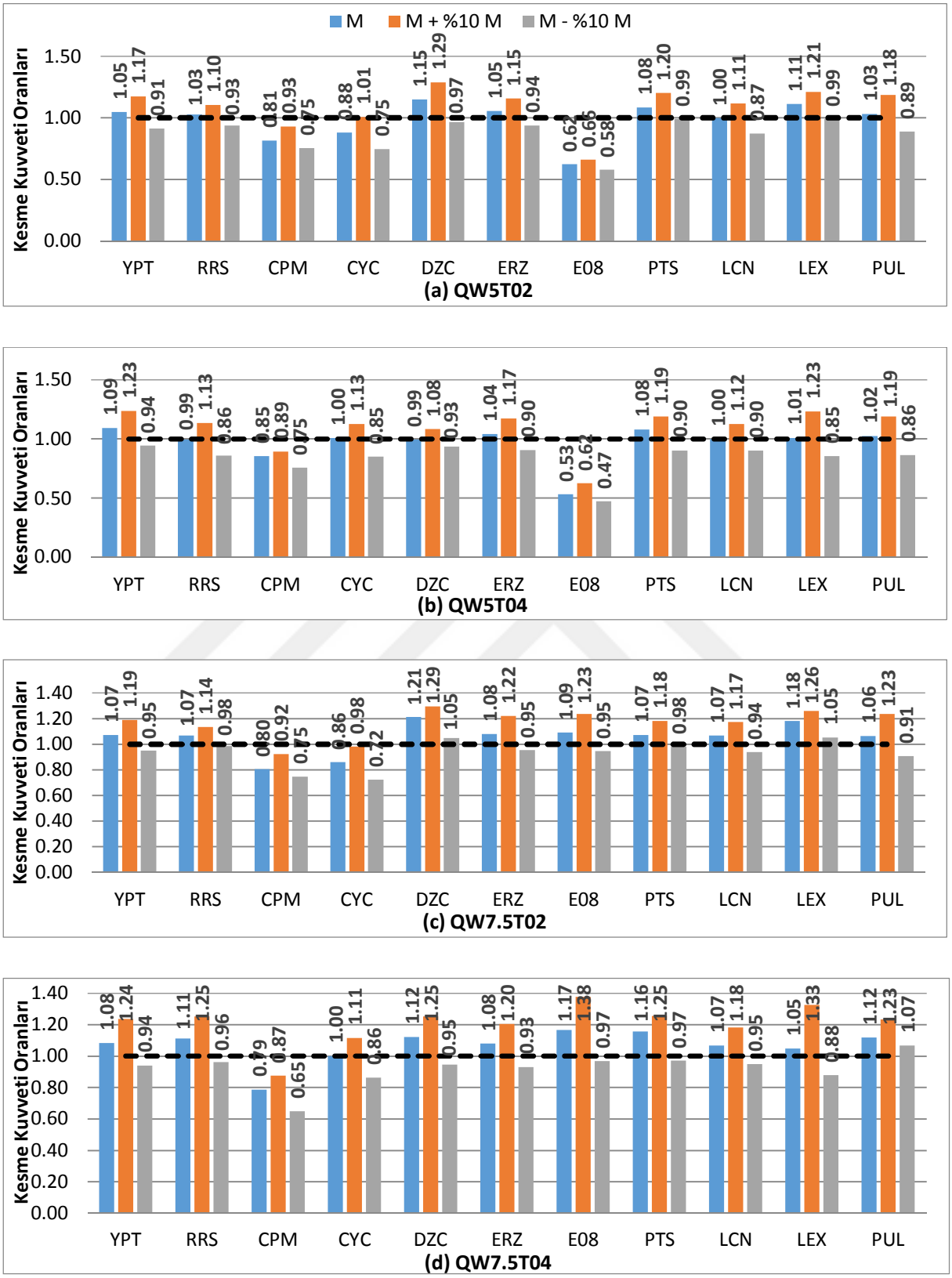
Buraya kadarki irdelemeler, yalnızca 1.kat kesme kuvveti oranları üzerinden her bir deprem için yapılmıştır. Bunun yanında ortalama kesme kuvveti oranlarına bakıldığında izolasyon sistemi tipine göre de farklılık olmakla birlikte bu farklılıklar Yöntem B söz konusu olduğunda az iken Yöntem C söz konusu olduğunda, özellikle farklı izolasyon periyotları için önemli farklılıklar arz etmektedir. Şekil 4.21'deki izolasyon sistemleri karşılaştırıldığında (Yöntem B) aynı bir kat için (örneğin 1.kat) QW5T02 izolasyon sistemi için oran 0.98 iken, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.96, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 1.05 ve QW7.5T04 izolasyon

sistemi için ise bu oran 1.07 olmaktadır. Şekil 4.22'ye bakıldığında, 1.kat için bu oranlar sırası ile 0.70, 1.79, 0.73, 1.60 olmaktadır. Yani Yöntem C'nin etkinliği izolasyon sistemi karakteristik özelliklerine duyarlıdır.

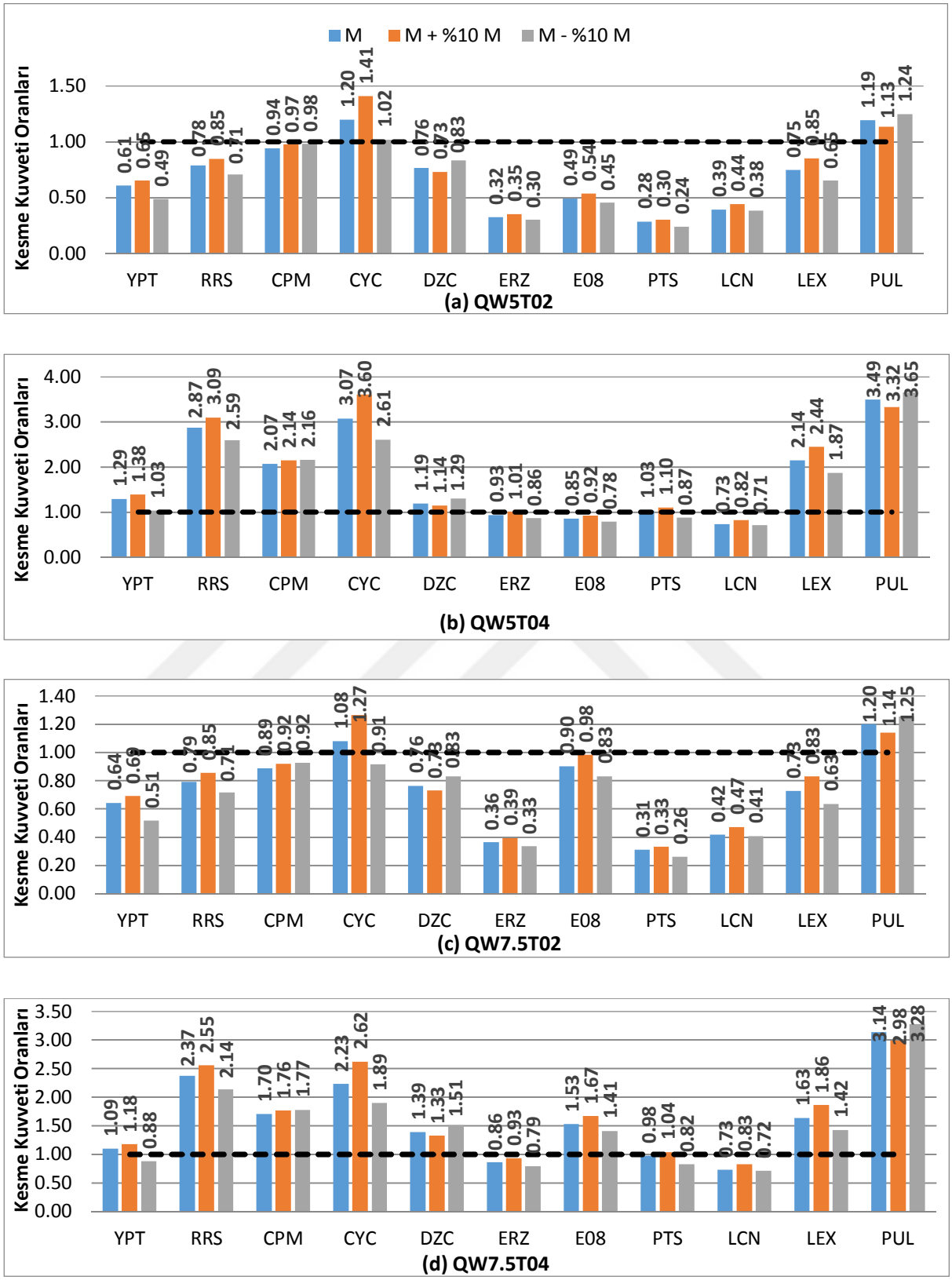
Ortalama kesme kuvveti oranları değerlendirildiğinde, Şekil 4.21'deki Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranlarının 1.00'a çok uzak olmadığı (yaklaşık %25-%35 civarında bir fark olmaktadır) görülmektedir. Fakat Şekil 4.22'deki Yöntem C/Yöntem A ortalama oranların 1.00 değerinin çok üzerinde veya çok altında olduğu görülmektedir. Üst katlara doğru da ortalama kesme kuvveti oranlarının arttığı görülmektedir. Şekil 4.21'de verilen Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları tüm izolasyon sistemlerinde kat bazında incelendiğinde; 1.kat için 0.96-1.07 aralığında, 2.kat için 1.12-1.23 aralığında, 3.kat için ise 1.26-1.41 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda ortalama oranlar 1.kat için 1.09-1.21 aralığında, 2.kat için 1.27-1.36 aralığında, 3.kat için ise 1.43-1.56 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar 1.kat için 0.84-0.93 aralığında, 2.kat için 0.98-1.09 aralığında, 3.kat için ise 1.08-1.24 aralığında değişmiştir. Örneğin, QW5T04 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 1.kat ortalama kesme kuvveti oranı Yöntem B/Yöntem A'da 0.96 iken Yöntem C/Yöntem A'da 1.79 olmaktadır. Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları grafiklerine bakıldığında yöntemin alt katlar için daha iyi çalıştığı, orta katlarda sapmalar çok olmamakla birlikte üst katlarda ise dikkate değer sapmalar gözlenebildiği görülmektedir. Örneğin, QW5T04 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 3.kat ortalama kesme kuvveti oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.29 iken Yöntem C/Yöntem A'da 2.28 olmaktadır. QW5T04 izolasyon sisteminde, M - %10 M kütle durumunda, 3.kat ortalama kesme kuvveti oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.12 iken Yöntem C/Yöntem A'da 2.14'e kadar yükselirken QW7.5T02 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 1.kat ortalama kesme kuvveti oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.05 iken Yöntem C/Yöntem A'da 0.73'e düşmektedir.

Tablo 4.5: Farklı yöntemler ile yakın fay depremleri altında elde edilen kat kesme kuvvetleri – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli.

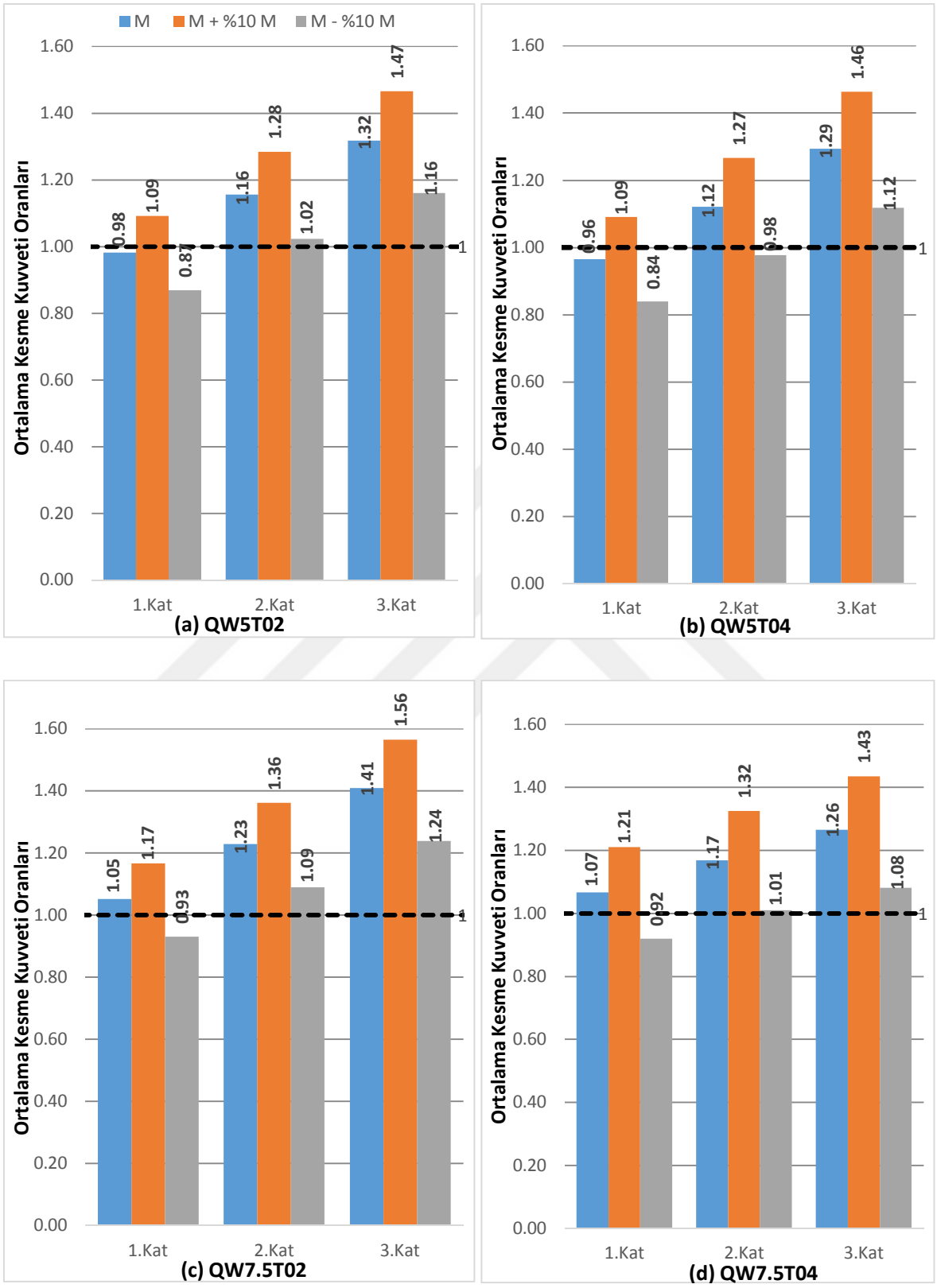
		YÖNTEM A				YÖNTEM B			YÖNTEM C		
Kayıtlar	**Taban Katı (kN)**	**1.Kat (kN)**	**2.Kat (kN)**	**3.Kat (kN)**	**Spektral Analizler**	**1.Kat (kN)**	**2.Kat (kN)**	**3.Kat (kN)**	**1.Kat (kN)**	**2.Kat (kN)**	**3.Kat (kN)**
YPT	4233	3304	2293	1182	M	3454	2823	1638	2000	1640	932
					M + %10 M	3873	3165	1838	2151	1764	1003
					M - %10 M	3007	2458	1424	1605	1316	749
RRS	9552	7257	4949	2530	M	7439	6056	3594	5695	4668	2661
					M + %10 M	7990	6497	3881	6142	5034	2873
					M - %10 M	6780	5529	3250	5137	4210	2401
CPM	5308	4462	3231	1708	M	3630	2957	1755	4194	3376	2152
					M + %10 M	4136	3369	1998	4345	3493	2246
					M - %10 M	3351	2731	1616	4370	3533	2193
CYC	4316	3607	2642	1409	M	3175	2583	1540	4316	3522	2065
					M + %10 M	3629	2949	1767	5068	4141	2411
					M - %10 M	2692	2194	1294	3665	2987	1763
DZC	4561	3601	2527	1313	M	4135	3376	1971	2748	2253	1283
					M + %10 M	4635	3784	2211	2626	2151	1230
					M - %10 M	3477	2841	1651	2991	2454	1392
ERZ	8538	6565	4465	2264	M	6907	5646	3276	2131	1746	1000
					M + %10 M	7579	6193	3601	2303	1887	1081
					M - %10 M	6153	5031	2913	1967	1612	920
E08	6669	5079	3430	1732	M	3155	2571	1518	2495	2041	1182
					M + %10 M	3347	2726	1613	2722	2226	1293
					M - %10 M	2927	2389	1398	2300	1884	1084
PTS	12552	9579	6475	3269	M	10377	8477	4939	2713	2222	1272
					M + %10 M	11508	9398	5484	2887	2362	1360
					M - %10 M	9480	7749	4498	2280	1868	1069
LCN	6666	5148	3529	1801	M	5133	4193	2442	2012	1628	1021
					M + %10 M	5731	4682	2723	2271	1840	1146
					M - %10 M	4475	3655	2129	1965	1593	990
LEX	5034	3860	2669	1376	M	4282	3492	2050	2877	2359	1342
					M + %10 M	4658	3795	2242	3283	2692	1532
					M - %10 M	3811	3112	1815	2513	2061	1172
PUL	8230	6415	4441	2286	M	6599	5387	3150	7635	6247	3602
					M + %10 M	7600	6201	3633	7268	5944	3438
					M - %10 M	5687	4647	2703	7985	6541	3746



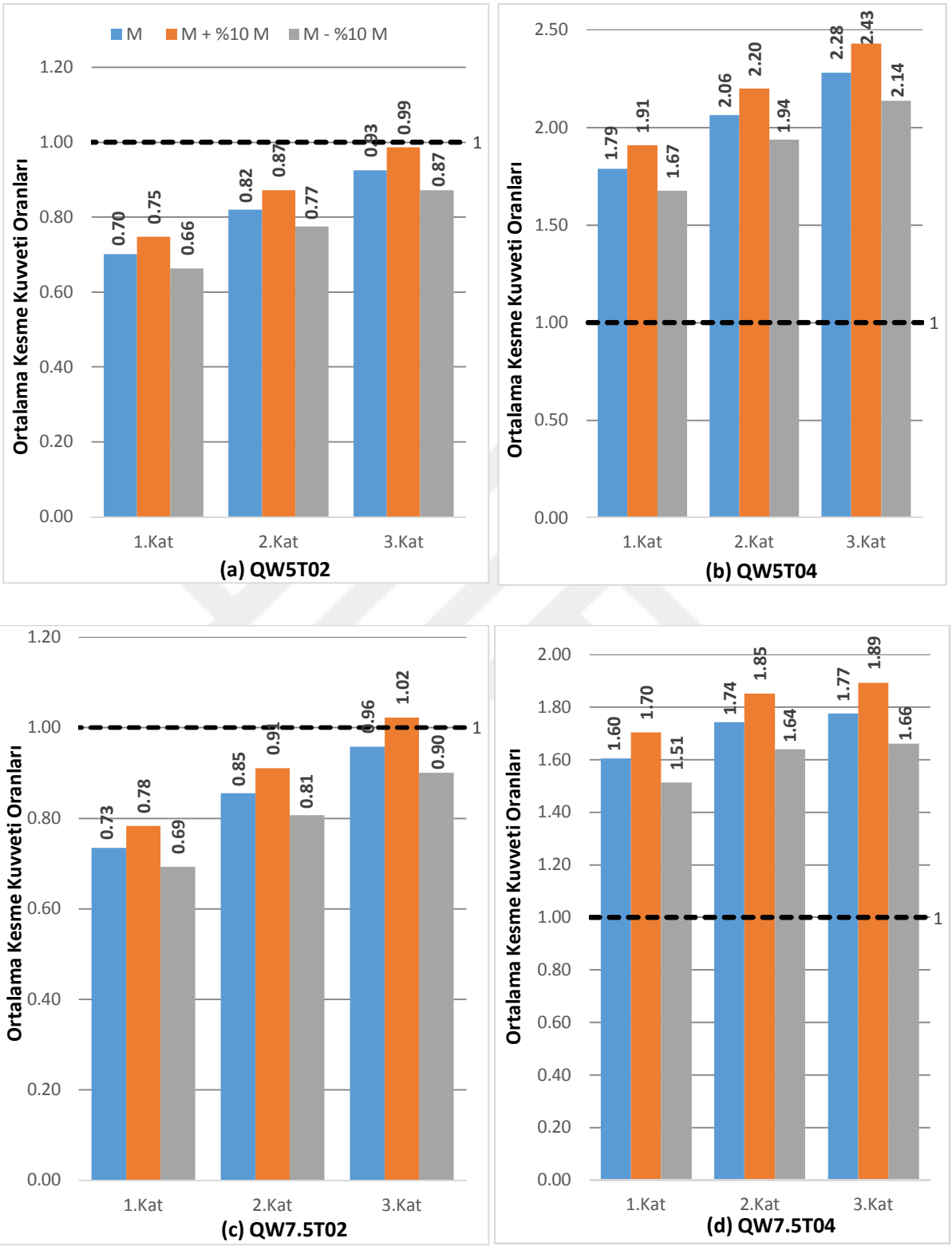
Şekil 4.19: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A kesme kuvveti oranları.



Şekil 4.20: 3 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranları.



Şekil 4.21: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları.



Şekil 4.22: 3 katlı binalarda yakın fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları.

4.1.3.2. Uzak Fay Kat Kesme Kuvvetleri

Tablo 4.6'da tüm yöntemler için tüm katlara ait kesme kuvveti değerleri (oransal olmayan) örnek olarak QW5T02 izolasyon sistemi için toplu olarak verilmiştir. Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranı grafikleri tüm izolasyon sistemleri için sırasıyla Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te sunulmuştur. 11 uzak fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da sunulmuştur.

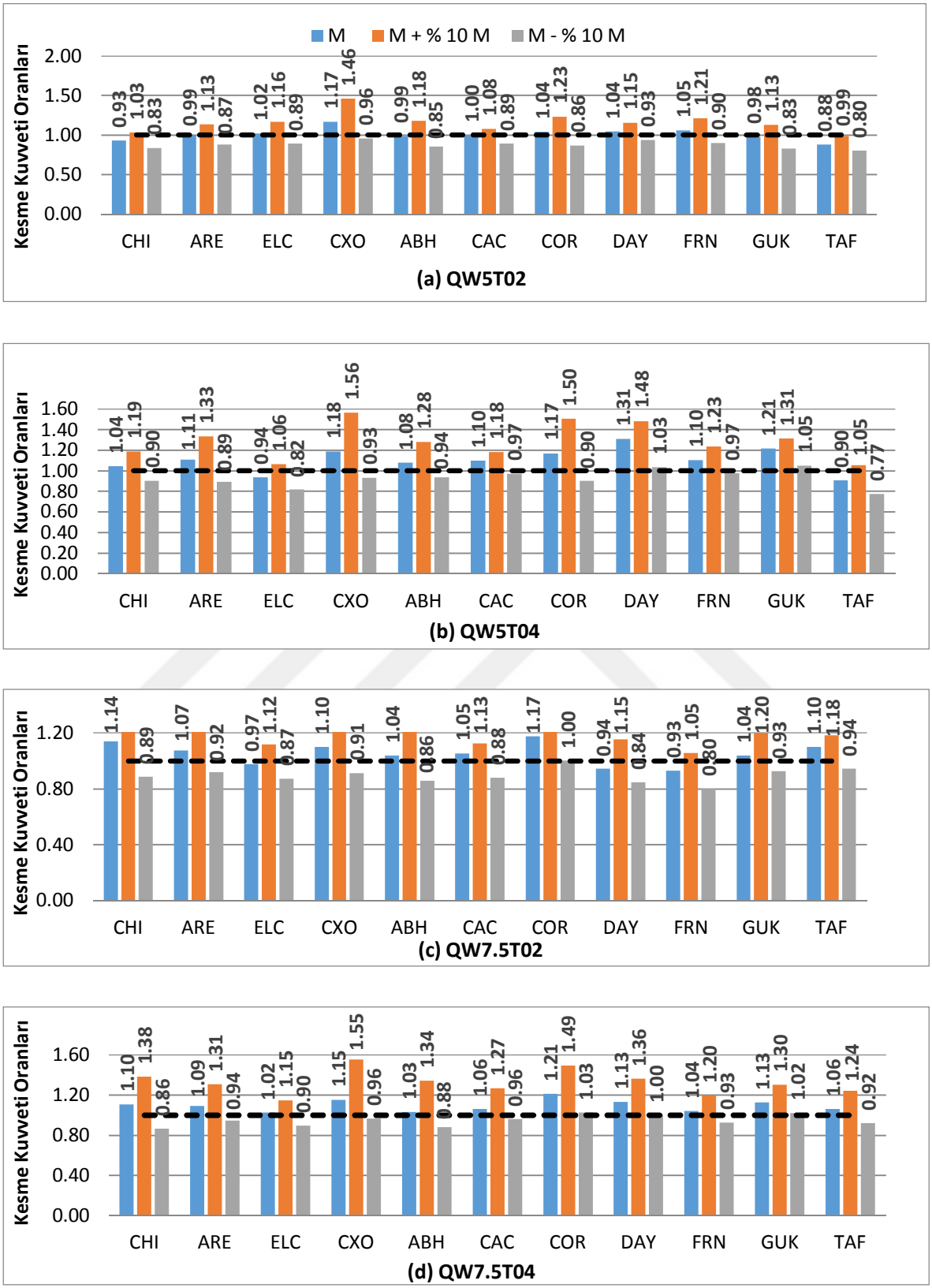
Kat kesme kuvvetleri, uzak fay depremleri için de kat ivmelerine paralel bir davranış sergilemektedir. Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'ten görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen kesme kuvveti oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, örneğin, QW5T02 için (Şekil 4.23a) kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran TAF depreminde ve 0.88 iken, en büyük oran 1.17'e kadar (CXO depreminde) çıkabilmektedir. Bu oranlar, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.90-1.31 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.93-1.17 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 1.02-1.21 arasında değişmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları irdelendiğinde ise oranların, kütlenin değişmediği durumda (M), QW5T02 izolasyon sistemi için 0.33-1.65 arasında, QW5T04 izolasyon sistemi için 0.59-2.41 arasında, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 0.36-1.21 arasında ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için 0.50-1.69 arasında değiştiği görülmüştür. Yaklaşık yöntemlerin kesme kuvveti tepkisi açısından etkinlikleri deplasman tepkilerine göre daha az olmakla birlikte, bu yapısal tepki için de Yöntem B'nin Yöntem C'den daha etkin ve yeterli olduğu söylenebilir.

Bununla birlikte, ortalama kesme kuvveti oranları incelendiğinde izolasyon sistemi tipine göre de farklılık olmakla birlikte bu farklılıklar Yöntem B söz konusu olduğunda az iken Yöntem C söz konusu olduğunda, özellikle farklı izolasyon periyotları için önemli farklılıklar arz etmektedir. Şekil 4.25'teki izolasyon sistemleri karşılaştırıldığında (Yöntem B) örneğin 1.kat için, QW5T02 izolasyon sistemi için oran 1.01 iken, QW5T04 izolasyon sistemi için 1.31, QW7.5T02 izolasyon sistemi için 1.17 ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için ise bu oran 1.21 olmaktadır. Şekil 4.26'ya bakıldığında, 1.kat için bu oranlar sırası ile 0.78, 1.24, 0.66, 0.92 olmaktadır. Yani Yöntem C'nin etkinliği izolasyon sistemi karakteristik özelliklerine Yöntem B'ye göre çok daha duyarlıdır.

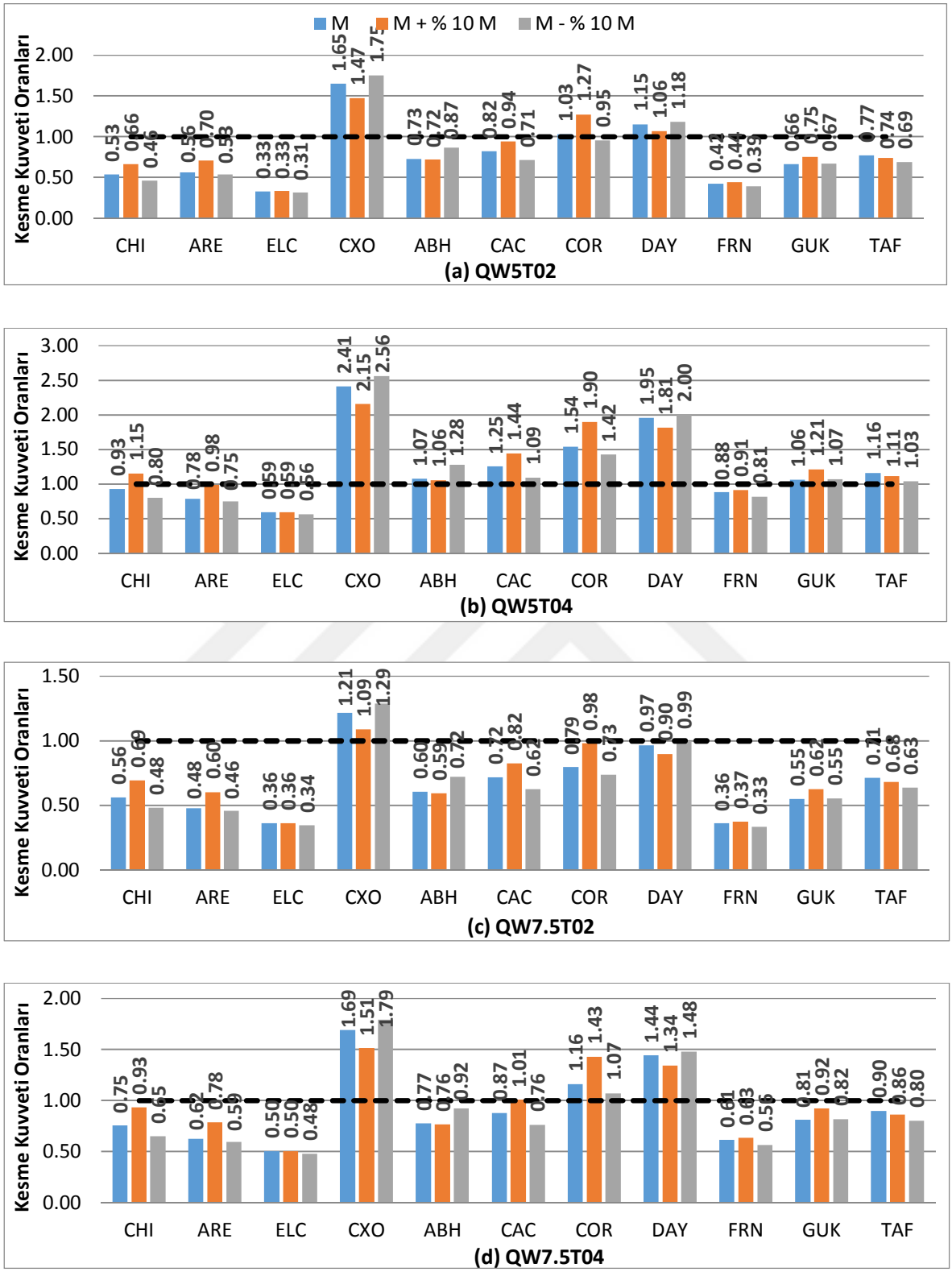
Ortalama kesme kuvveti oranları değerlendirildiğinde, Şekil 4.25'teki Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranlarının 1.00'dan yaklaşık %35-%45 civarında farklılık gösterirken, Şekil 4.26'daki Yöntem C/Yöntem A ortalama oranlarının 1.00 değerinden çok daha fazla saptığı görülmüştür. Şekil 4.25'te verilen Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları tüm izolasyon sistemlerinde kat bazında incelendiğinde; 1.kat için 1.01-1.31 aralığında, 2.kat için 1.17-1.44 aralığında, 3.kat için ise 1.34-1.57 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Örneğin, QW5T02 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 1.kat ortalama kesme kuvveti oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.01 iken Yöntem C/Yöntem A'da 0.78 olmaktadır. Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları grafiklerine bakıldığında yöntemin alt katlar için daha iyi çalıştığı, orta katlarda sapmalar çok olmamakla birlikte üst katlarda ise dikkate değer sapmalar gözlenebildiği görülmektedir. Örneğin, QW5T04 izolasyon sisteminde, M - %10 M kütle durumunda, 1.kat ortalama kesme kuvveti oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.05 iken Yöntem C/Yöntem A'da 1.22'e kadar yükselirken QW7.5T02 izolasyon sisteminde, kütlenin değişmediği durumda (M), 1.kat ortalama kesme kuvveti oranı Yöntem B/Yöntem A'da 1.17 iken Yöntem C/Yöntem A'da 0.66'ya düşmektedir.

Tablo 4.6: Farklı yöntemler ile uzak fay depremleri altında elde edilen kat kesme kuvvetleri – Üç katlı bina ve QW5T02 modeli.

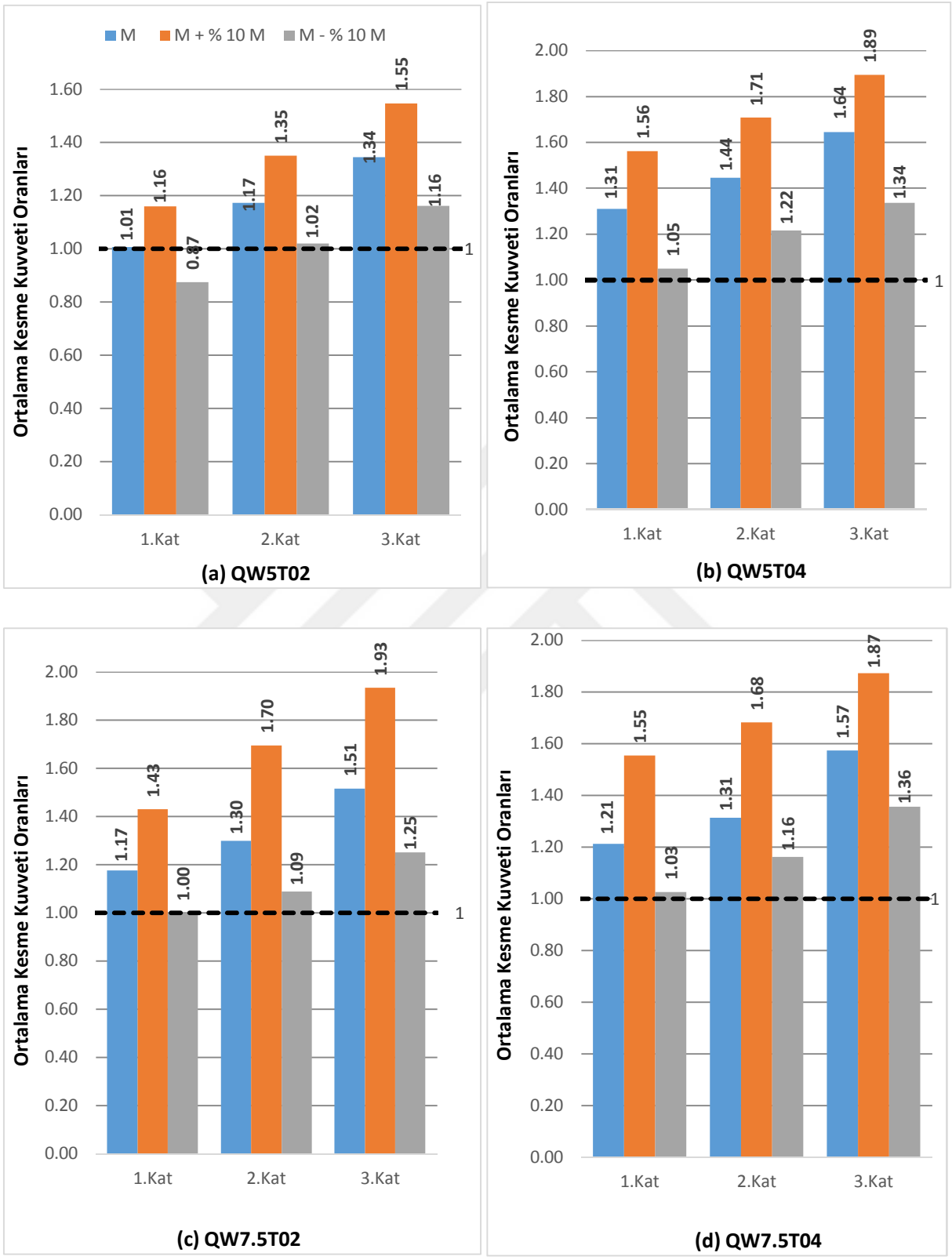
		YÖNTEM A				YÖNTEM B			YÖNTEM C		
Kayıtlar	**Taban Katı (kN)**	**1.Kat (kN)**	**2.Kat (kN)**	**3.Kat (kN)**	**Spektral Analizler**	**1.Kat (kN)**	**2.Kat (kN)**	**3.Kat (kN)**	**1.Kat (kN)**	**2.Kat (kN)**	**3.Kat (kN)**
CHI	2503	1893	1304	672	M	1753	1432	835	1007	824	476
					M + %10 M	1945	1588	927	1247	1020	587
					M - %10 M	1580	1292	748	863	706	409
ARE	1358	1022	706	370	M	1013	819	505	570	455	300
					M + %10 M	1158	937	576	720	575	377
					M - %10 M	894	724	441	546	439	279
ELC	2514	1941	1337	685	M	1974	1611	945	637	522	299
					M + %10 M	2254	1839	1079	639	523	302
					M - %10 M	1723	1408	820	606	497	283
CXO	1474	1139	835	454	M	1328	1081	640	1874	1533	884
					M + %10 M	1659	1353	795	1677	1372	792
					M - %10 M	1088	888	520	1990	1629	936
ABH	1618	1243	851	434	M	1225	998	590	902	737	426
					M + %10 M	1465	1195	702	889	727	421
					M - %10 M	1056	861	506	1075	881	503
CAC	1539	1204	848	442	M	1199	974	586	983	799	479
					M + %10 M	1296	1050	639	1130	919	549
					M - %10 M	1068	870	517	855	696	415
COR	1906	1476	1025	528	M	1533	1252	728	1520	1247	709
					M + %10 M	1816	1483	864	1874	1537	873
					M - %10 M	1276	1043	606	1406	1153	655
DAY	1936	1471	1000	506	M	1533	1233	781	1687	1354	868
					M + %10 M	1695	1361	869	1566	1244	841
					M - %10 M	1370	1107	685	1731	1398	865
FRN	2612	2026	1443	760	M	2134	1742	1018	854	696	412
					M + %10 M	2451	2001	1166	885	719	430
					M - %10 M	1819	1485	869	788	642	377
GUK	1895	1496	1051	546	M	1459	1191	697	986	808	464
					M + %10 M	1685	1375	805	1124	921	527
					M - %10 M	1238	1010	592	995	816	466
TAF	1782	1376	956	495	M	1206	982	583	1060	867	500
					M + %10 M	1359	1108	654	1016	830	481
					M - %10 M	1097	894	527	946	774	446



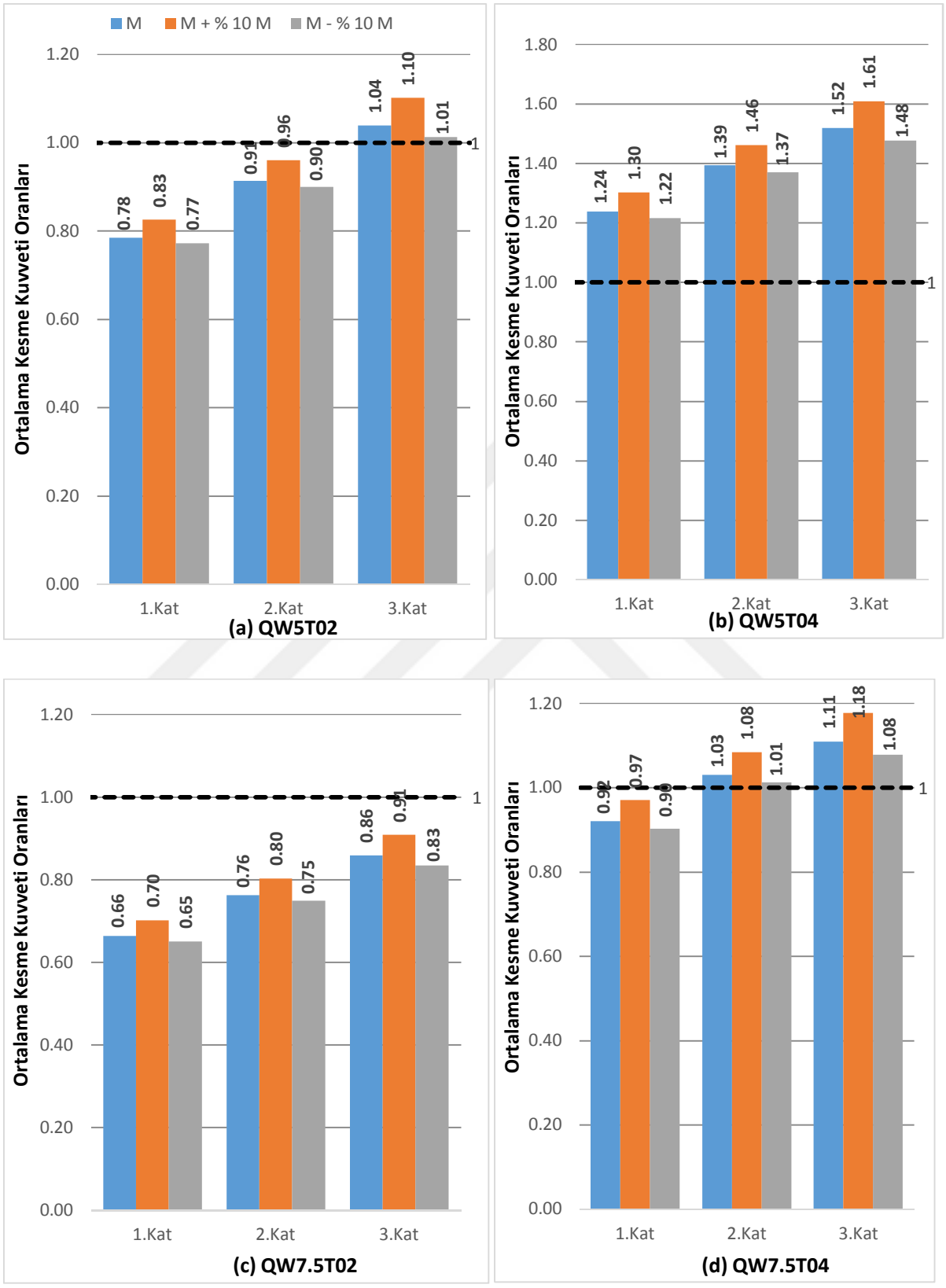
Şekil 4.23: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A kesme kuvveti oranları.



Şekil 4.24: 3 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranları.



Şekil 4.25: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları.



Şekil 4.26: 3 katlı binalarda uzak fay depremleri için Yöntem C/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları.

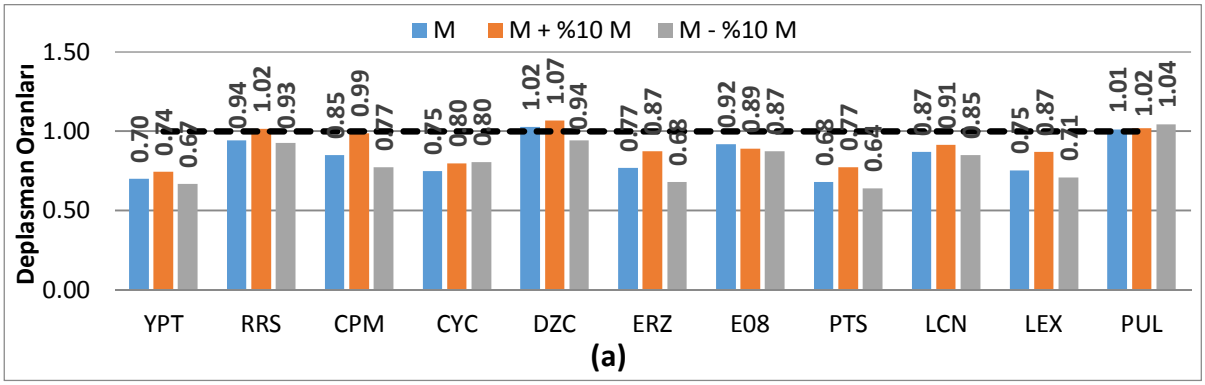
4.2. SEKİZ KATLI BİNA İÇİN ANALİZ SONUÇLARI

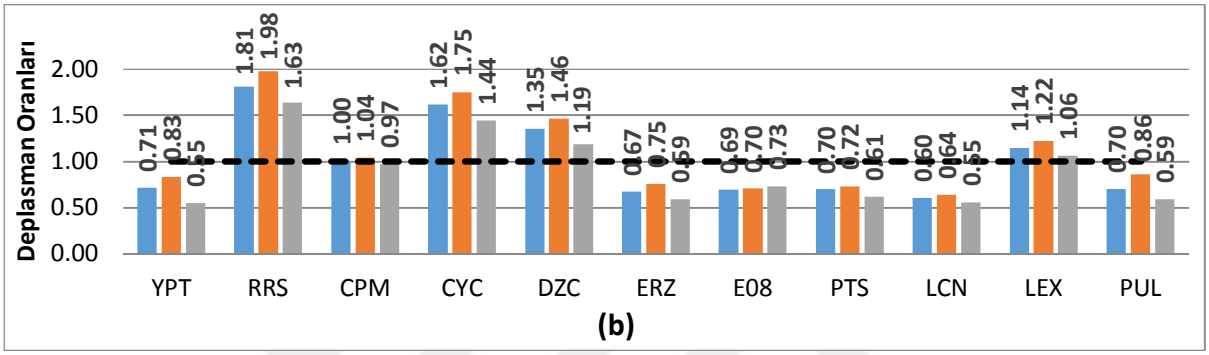
Yöntem B'nin özellikle az katlı yani esnekliği fazla olmayan yapılarda daha etkin olacağı düşünülerek üç katlı yapıda detaylı irdelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda esnekliği fazla olabilecek durumu temsilen sekiz katlı yapı incelemeleri, tek tip örnek bir izolasyon sistemi (QW7.5T04) ele alınarak yakın ve uzak fay depremleri için yapılmıştır.

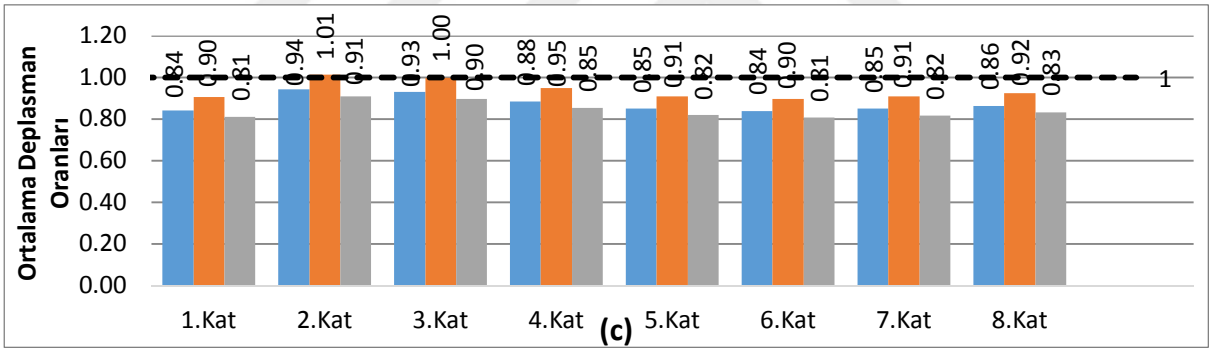
4.2.1. Kat Deplasmanları

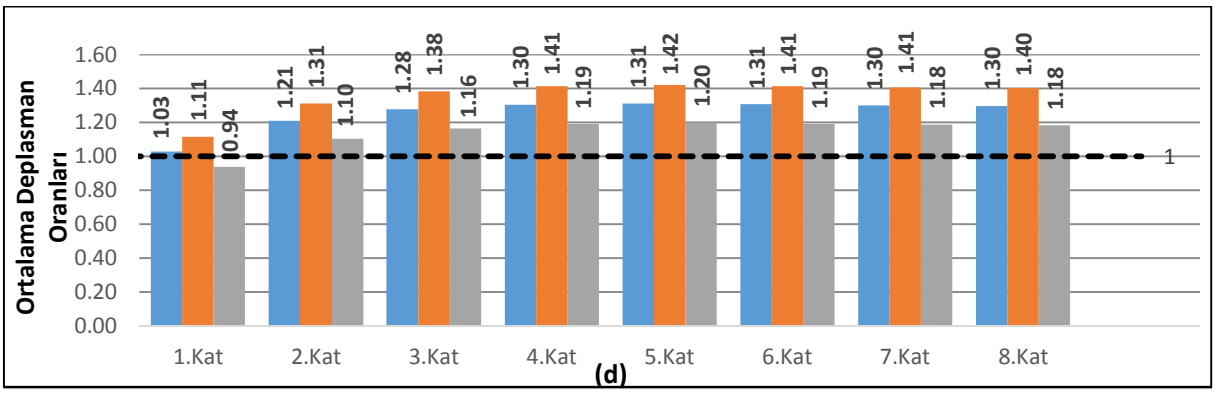
4.2.1.1. Yakın Fay Kat Deplasmanları

Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A deplasman oranı grafikleri sırasıyla Şekil 4.27a ve Şekil 4.27b'de sunulmuştur. 11 yakın fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A deplasman oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.27c ve Şekil 4.27d'de sunulmuştur. Şekil 4.27a ve Şekil 4.27b'den görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen deplasman oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran PTS depreminde ve 0.68 iken, en büyük oran 1.02'e kadar (DZC depreminde) çıkabilmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları için ise, en küçük oran LCN depreminde ve 0.60 iken, en büyük oran 1.81'e kadar (RRS depreminde) çıkabilmektedir. Deplasman tepkisi açısından Yöntem B'nin Yöntem C'ye göre daha etkin ve yeterli olduğu ortaya çıkmaktadır. Yöntem B/Yöntem A'da 0.68-1.02 arasında değişen oranlar, Yöntem C/Yöntem A'da 0.60-1.81 aralığına yükselmiştir. Ortalama deplasman oranları değerlendirildiğinde, Yöntem B ile elde edilen oranların 1.00'a çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.27c). Fakat Şekil 4.27d'de Yöntem C/Yöntem A için ortalama oranların 1.00 değerinin çok üzerinde olduğu görülmektedir. Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları kat bazında incelendiğinde; 0.84-0.94 aralığında değişirken, Yöntem C/Yöntem A için 1.03-1.31 aralığında değiştiği görülmektedir. ± %10 kütle farklılıkları dikkate alındığında da benzer eğilim vardır. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları 0.90-1.01 aralığında, Yöntem C/Yöntem A ortalama deplasman oranları ise 1.11-1.42 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar Yöntem B/Yöntem A'da 0.81-0.91 aralığında, Yöntem C/Yöntem A için ise 0.94-1.20 aralığında değişmiştir.





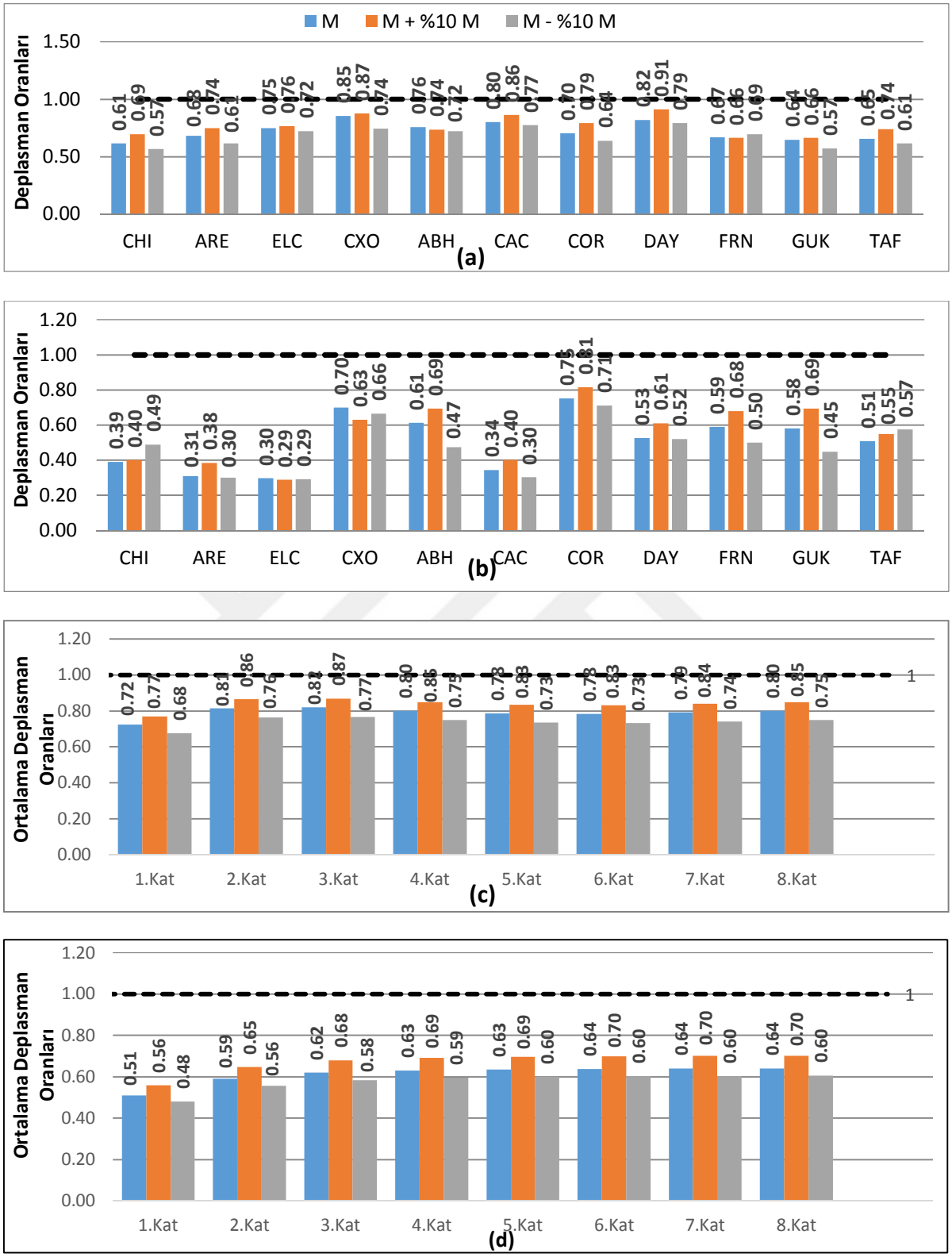




Şekil 4.27: 8 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait deplasman oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama deplasman oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A.

4.2.1.2. Uzak Fay Kat Deplasmanları

Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A deplasman oranı grafikleri sırasıyla Şekil 4.28a ve Şekil 4.28b'de sunulmuştur. 11 uzak fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A deplasman oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.28c ve Şekil 4.28d'de sunulmuştur. Şekil 4.28a ve Şekil 4.28b'den görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen deplasman oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran CHI depreminde ve 0.61 iken, en büyük oran 0.85'e kadar (CXO depreminde) çıkabilmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları için ise, en küçük oran ELC depreminde ve 0.30 iken, en büyük oran 0.75'e kadar (COR depreminde) çıkabilmektedir. Deplasman tepkisi açısından Yöntem B'nin Yöntem C'ye göre daha etkin ve yeterli olduğu ortaya çıkmaktadır. Yöntem B/Yöntem A'da 0.61-0.85 arasında değişen oranlar, Yöntem C/Yöntem A'da 0.30-0.75 aralığında değişmektedir. Ortalama deplasman oranları değerlendirildiğinde, Yöntem B ile elde edilen oranların 1.00'a yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.28c). Fakat Şekil 4.28d'de Yöntem C/Yöntem A için ortalama oranların 1.00 değerinin çok altında olduğu görülmektedir. Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları kat bazında incelendiğinde; 0.72-0.82 aralığında değişirken, Yöntem C/Yöntem A için 0.51-0.64 aralığında değiştiği görülmektedir. ± %10 kütle farklılıkları dikkate alındığında da benzer eğilim vardır. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda Yöntem B/Yöntem A ortalama deplasman oranları 0.77-0.87 aralığında, Yöntem C/Yöntem A ortalama deplasman oranları ise 0.56-0.70 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar Yöntem B/Yöntem A'da 0.68-0.77 aralığında, Yöntem C/Yöntem A için ise 0.48-0.60 aralığında değişmiştir.

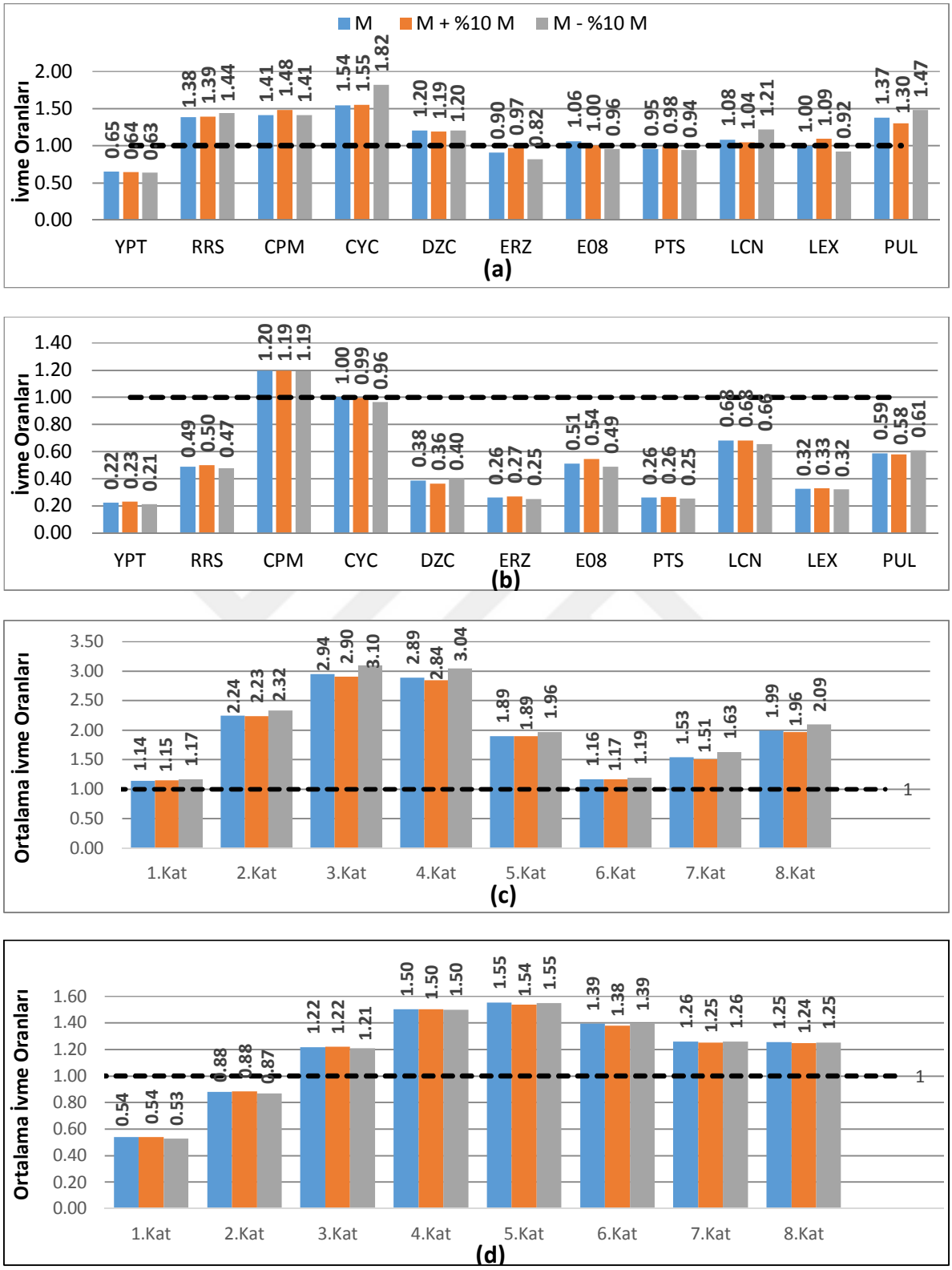


Şekil 4.28: 8 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait deplasman oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama deplasman oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A.

4.2.2. Kat İvmeleri

4.2.2.1. Yakın Fay Kat İvmeleri

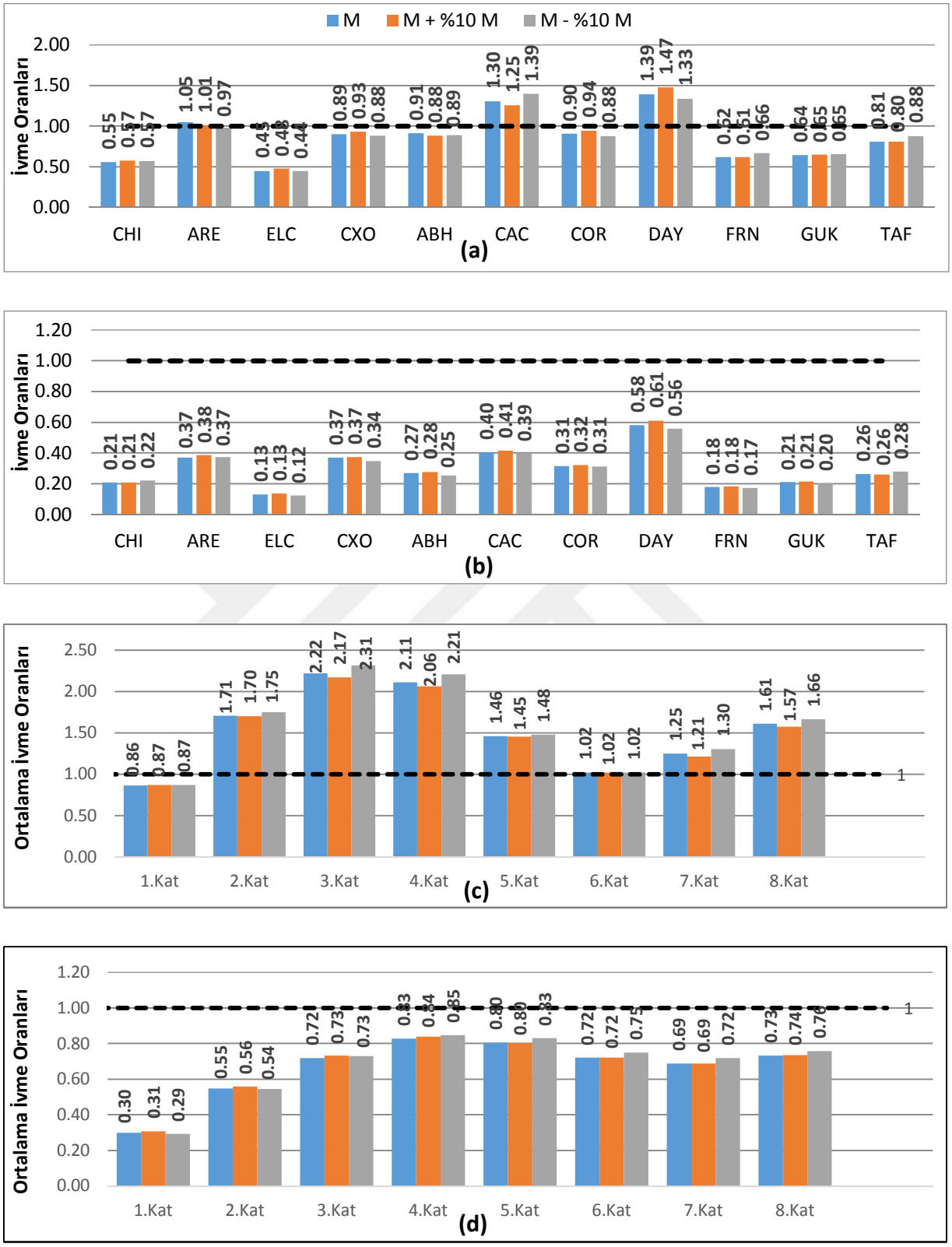
Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A ivme oranı grafikleri sırasıyla Şekil 4.29a ve Şekil 4.29b'de sunulmuştur. 11 yakın fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A ivme oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.29c ve Şekil 4.29d'de sunulmuştur. Önerilen yöntem ile 3 katlı binalarda ivme sonuçlarının uygun olduğu önceki kısımlarda belirlenmişti. Bu kısımda ise, 8 katlı bina için elde edilen ivme oranlarının etkin olmadığı, bazı katlarda 3 katına varan değişimler gösterdiği ortaya çıkmıştır. Örneğin; Yöntem B ile 4.katta oran 2.89 iken 1.katta 1.14 olabilmektedir. Yöntem B'nin Yöntem C'ye göre ivmeler bakımından daha etkin olduğunu söylemek mümkün değildir. Şekil 4.29a ve Şekil 4.29b'den görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen ivme oranları aynı kat (örneğin 1. kat için) deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran YPT depreminde ve 0.65 iken, en büyük oran 1.54'e kadar (CYC depreminde) çıkabilmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları için ise, en küçük oran YPT depreminde ve 0.22 iken, en büyük oran 1.20'e kadar (CPM depreminde) çıkabilmektedir. Ortalama ivme oranları değerlendirildiğinde (Şekil 4.29c ve Şekil 4.29d) Yöntem B/Yöntem A oranları 1.14-2.94 aralığında değişirken, Yöntem C/Yöntem A için 0.54-1.55 aralığında değiştiği görülmektedir. ± %10 kütle farklılıkları dikkate alındığında da benzer eğilim vardır. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları 1.15-2.90 aralığında, Yöntem C/Yöntem A ortalama ivme oranları ise 0.54-1.54 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar Yöntem B/Yöntem A'da 1.17-3.10 aralığında, Yöntem C/Yöntem A için ise 0.53-1.55 aralığında değişmiştir. Dolayısıyla önerilen Yöntem B, yakın fay seti altında ivmeler bakımından çok iyi çalışmamaktadır. Aynı zamanda Yöntem C de ivmeler açısından etkin değildir.



Şekil 4.29: 8 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait ivme oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama ivme oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A.

4.2.2.2. Uzak Fay Kat İvmeleri

Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A ivme oranı grafikleri sırasıyla Şekil 4.30a ve Şekil 4.30b'de sunulmuştur. 11 uzak fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A ivme oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.30c ve Şekil 4.30d'de sunulmuştur. Önerilen yöntem ile 3 katlı binalarda ivme sonuçlarının uygun olduğu önceki kısımlarda belirlenmişti. Bu kısımda ise, 8 katlı bina için elde edilen ivme oranlarının etkin olmadığı, bazı katlarda 3 katına varan değişimler gösterdiği ortaya çıkmıştır. Örneğin; Yöntem B ile 3.katta 2.22 iken 1.katta 0.86 olabilmektedir. Yöntem B'nin Yöntem C'ye göre ivmeler bakımından daha etkin olduğunu söylemek çok mümkün değildir. Şekil 4.30a ve Şekil 4.30b'den görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen ivme oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran ELC depreminde ve 0.45 iken, en büyük oran 1.39'a kadar (DAY depreminde) çıkabilmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları için ise, en küçük oran ELC depreminde ve 0.13 iken, en büyük oran 0.58'e kadar (DAY depreminde) çıkabilmektedir. Yöntem B/Yöntem A'da 0.45-1.39 arasında değişen oranlar, Yöntem C/Yöntem A'da 0.13-0.58 aralığında değişmektedir. Ortalama ivme oranları değerlendirildiğinde, Yöntem B ile elde edilen oranların 1.00 değerinin altında veya çok üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.30c). Öte yandan, Şekil 4.30d'de Yöntem C/Yöntem A için ortalama oranların tümünün 1.00 değerinin altında değerler olduğu görülmektedir (%30-%70 farkla). Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları kat bazında incelendiğinde; 0.86-2.22 aralığında değişirken, Yöntem C/Yöntem A için 0.30-0.83 aralığında değiştiği görülmektedir. ± %10 kütle farklılıkları dikkate alındığında da benzer eğilim vardır. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda Yöntem B/Yöntem A ortalama ivme oranları 0.87-2.17 aralığında, Yöntem C/Yöntem A ortalama ivme oranları ise 0.31-0.84 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar Yöntem B/Yöntem A'da 0.87-2.31 aralığında, Yöntem C/Yöntem A için ise 0.29-1.85 aralığında değişmiştir. Kısacası 8 katlı binalar için uzak fay ivme sonuçlarının Yöntem B açısından çok iyi çıkmadığı görülmüştür.

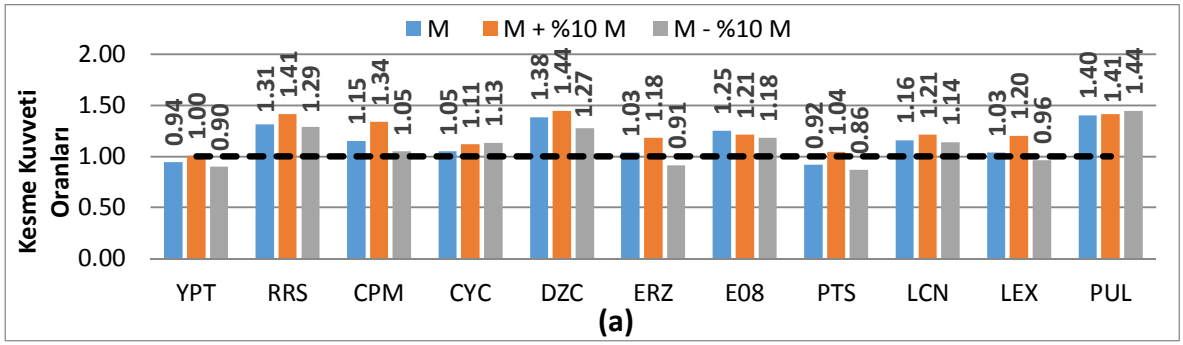


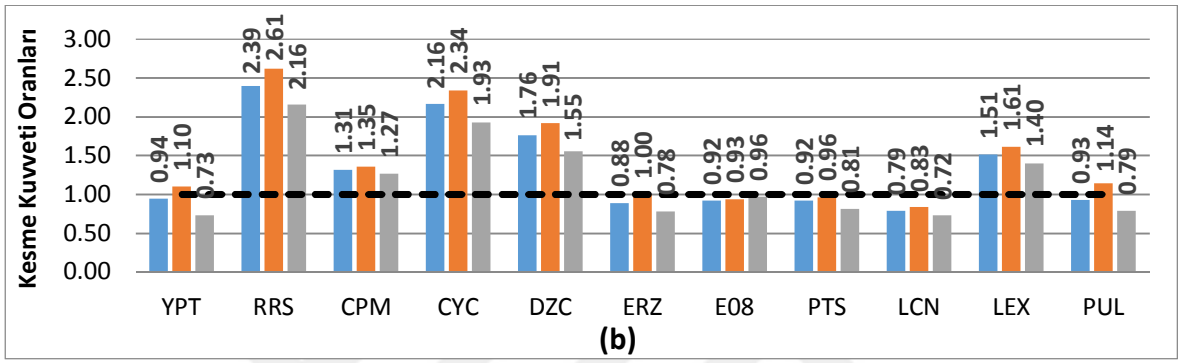
Şekil 4.30: 8 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait ivme oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama ivme oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A.

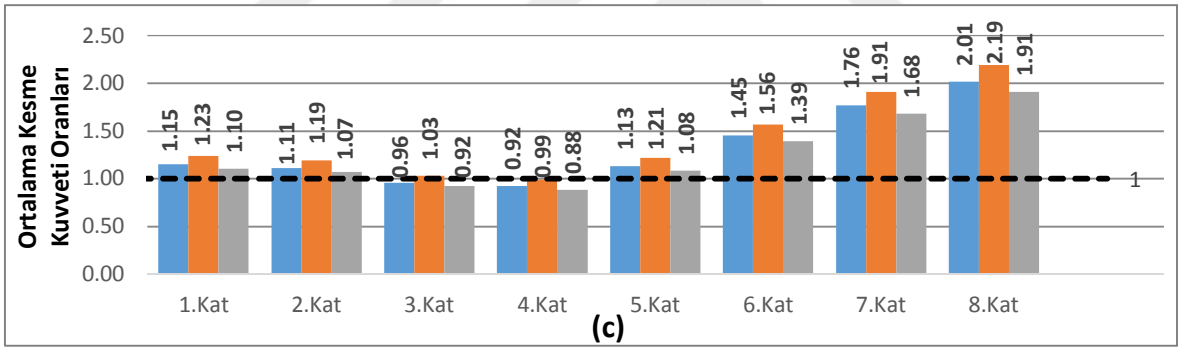
4.2.3. Kat Kesme Kuvvetleri

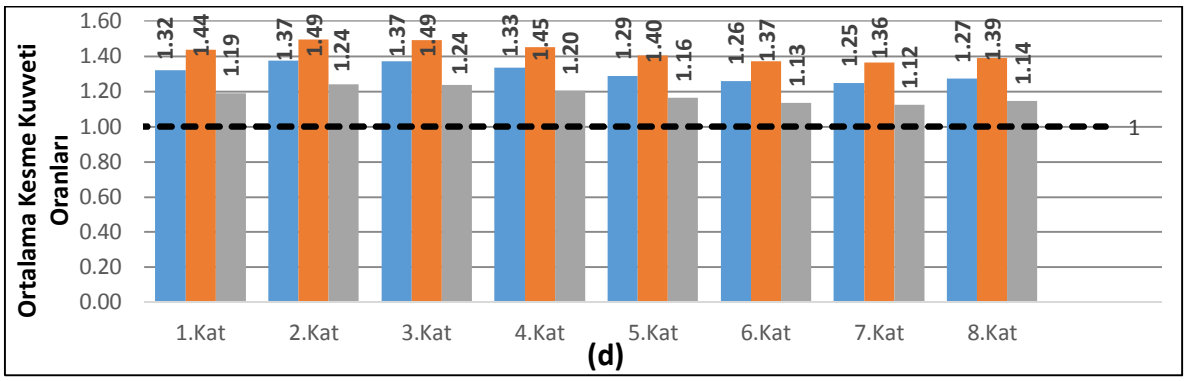
4.2.3.1. Yakın Fay Kat Kesme Kuvvetleri

Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranı grafikleri sırasıyla Şekil 4.31a ve Şekil 4.31b'de sunulmuştur. 11 yakın fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.31c ve Şekil 4.31d'de sunulmuştur. Kesme kuvveti sonuçları ivme sonuçları ile paralellik göstermektedir. Kat bazında 2 katına varan değişimler görülmektedir. Örneğin; Yöntem B ile elde edilen oran 8.katta 2.01 iken 4.katta 0.92 olabilmektedir. Yani bir katta azalırken bir katta 2 katına çıkabilmektedir. Aynı şekilde Yöntem C, kesme kuvveti sonuçları bakımından Yöntem B'ye benzer şekilde iyi sonuçlar vermemektedir. Şekil 4.31a ve Şekil 4.31b'den görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen kesme kuvveti oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran PTS depreminde ve 0.92 iken, en büyük oran 1.40'a kadar (PUL depreminde) çıkabilmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları için ise, en küçük oran LCN depreminde ve 0.79 iken, en büyük oran 2.39'a kadar (RRS depreminde) çıkabilmektedir. Yöntem B/Yöntem A'da 0.92-1.40 arasında değişen oranlar, Yöntem C/Yöntem A'da 0.79-2.39 aralığında değişmektedir. Ortalama kesme kuvveti oranları değerlendirildiğinde (Şekil 4.31c ve d) Yöntem B/Yöntem A oranları 0.92-2.01 aralığında değişirken, Yöntem C/Yöntem A için 1.25-1.37 aralığında değiştiği görülmektedir. ± %10 kütle farklılıkları dikkate alındığında da benzer eğilim vardır. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları 0.99-2.19 aralığında, Yöntem C/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları ise 1.36-1.49 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar Yöntem B/Yöntem A'da 0.88-1.91 aralığında, Yöntem C/Yöntem A için ise 1.12-1.24 aralığında değişmiştir. Kısacası 8 katlı binalar için yakın fay kesme kuvveti sonuçlarının çok iyi çıkmadığı görülmüştür. Yöntem B oranlarına bakıldığında hem kat bazında hem deprem bazında birbirinden farklı sonuçlar vermektedir. Ortalamaların 1.00'dan farklı değerler olduğu görülmektedir. Dolayısıyla önerilen yöntem yakın fay seti altında kesme kuvvetleri bakımından uygun olmamaktadır.









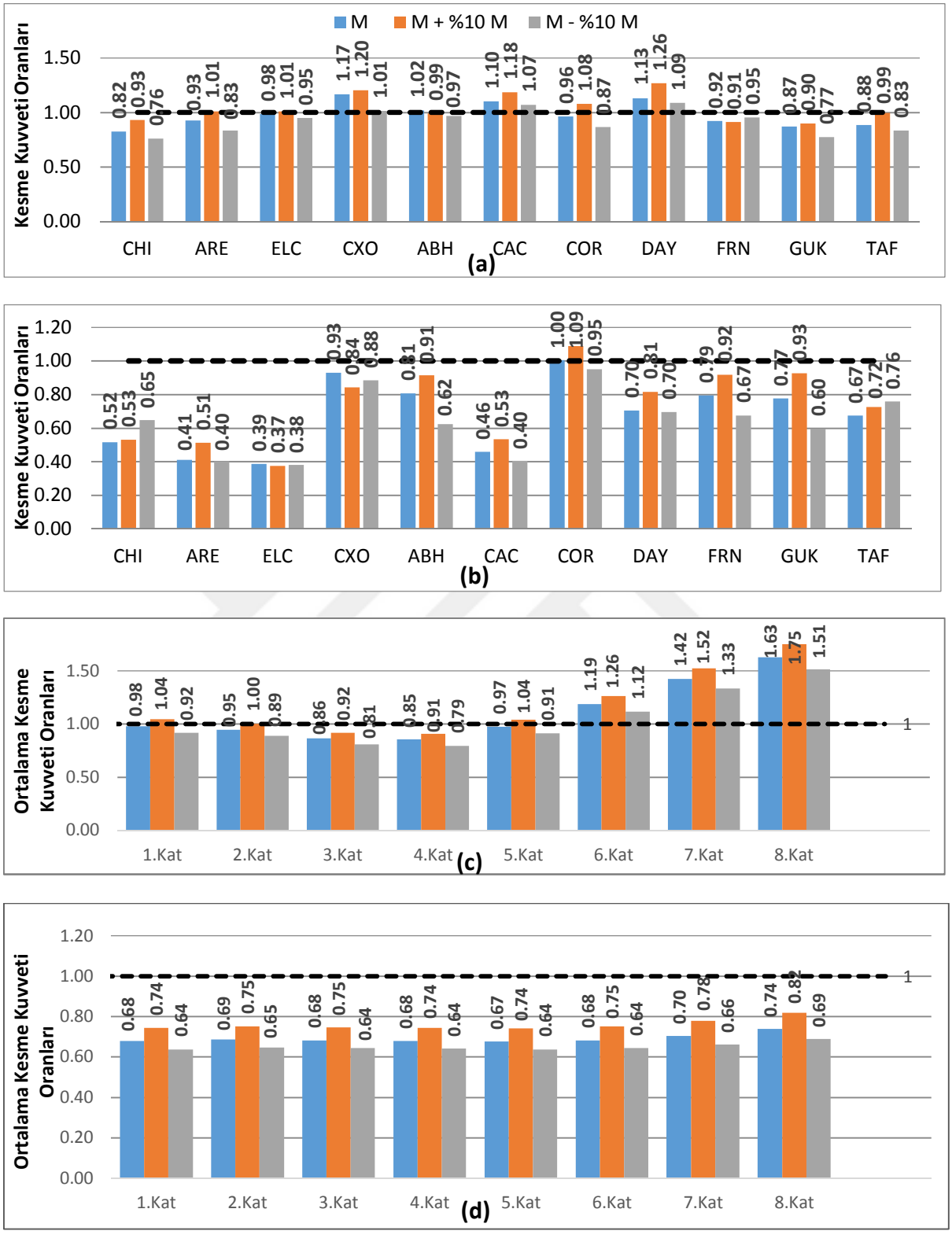
Şekil 4.31: 8 katlı binalarda her bir yakın fay depremi için 1.kata ait kat kesme kuvveti oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama kat kesme kuvveti oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A.

4.2.3.2. Uzak Fay Kat Kesme Kuvvetleri

Deprem bazında değişimi göstermek için örnek olarak 1.kata ait Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranı grafikleri sırasıyla Şekil 4.32a ve Şekil 4.32b'de sunulmuştur. 11 uzak fay depreminden elde edilen Yöntem B/Yöntem A ve Yöntem C/Yöntem A kesme kuvveti oranlarının ortalamaları, sırasıyla Şekil 4.32c ve Şekil 4.32d'de sunulmuştur. Kesme kuvveti oranlarının 8 katlı yapı için deplasman oranları gibi etkin ve yeterli olmadığı, kat bazında iki katına varan değişimler gösterdiği anlaşılmıştır. Yöntem B'nin Yöntem C'ye göre kesme kuvvetleri bakımından daha etkin olduğu söylenemez.

Şekil 4.32a ve Şekil 4.32b'den görüleceği üzere, farklı yöntemlerden elde edilen kesme kuvveti oranları deprem bazında değişkenlik göstermektedir. Yöntem B/Yöntem A oranları irdelendiğinde, kütlenin değişmediği durumda (M), en küçük oran CHI depreminde ve 0.82 iken, en büyük oran 1.17'e kadar (CXO depreminde) çıkabilmektedir. Yöntem C/Yöntem A oranları için ise, en küçük oran ELC depreminde ve 0.39 iken, en büyük oran 1.00'a kadar (COR depreminde) çıkabilmektedir. Yöntem B/Yöntem A'da 0.82-1.17 arasında değişen oranlar, Yöntem C/Yöntem A'da 0.39-1.00 aralığında değişmektedir.

Ortalama kesme kuvveti oranları değerlendirildiğinde, Yöntem B ile elde edilen oranların 1.00 değerinin altında ve üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.32c). Şekil 4.32d'de Yöntem C/Yöntem A için ise tüm ortalama oranların 1.00 değerinin altında olduğu görülmektedir. Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları kat bazında incelendiğinde; 0.83-1.63 aralığında değişirken, Yöntem C/Yöntem A için 0.67-0.74 aralığında değiştiği görülmektedir. ± %10 kütle farklılıkları dikkate alındığında da benzer eğilim vardır. Binanın kütlesinin %10 fazla alındığı durumda Yöntem B/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları 0.91-1.75 aralığında, Yöntem C/Yöntem A ortalama kesme kuvveti oranları ise 0.74-0.82 aralığında değişirken, %10 eksik alındığı durumda ise bu ortalama oranlar Yöntem B/Yöntem A'da 0.81-1.51 aralığında, Yöntem C/Yöntem A için ise 0.64-0.69 aralığında değişmiştir. Kısacası 8 katlı binalar için uzak fay kesme kuvveti sonuçlarının çok iyi çıkmadığı görülmüştür. Yöntem B oranları incelendiğinde hem kat bazında hem deprem bazında birbirinden farklı sonuçlar vermektedir. Ortalamaların 1'den farklı değerler olduğu görülmektedir.



Şekil 4.32: 8 katlı binalarda her bir uzak fay depremi için 1.kata ait kat kesme kuvveti oranları - (a) Yöntem B / Yöntem A, (b) Yöntem C / Yöntem A ve ortalama kat kesme kuvveti oranları - (c) Yöntem B / Yöntem A, (d) Yöntem C / Yöntem A.

4.3. KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMELER

Önceki kısımlarda yapılan incelemeler neticesinde, bu tez kapsamında önerilen yöntemin az katlı, esnekliği düşük üstyapılara sahip sismik izolasyonlu binalar için daha uygun olacağı anlaşılmıştır. Dolayısıyla, bu kısımda üç katlı binalar ele alınmıştır. Gerçek kütle değeri (M) ile QW7.5T04 izolasyon sistemi için uzak ve yakın fay depremleri ayrı ayrı incelenmiş ve ortalama oran grafikleri deplasman, ivme ve kesme kuvveti cinsinden sunulmuştur. Önceki kısımlarda sunulan analiz sonuçlarına göre, Yöntem C'nin etkinliği deprem bazında çok değişkenlik gösterirken Yöntem B için bu durum söz konusu değildir. Bu farklılığı niceliksel olarak ortaya koymak için, bu bölümde standart sapmalar da hesaplanarak karşılaştırmalı grafikler halinde sunulmuştur.

Önceki kısımlarda yaklaşık üstyapı periyodu ve toplam kütleden ±%10 sapma durumları incelenmiştir. Burada, ön tasarım aşamasında üstyapının taban ankastre modelinden gerçek periyodunun elde edildiği ve yapı kütlesinin daha hassas hesaplandığı bir aşama için (bir veya iki iterasyon sonrası) sapma olmayan M değeri ile gerçek üstyapı periyodu değeri için de incelemeler gerçekleştirilmiştir. Yani, Yöntem B için analizler hem yaklaşık periyot değeri kullanılarak hem de gerçek periyot değeri kullanılarak yapılmış olup, sonuçlar her bir ortalama oran ve standart sapma grafiğinde birlikte sunulmuştur.

Üç katlı binada, kütlenin sapmadığı durum (M) ve QW7.5T04 izolasyon sistemi için deplasman, ivme ve kesme kuvveti ortalama oranları ve standart sapma değerlerinin grafikleri yakın fay için sırası ile Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'te verilirken, uzak fay için ise Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da verilmiştir.

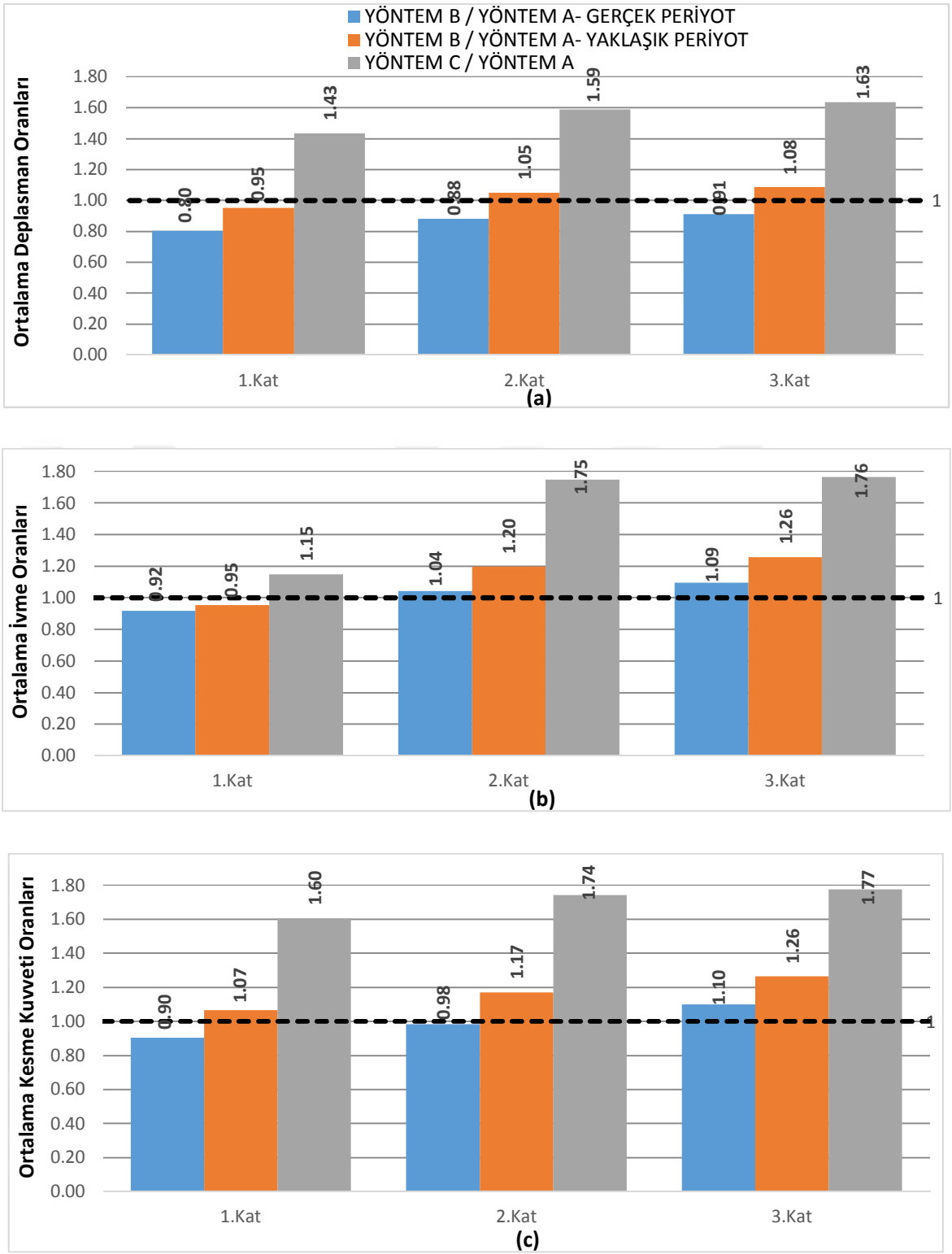
Şekil 4.33 incelendiğinde; Yöntem B'nin gerçek ve yaklaşık periyot olarak ortalama oranlar cinsinden Yöntem C'den çok daha etkin ve yeterli olduğu görülmektedir. Yöntem B'de gerçek periyot değeri kullanılması durumunda özellikle üst katlarda ve özellikle ivme ve kesme kuvvetleri oranlarının yaklaşık periyot kullanıldığı duruma göre 1.00'a daha yakın hale geldiği, deplasman oranlarında ise alt katlarda 1.00'dan bir miktar uzaklaşma görülmekle birlikte 1.00 oranına yakınlık açısından çok büyük değişimler olmadığı görülmektedir. Neticede, Yöntem B ile elde edilen oranların Yöntem C ile elde edilen oranlara göre çok daha iyi olduğu, Yöntem B'de gerçek periyot kullanıldığında ise ivme ve kesme kuvveti oranlarının daha da iyileştiği görülmektedir. Örneğin; ivme oranlarına bakıldığında 2. kat için yaklaşık periyot

kullanıldığında 1.20 olan ivme oranının gerçek periyotta 1.04'e düştüğü görülürken, 3.katta 1.26'dan 1.09'a çekilmektedir. Benzer olarak, kesme kuvveti değerlerine bakıldığında 2. kat için yaklaşık periyot kullanıldığında 1.17 olan kesme kuvveti oranının gerçek periyotta 0.98'e düştüğü görülürken, 3.katta 1.26'dan 1.10'a düştüğü görülmektedir.

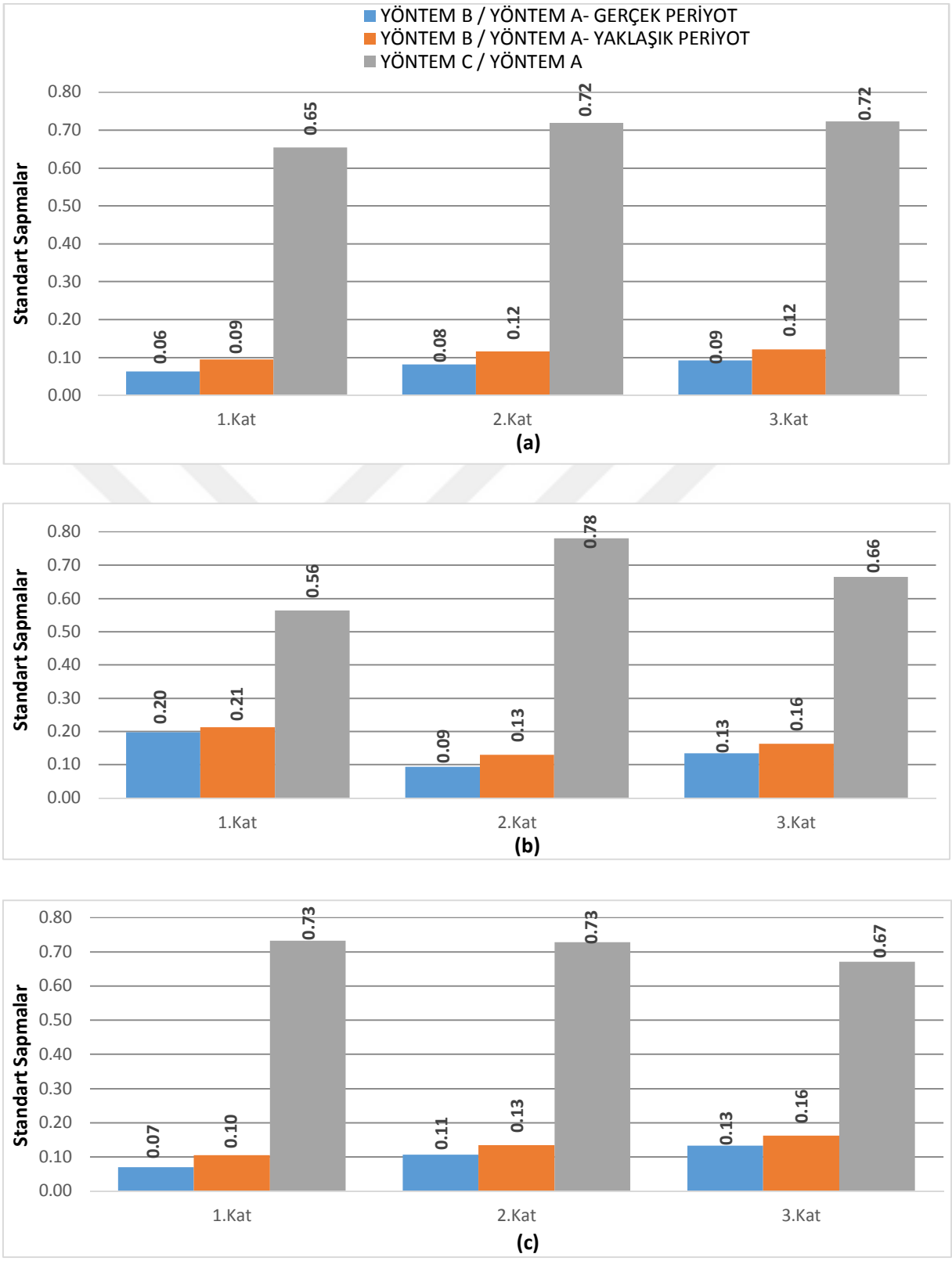
Şekil 4.34'te verilen standart sapma değerleri deprem bazında yöntemin yeterliliğinin ne kadar değişken olduğunu göstermektedir. Yani standart sapma deprem bazında, irdelenen yöntemlerin başarısını ortaya koymaktadır. Bu standart sapma değeri ne kadar küçükse deprem kaydının frekans içeriğine hassasiyetinin o kadar az olduğunu göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında gerçek periyot kullanıldığında standart sapmaların bir miktar daha azaldığı ancak yaklaşık periyot kullanıldığında da bu standart sapmaların çok fazla artmadığı ve Yöntem C'ye göre çok daha etkin ve yeterli olduğu görülmektedir.

Gerçek periyot yerine yaklaşık periyot kullanmanın önerilen yöntemde özellikle deplasman değerleri açısından oldukça yeterli olduğu görülmektedir. Şekil 4.33a incelendiğinde 3.kat ortalama deplasman oranları Yöntem B'de gerçek periyot kullanıldığında 0.91 iken, yaklaşık periyot kullanıldığında 1.08 olmaktadır. Fakat bu değerlere karşılık gelen standart sapma değerlerine bakıldığında sırası ile 0.09 ve 0.12 olmaktadır. Yani aslında bu değerlerin gerçek periyot kullanıldığında 0.82-1.00 arasında değiştiği görülürken, yaklaşık periyot kullanıldığında 0.96-1.20 arasında değiştiği görülmektedir. Buradan önerilen yöntemin yaklaşık periyotlar kullanılsa dahi etkinliği görülmektedir.

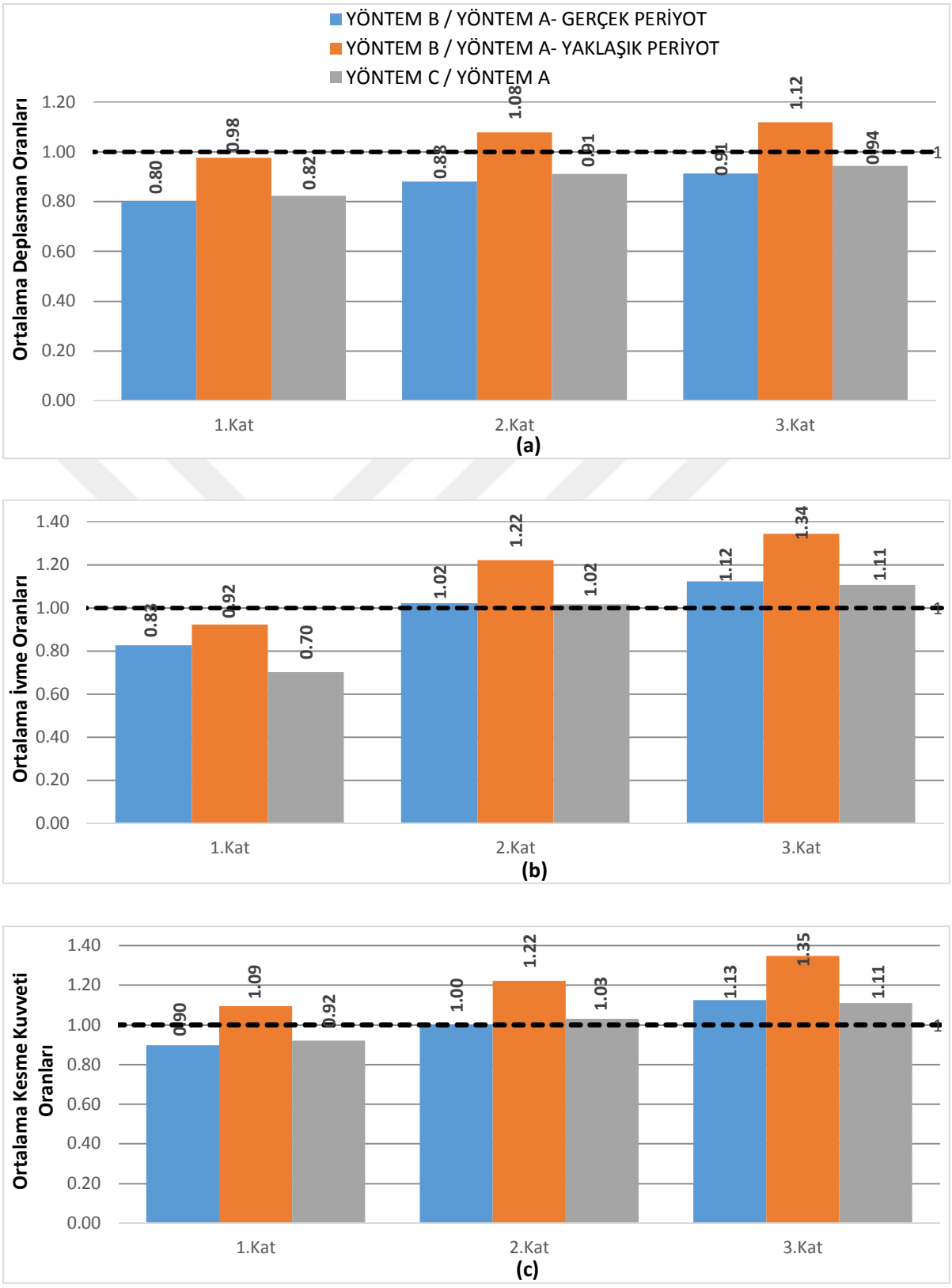
Şekil 4.35'te deplasman oranlarına bakıldığında ortalamalar açısından her ne kadar uzak fay setinde Yöntem C 1.00'a yakın değerler vermiş gibi görünse de Şekil 4.36'da verilen standart sapma değerlerinin çok yüksek olması dolayısıyla yöntemin daha yetersiz olduğu söylenebilir. Ayrıca, Yöntem C için kullanılan ve bu çalışmada 4 olarak dikkate alınan azaltma katsayısı kesin bir değer olmadığı ve önceden doğru olarak belirlenmesinin her zaman mümkün olamayacağı unutulmamalıdır. Farklı azaltma katsayısı değerleri kullanıldığında sonuçların çok daha farklı çıkabileceği açıktır. Bunun yanında standart sapma değerlerinin yüksekliği de bu yöntemin başarısının deprem kaydı bazında çok fazla değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Buna karşın Yöntem B'nin standart sapmaları oldukça düşüktür (~ %5).



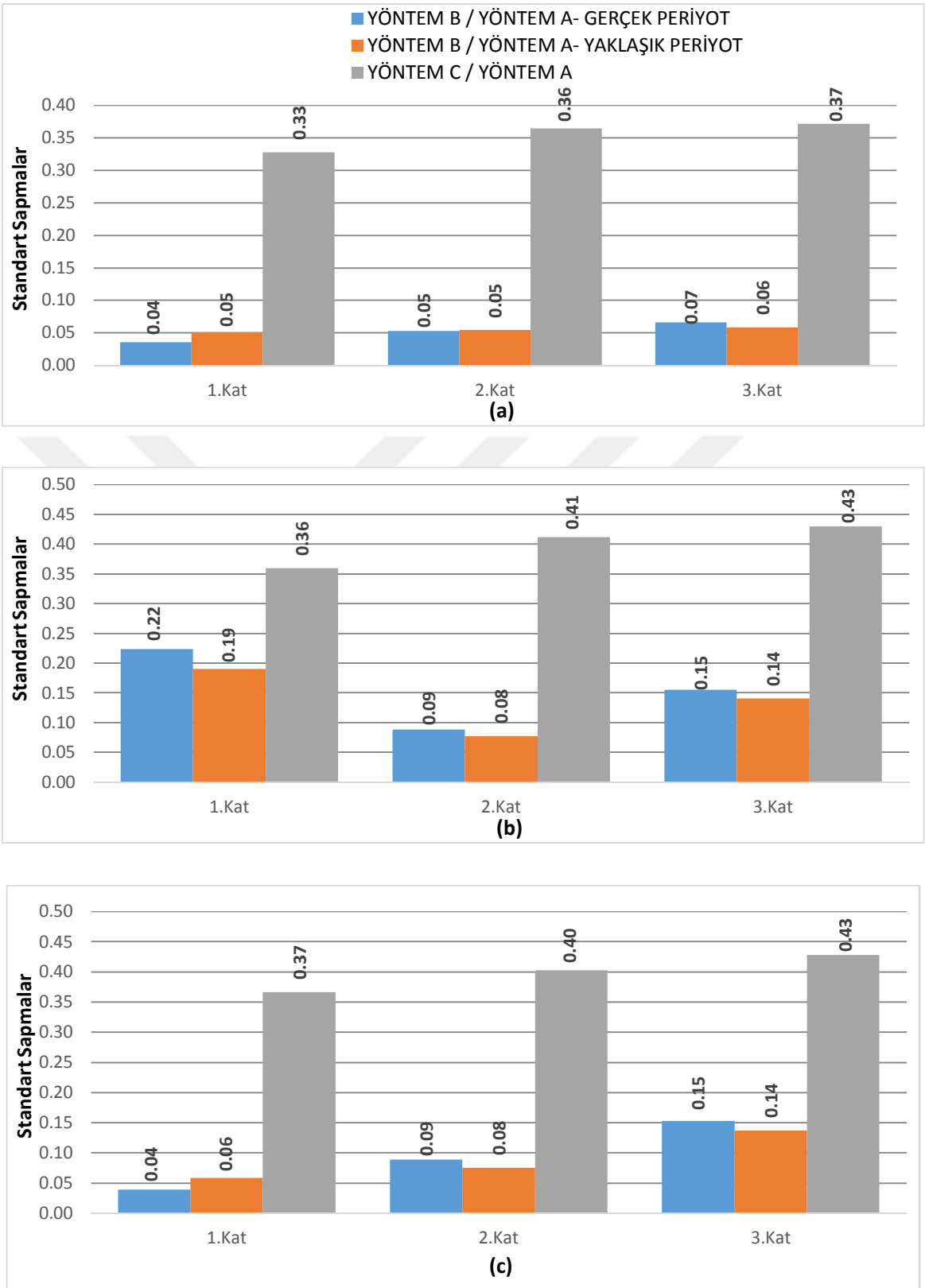
Şekil 4.33: 3 katlı QW7.5T04 binalar için yakın fay depremleri altında ortalama oranlar: (a) Deplasman, (b) İvme, (c) Kesme Kuvveti.



Şekil 4.34: 3 katlı QW7.5T04 binalar için yakın fay depremler altında standart sapma değerleri: (a) Deplasman, (b) İvme, (c) Kesme Kuvveti.



Şekil 4.35: 3 katlı QW7.5T04 binalar için uzak fay depremleri altında ortalama oranlar: (a) Deplasman, (b) İvme, (c) Kesme Kuvveti.



Şekil 4.36: 3 katlı QW7.5T04 binalar için uzak fay depremler altında standart sapma değerleri: (a) Deplasman, (b) İvme, (c) Kesme Kuvveti.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sunulan tez çalışmasında, sismik izolasyonlu binaların sismik izolasyon sisteminin ve üstyapısının ön tasarımlarının ayrık olarak yapılabilmesi için yaklaşık bir yöntem önerilmiş olup bu yönteme Yöntem B adı verilmiştir. Bu tür binaların nihai tasarımları için kullanılan ve gerçek durumu yansıtan ortak modelin doğrusal olmayan zaman tanım analizlerinin yapıldığı yöntem ise Yöntem A olarak isimlendirilmiştir. Pratik uygulamalarda mevcut durumda kullanılan ve sadece üstyapının taban ankastre modelinin kullanıldığı yönteme ise Yöntem C ismi verilmiştir. Bu tez kapsamında önerilen Yöntem B'nin diğer iki yönteme göre karşılaştırmalı olarak değerlendirmesi, 11 adet yakın fay ve 11 adet uzak fay deprem kayıtlarının kullanıldığı iki ayrı deprem seti ve dört farklı izolasyon sistemi (iki farklı izolasyon periyodu ve iki farklı karakteristik kuvvet oranlarının dört farklı kombinasyonu) için yapılmıştır. Üstyapı esnekliğini dikkate almak için de 3 ve 8 katlı binalar incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

1) Yöntem B kapsamındaki üstyapıların basitleştirilmiş tek katlı modelinin yer aldığı sismik izolasyon sistemi kullanıldığında, zaman tanım alanı boyunca Yöntem A kapsamındaki gerçek tam üç boyutlu ortak modellerin kullanıldığı durum 3 ve 8 katlı binalar için etkin ve yeterli bir şekilde yakalanmaktadır. Yani, önerilen Yöntem B ile, ön tasarım aşamasında izolasyon sistemi deplasmanları (taban deplasmanları) yaklaşık olarak elde edilebilmektedir. Halbuki Yöntem C ile izolasyon sistemi yapısal tepkileri hakkında herhangi bir bilgi edinilememektedir.

2) Üstyapıya ait kat deplasmanları, kat ivmeleri ve kat kesme kuvvetleri, önerilen Yöntem B ile rijit üstyapılı (3 katlı) binalar için Yöntem A'dan elde edilen sonuçlara yakın olacak şekilde hem yakın fay hem de uzak fay deprem ortalamaları için elde edilmiştir. Kat deplasmanları açısından Yöntem A sonuçlarını yakalama etkinliği kat ivmeleri ve kat kesme kuvvetlerine göre daha yüksektir. Ayrıca, genel olarak alt katlar için üst katlara göre daha olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Üstyapı kütlesinin tahmini değerinde yapılacak %10'a varan hataların Yöntem B sonuçlarını çok fazla etkilemeyeceği de ortaya konmuştur.

3) Yöntem B kapsamında, üstyapı periyotları yaklaşık değerler yerine daha gerçekçi modal analiz değerleri kullanılarak analiz yapıldığında, özellikle kat ivmeleri ve kat kesme kuvvetleri daha etkin bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Bu durum özellikle üst kat yapısal tepkileri için geçerlidir.

4) Yöntem B'nin etkinliği, izolasyon sistemi karakteristik özellikleri ve deprem kaydı frekans içeriği ve genliğine hassas değildir. Yani, her durumda benzer sonuçlara ulaşılmaktadır. Halbuki, Yöntem C, uzun periyotlu izolasyon sistemlerinde daha düşük etkinlik göstermektedir. Ayrıca, farklı deprem kayıtları altında da etkinlik seviyesi çok fazla değişmektedir.

5) Yöntem B ve mevcut halde kullanılmakta olan Yöntem C, üstyapı esnekliği fazla olan (8 katlı) binaların üstyapı tepkilerini yeterli etkinlikte tahmin edememektedir. Yöntem B ile deplasmanlar açısından iyi sayılabilecek sonuçlar elde edilse de, bu yöntem de ivme ve kesme kuvvetleri açısından çok yeterli görünmemektedir. Sismik izolasyonlu bir yapının rijit cisim hareketinin Yöntem B veya Yöntem C ile yansıtılamıyor olması sebebiyle esnekliği fazla olan çok katlı binalarda atalet kuvvetlerinin bina yüksekliği boyunca dağılımlarının tam olarak tahmin edilememiş olduğu ve bunun da yöntemin etkinliğini azalttığı değerlendirilmiştir.

6) Yöntem C ile ilgili en önemli dezavantaj, yapı analizlerinin ankastre durum için yapılıp sismik izolasyon etkisi için öngörülen bir azaltma katsayısına bölünmesidir. Zira, bu azaltma katsayısının ne olacağı tartışmalı bir husustur. Genellikle tasarlanacak binanın yapı davranış katsayısına yakın bir değer alınmaktadır. Bu çalışmada bu değer 4 olarak alınmış olup, farklı azaltma değerleri için Yöntem C'nin etkinliğinin ciddi şekilde değişeceği açıktır.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen konuyla ilgili gelecekte yapılacak araştırma çalışmalarında, yaklaşık üstyapı modeli olarak kullanılan tek katlı model yerine biraz daha gelişmiş olan üstyapının çubuk olarak modellendiği bir tür model ele alınabilir. Diğer bir husus olarak orta yükseklikteki 5 katlı binalar da dikkate alınarak kat yüksekliğine bağlı eğilimler ortaya konulabilir.

KAYNAKLAR

Alhan, C., Gazi, H., Kurtuluş, H., 2016, Significance of stiffening of high damping rubber bearings on the response of base-isolated buildings under near-fault earthquakes, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 79, 297-313.

Alhan, C., Öncü-Davas, S., 2016, Performance limits of seismically isolated buildings under near-field earthquakes, *Engineering Structures. Elsevier Ltd*, 116, 83-94.

Alhan, C., Özgür, M., 2015, Seismic responses of base-isolated buildings: efficacy of equivalent linear modeling under near-fault earthquakes, *Smart Structures and Systems*, 15(6), 1439-1461.

Alhan, C., Sürmeli, M., 2011, Shear building representations of seismically isolated buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(5), 1643-1671.

Alhan, C., Sürmeli, M., 2015, Necessity and adequacy of near-source factors for not-so-tall fixed-base buildings, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 14(1), 13-26.

Andriono, T., Carr, A.J., 1991, A simplified earthquake resistant design method for base isolated multistorey structures, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 238-250

ASCE, 2006, ASCE/SEI 7-05: Minimum design loads for buildings and other structures, *American society of civil engineers*, USA.

Bray, J.D., Rodriguez-Marek, A., 2004, Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(11), 815-828.

Calvi, P.M., Calvi, G.M., 2018, Historical development of friction-based seismic isolation systems, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier Ltd*, 106, 14-30.

Chavez, J., Khemici, O., Khater, M., Keshishian, P., 2012, Building codes and relative seismic vulnerability in Latin America countries, 15 WCEE, Lisboa 2012.

Clemente, P., Bongiovanni, G., Buffarini, G., Saitta, F., Castellano, M.G., Scafati, F., 2019, Effectiveness of HDRB isolation systems under low energy earthquakes, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier Ltd*, 118, 207-220.

Clemente, P., Martelli, A., 2019, Seismically isolated buildings in Italy: State-of-the-art review and applications, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier Ltd*, 119, 471-487.

CSI, 2019, SAP2000: Structural analysis program, static and dynamic finite element analysis of structures- V20.2, *Computers and Structures Inc.,* USA.

DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

De la Llera, J.C., Vasquez, J., Poulos, A., Favier, P., 2015, Trends in research and design of structures with seismic protection systems, XI Congreso Chileno de Sismologia e Ingeniera Sismica ACHISINA 2015, 1-28.

Erdik, M., Ülker, Ö., Şadan, B., Tüzün, C., 2018, Seismic isolation code developments and significant applications in Turkey, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115, 413-437.

Eurocode 8, prEN 1998-1, 2005, Design of Structures for Earthquake Resistance, *Comité Européen Normalisation, Brussels.*

Gesualdi, G., Cardone, D., Rosa, G., 2019, Finite element model updating of base-isolated buildings using experimental results of in-situ tests, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier Ltd*, 119, 422-432.

Güllü, H., Karabekmez, M., 2017, Effect of near-fault and far-fault earthquakes on a historical masonry mosque through 3D dynamic soil-structure interaction, *Engineering Structures, Elsevier Ltd*, 152, 465-492.

He, W.L., Agrawal, A.K., 2008, Analytical model of ground motion pulses for the design and assesment of seismic protective systems, *Journal of Structural Engineering*, 134(7), 1177-1188.

Kaloop, M.R., Hu, J.W., 2017, Seismic response prediction of buildings with base isolation using advanced soft computing approaches, *Hindawi Advanced in Materials Science and Engineering*, 7942782, 12.

Kani, N., 2009, Current state of seismic-isolation design, 4(3), 175-176.

Kani, N., Takayama, M., Wada, A., 2006, Performance of seismically isolated buildings in Japan, *8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering,* 2181, 1-10.

Kilar, V., Koren, D., 2008, Usage of simplified N2 method for analysis of base isolated structures, *14 th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.*

Komodromos, P., 2000, *Seismic isolation for earthquake resistant structures*, WIT Press, ISBN: 1-85312-803-1.

Losanno, D., Hadad, H.A., Serino, G., 2019, Design charts for eurocode-based design of elastomeric seismic isolation systems, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier Ltd*, 119, 488-498.

Markou, A.A., Oliveto, G., Athanasiou, A., 2016, Response simulation of hybrid base isolation systems under earthquake excitation, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier*, 84, 120-133.

Martelli, A., Forni, M., 2011, Seismic isolation and other passive anti-seismic systems: worldwide application and conditions for their correct use, 4-6.

Martelli, A., Forni, M., Clemente, P., 2012, Recent worldwide application of seismic isolation and energy dissipation and conditions for their correct use.

Moustafa, A., Takewaki, I., 2010, Characterization and modeling of near-fault pulse-like strong ground motion via damage-based critical excitation method, *Structural Engineering and Mechanics*, 34(6), 755-778.

Naeim, F., Kelly, J.M., 1999, *Design of seismic isolated structures from theory to practice*, Wiley, New York, ISBN: 0-471-14921-7.

Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M., Constantinou M.C., 1991, *3DBASIS: A general program for the nonlinear dynamic analysis of three dimensional base isolated buildings*, National center for earthquake engineering research, State University of New York, Buffalo.

Pan, P., Zamfirescu, D., Nakashima, M., Nakayasu, N., Kashiwa, H., 2005, Base-isolation design practice in japan: introduction to the post-kobe approach, *Journal of earthquake engineering*, 9, 147-171.

PEER, 2019, *Pacific earthquake engineering resource center: NGA database,* http://ngawest2.berkeley.edu/, [Ziyaret Tarihi: Ocak 2019].

Ramirez, C., Miranda, E., 2007, Simplified analysis for preliminary design of base-isolated structures, *New Horizons and Better Practices*, 10.1061/40946(248)52.

Saifullah, M.K., Alhan, C., 2017, Necessity and adequacy of near-source factors for seismically isolated buildings, *Earthquakes and Structures*, 12(1), 91-108.

Sarno, L.Di., Chioccarelli, E., Cosenza, E., 2011, Seismic response analysis of an irregular base-isolated building, *Bulletin of Earthquake Engineering,* 9, 1673-1702.

SEISMOSOFT, 2019, SeismoSignal: Earthquake Software for Signal Processing of Strong-Motion Data, *Seismosoft Earthquake Engineering Software Solutions,* Pavia-Italy.

Skinner, R.I., Robinson, W.H., McVerry, G.H., 1993, *An introduction to seismic isolation*, John Wiley & Sons Ltd., England, ISBN: 0 471 93433 X.

Takagi, J., Wada, A., 2019, Recent earthquakes and the need for a new philosophy for earthquake-resistant design, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Elsevier Ltd*, 119, 499-507.

TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı-Deprem Dairesi Başkanlığı,* Ankara .

Tena-Colunga, A., 2014, Simplified method for the seismic design of low-rise, shear Wall base-isolated buildings, *The Open Construction and Building Technology Journal*, 8(1), 22-33, 10.2174/1874836801408010022.

Tsang, H.H., Lo, S.H., Xu, X., Neaz-Sheikh, M., 2012, Seismic isolation for low-to-medium-rise buildings using granulated rubber-soil mixtures: numerical study, Earthquake Engineering and Structural Dynamics. John Wiley & Sons Ltd., 41(14), 2009-2024.

UBC, 1997, *Uniform building code, Volume 2: Structural engineering provisions*, International Conference of Building Officials, Whittier, California.

Zhang, Q.Q., Pan, W., Sun., B.F., 2013, The two-stage design method of isolated structures based on new code for seismic design of buildings, *Applied Mechanics and Materials*, 275-277, 123-1249.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Burak YILMAZ
Doğum Yeri	Tavşanlı/Kütahya
Doğum Tarihi	16.06.1989
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	05071748149
E-Posta Adresi	byilmaz089@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri Lisans	
Üniversite	Pamukkale Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	21.08.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı