



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SENTETİK YAKIN FAY YER HAREKETLERİ ETKİSİNDEKİ  
SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN  
OLASILIKSAL DİNAMİK DAVRANIŞINA ÜSTYAPI ESNEKLİĞİNİN ETKİSİ**

**Bilal BARAN**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. Cenk ALHAN**

**II. DANIŞMAN  
Dr. Hatice GAZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**İnşaat Mühendisliği Programı**

**Haziran, 2022**

Bu çalışma, 03.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliğı Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

## TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Cenk ALHAN(Danışman)  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Arcan YANIK  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi

Dr.Öğr.Üyesi Erdem DAMCI  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
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 aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor almıştır.



Aileme ithaf ediyorum...

## **BÜTÇE DESTEKLERİ**

### **SENTETİK YAKIN FAY YER HAREKETLERİ ETKİSİNDEKİ SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN OLASILIKSAL DİNAMİK DAVRANIŞINA ÜSTYAPI ESNEKLİĞİNİN ETKİSİ**

Bu tez çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK)  
119M804 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında desteklerini esirgemeyen, tecrübe ve görüşleri ile yol gösteren, benim için yoğun mesai harcayan değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Cenk ALHAN'a ve Dr. Hatice GAZİ'ye bana öğrettikleri her şey için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında verdikleri destekten dolayı Tübitak-Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı'na ve tez çalışmasına proje kapsamında maddi destek veren Tübitak-Araştırma Destek Programları Başkanlığı'na (TÜBİTAK Proje No: 119M804) teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca manevi desteğini esirgemeyen eşim Mahsima Havva BARAN'a, dualarını eksik etmeyen annem ve babama, varlıklarıyla bana moral veren çok sevdiğim ağabeyim ve kardeşlerime sabırları, anlayışları ve destekleri için şükranlarımı sunar, sonsuz teşekkür ederim.

**Haziran 2022**

**Bilal BARAN**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

<b>BÜTÇE DESTEKLERİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE</b> .....	<b>5</b>
<b>3. YÖNTEM</b> .....	<b>9</b>
3.1. TABAN İZOLASYONLU BİNALARA AİT ÜSTYAPI MODELLERİ .....	9
3.1.1. Belirsizlik İçeren Üstyapı Parametrelerinin Modellenmesi .....	11
3.2. TABAN İZOLASYONLU BİNALARA AİT İZOLASYON SİSTEMİ MODELLERİ .....	16
3.2.1. Belirsizlik İçeren İzolasyon Sistemi Parametrelerinin Modellenmesi .....	18
3.3. YAKIN-FAY YER HAREKETLERİ.....	22
3.3.1. Belirsizlik İçeren Yer Hareketi Parametrelerinin Modellenmesi.....	24
3.4. MONTE CARLO SİMÜLASYON METODU .....	27
3.5. 3D-BASIS ve 3DBASIS-MC-3U YAPISAL DİNAMİK ANALİZ PROGRAMLARI	29
3.5.1. 3DBASIS-MC-3U Programının Verifikasyonu .....	33
3.6. YETERLİ MONTE CARLO SİMÜLASYON SAYISININ ( $N_{MCS}$ ) TESPİTİ .....	35
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>39</b>
4.1. DİNAMİK ANALİZLER .....	39
4.1.1. Pik İzolatör Deplasmanlarının Maksimumları ( $pbd_{i_{max}}$ ).....	40
4.1.2. Pik Göreli Kat Öteleme Oranlarının Maksimumları ( $pdri_{max}$ ) .....	48
4.1.3. Pik Toplam Kat İvmelerinin Maksimumları ( $ptai_{max}$ ).....	55
4.2. GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİ .....	62

4.2.1. Birinci Aşama Güvenilirlik Analizleri .....	62
4.2.1.1. İzolasyon Sistemi Güvenilirlikleri Açısından .....	63
4.2.1.2. Yapısal Sistem Bütünlüğü Güvenilirlikleri Açısından .....	72
4.2.1.3. Titreşime Duyarlı Ekipman Güvenilirlikleri Açısından .....	81
4.2.2. İkinci Aşama Güvenilirlik Analizleri (Performans Testleri).....	89
4.2.2.1. $T_{0,nom} = 3 s$ ve $(Q/W)_{nom} = \%5$ İzolasyon Sistemlerine Sahip Binalar için Gerçekleştirilen Performans Testlerinin Sonuçları.....	91
4.2.2.2. $T_{0,nom} = 3s$ ve $(Q/W)_{nom} = \%10$ İzolasyon Sistemlerine Sahip Binalar için Gerçekleştirilen Performans Testlerinin Sonuçları.....	96
4.2.2.3. $T_{0,nom} = 4s$ ve $(Q/W)_{nom} = \%5$ İzolasyon Sistemlerine Sahip Binalar için Gerçekleştirilen Performans Testlerinin Sonuçları.....	101
4.2.2.4. $T_{0,nom} = 4s$ ve $(Q/W)_{nom} = \%10$ İzolasyon Sistemlerine Sahip Binalar için Gerçekleştirilen Performans Testlerinin Sonuçları.....	106
<b>5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>111</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>119</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>127</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 3.1: Taban izolasyonlu binaların üç boyutlu görünüşleri: (a) 4 katlı, (b) 8 katlı, (c) 12 katlı. ....	11
Şekil 3.2: Tüm taban izolasyonlu binalara ait tipik kat planı. ....	11
Şekil 3.3: Bağımsız rastgele değişken üstyapı parametrelerine ait (a-d): olasılık yoğunluğu fonksiyon grafikleri, (e-h): normal olasılık kağıdı grafikleri. ....	14
Şekil 3.4: Bağımlı değişken üstyapı parametrelerine ait kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri. ....	15
Şekil 3.5: (a): Tüm binalar için tipik izolasyon sistemi planı, (b): Kauçuk esaslı izolatlara ait idealize edilmiş yumuşak ikili-doğrusal histeretik model kuvvet - yer değiştirme ilişkisi. ....	17
Şekil 3.6: Bağımsız rasgele değişken izolasyon sistemi parametrelerine ait olasılık yoğunluğu fonksiyon grafikleri; (a-c): 4 katlı üstyapıya sahip binalar için, (d-f): 8 katlı üstyapıya sahip binalar için, (g-i): 12 katlı üstyapıya sahip binalar için. ....	20
Şekil 3.7: Bağımlı değişken izolasyon sistemi parametrelerine ait kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri; (a-c): 4 katlı üstyapıya sahip binalar için, (d-f): 8 katlı üstyapıya sahip binalar için, (g-i): 12 katlı üstyapıya sahip binalar için. ....	21
Şekil 3.8: Bağımsız rasgele değişken yer hareketi parametrelerine ait olasılık yoğunluğu fonksiyonu grafikleri. ....	25
Şekil 3.9: Bağımlı değişken yer hareketi parametrelerine ait kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri. ....	26
Şekil 3.10: Monte Carlo Simülasyon Metodu aşamaları. ....	28
Şekil 3.11: Monte Carlo Simülasyon Metodu kapsamında tez çalışmasında gerçekleştirilen aşamalar. ....	29
Şekil 3.12: 3D-BASIS programının (Nagarajaiah vd., 1991) ana hatlarıyla akış diyagramı. ....	30
Şekil 3.13: 3DBASIS-MC-3U programının (Gazi vd., 2021) ana hatlarıyla akış diyagramı. ....	32
Şekil 3.14: 3DBASIS-MC-3U programının (Gazi vd., 2021) verifikasyonu için gerçekleştirilen örnek simülasyon sonuçları. ....	34
Şekil 3.15: 4K-T3QW05 binası ön simülasyon çalışması sonuçları; (a): $p_{bdi_{max}}$ , (b): $p_{tai_{max}}$ (c): $p_{dri_{max}}$ . ....	36
Şekil 3.16: $N_{MCS}$ tespit için gerçekleştirilen ön simülasyon çalışması sonuçları; (a-c) $p_{bdi_{max}}$ için, (d-f): $p_{tai_{max}}$ için, (g-i): $p_{dri_{max}}$ için. ....	38

Şekil 4.1: $M_w = 6.50$ depremleri için pik izolatör deplasmanlarının maksimumlarına ( $pbd_{i_{max}}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda.	44
Şekil 4.2: $M_w = 7.25$ depremleri için pik izolatör deplasmanlarının maksimumlarına ( $pbd_{i_{max}}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda .....	45
Şekil 4.3: Pik izolatör deplasmanlarının maksimumlarına ( $pbd_{i_{max}}$ ) ait 100. yüzdelik değer grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda (uygulamada yaygın kullanılan izolatör deplasman kapasiteleri ile karşılaştırmalı olarak) ....	46
Şekil 4.4: Pik izolatör deplasmanlarının maksimumları ( $pbd_{i_{max}}$ ) için maksimum pozitif sapma ve maksimum negatif sapma yüzdeleri; (a): T3QW05, (b): T3QW10, (c): T4QW05, (d): T4QW10 izolasyon sistemli binalarda.....	47
Şekil 4.5: $M_w = 6.50$ depremleri için pik görel kat öteleme oranlarının maksimumlarına ( $pdri_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda .....	51
Şekil 4.6: $M_w = 7.25$ depremleri için pik görel kat öteleme oranlarının maksimumlarına ( $pdri_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda .....	52
Şekil 4.7: Pik görel kat öteleme oranlarının maksimumlarına ( $pdri_{max}$ ) ait 100. yüzdelik değer grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda .....	53
Şekil 4.8: Pik görel kat öteleme oranlarının maksimumları ( $pdri_{max}$ ) için maksimum pozitif sapma ve maksimum negatif sapma yüzdeleri; (a): T3QW05, (b): T3QW10, (c): T4QW05, (d): T4QW10 izolasyon sistemli binalarda.....	54
Şekil 4.9: $M_w = 6.50$ depremleri için pik toplam kat ivmelerinin maksimumlarına ( $ptai_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda.....	58
Şekil 4.10: $M_w = 7.25$ depremleri için pik toplam kat ivmelerinin maksimumlarına ( $ptai_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda.....	59
Şekil 4.11: Pik toplam kat ivmelerinin maksimumlarına ( $ptai_{max}$ ) ait 100. yüzdelik değer grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda .....	60
Şekil 4.12: Pik toplam kat ivmelerinin maksimumları ( $ptai_{max}$ ) için maksimum pozitif sapma ve maksimum negatif sapma yüzdeleri; (a): T3QW05, (b): T3QW10, (c): T4QW05, (d): T4QW10 izolasyon sistemli binalarda .....	61
Şekil 4.13: Binaların izolasyon sistemi güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T3QW05 izolasyon sistemli binalar, (b, d, f): T3QW10 izolasyon sistemli binalar için .....	68
Şekil 4.14: Binaların izolasyon sistemi güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T4QW05 izolasyon sistemli binalar, (b, d, f): T4QW10 izolasyon sistemli binalar için .....	69
Şekil 4.15: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının izolasyon sistemlerinin güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %90); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda.....	70

Şekil 4.16: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının izolasyon sistemlerinin güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %98); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda.....	71
Şekil 4.17: Binaların yapısal sistem bütünlüğü güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T3QW05, (b, d, f): T3QW10 izolasyon sistemli binalar için .....	77
Şekil 4.18: Binaların yapısal sistem bütünlüğü güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T4QW05, (b, d, f): T4QW10 izolasyon sistemli binalar için .....	78
Şekil 4.19: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının yapısal sistem bütünlüğü güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %90); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda.....	79
Şekil 4.20: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının yapısal sistem bütünlüğü güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %98); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda.....	80
Şekil 4.21: Binaların titreşime duyarlı ekipman güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T3QW05, (b, d, f): T3QW10 izolasyon sistemli binalar için .....	85
Şekil 4.22: Binaların titreşime duyarlı ekipman güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T4QW05, (b, d, f): T4QW10 izolasyon sistemli binalar için .....	86
Şekil 4.23: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının titreşime duyarlı ekipman güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %90); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda.....	87
Şekil 4.24: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının titreşime duyarlı ekipman güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %98); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda.....	88
Şekil 4.25: 4K-T3QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	93
Şekil 4.26: 8K-T3QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	94
Şekil 4.27: 12K-T3QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	95
Şekil 4.28: 4K-T3QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	98
Şekil 4.29: 8K-T3QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	99
Şekil 4.30: 12K-T3QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	100
Şekil 4.31: 4K-T4QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	103
Şekil 4.32: 8K-T4QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	104
Şekil 4.33: 12K-T4QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	105
Şekil 4.34: 4K-T4QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	108
Şekil 4.35: 8K-T4QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	109
Şekil 4.36: 12K-T4QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları.....	110

## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
Tablo 3.1: Taban izolasyonlu binalara ait üstyapı parametrelerinin nominal değerleri .....	11
Tablo 3.2: İzolasyon sistemlerindeki herhangi bir i. izolatöre ait parametrelerin nominal değerleri .....	17
Tablo 3.3: Sentetik yakın-fay yer hareketlerine ait parametrelerin nominal değerleri.....	24
Tablo 3.4: Çalışma kapsamındaki tüm üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerine ait parametreler .....	27
Tablo 4.1: Birinci Aşama Güvenilirlik Analizleri için kullanılan yapısal performans kriterleri .....	63
Tablo 4.2: İkinci Aşama Güvenilirlik Analizleri için oluşturulan 27 performans testi ve kriterleri .....	89

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$k_{xij}$	: Kolon elemanının rijitliği (i. kat, j. kolon, x doğrultusu, kN/m)
$k_{yij}$	: Kolon elemanının rijitliği (i. kat, j. kolon, y doğrultusu, kN/m)
$K_{xi}$	: Doğrusal kat rijitlikleri (X doğrultusu, kN/m)
$K_{yi}$	: Doğrusal kat rijitlikleri (Y doğrultusu, kN/m)
$x_{ij}$	: Kolon elemanın kat kütle merkezine olan mesafeleri (x yönü)
$y_{ij}$	: Kolon elemanın kat kütle merkezine olan mesafeleri (y yönü)
$m_{xi}$	: Kat kütleleri (X yönü, kNs <sup>2</sup> /m)
$m_{yi}$	: Kat kütleleri (Y yönü, kNs <sup>2</sup> /m)
$\zeta_{sm}$	: Üstyapı modal sönüm oranı (%)
$K_{\theta i}$	: Kat kütle merkezine göre toplam kat burulma rijitliği (kN.m)
$\sigma$	: Standart sapma değeri
$\mu_X$	: X rastgele değişkeninin ortalama değeri
$x_i$	: Gerçekleşme değeri
$s_i$	: Standart normal rastgele sayıları
$e_{xi}$	: Statik eksantrisite değerleri(X eksen, m)
$e_{yi}$	: Statik eksantrisite değerleri(Y eksen, m)
$m_{\theta i}$	: Rotasyonel kat kütleleri
$L_x$	: Bina boyutu (X yönü, m)
$L_y$	: Bina boyutu (Y yönü, m)
$k_1$	: İzolatöre ait akma öncesi rijitlik parametresi (kN/m)
$k_2$	: İzolatöre ait akma sonrası rijitlik parametresi (kN/m)
$q$	: İzolatöre ait karakteristik kuvvet parametresi (kN)
$f_y$	: İzolatöre ait akma dayanım kuvveti (kN)
$d_y$	: İzolatöre ait akma yer değiştirmesi (cm)
$M$	: Toplam bina kütlesi (kNs <sup>2</sup> /m)
$W$	: Toplam bina ağırlığı
$n_{izo}$	: İzolasyon sistemindeki toplam izolatör sayısı
$\alpha_i$	: Rijitlikler oranı

<b>Q</b>	: İzolasyon sistemine ait karakteristik kuvvet değeri (kN)
<b>(Q/W)<sub>nom</sub></b>	: Nominal karakteristik kuvvet oranı (%)
<b>T<sub>0</sub></b>	: İzolasyon periyodu (s)
<b>T<sub>0,nom</sub></b>	: Nominal izolasyon periyodu (s)
<b>d<sub>yi,nom</sub></b>	: Akma deplasmanı nominal değeri (cm)
<b>ü<sub>g</sub></b>	: Puls içeren yakın-fay yer hareketleri için hız-zaman fonksiyonları
<b>ü̇<sub>g</sub></b>	: Puls içeren yakın-fay yer hareketleri için ivme-zaman fonksiyonları
<b>S</b>	: Hız pulsu başlangıç genliği
<b>ζ<sub>p</sub></b>	: Puls sönüm oranı (%)
<b>ω<sub>p</sub></b>	: Hız pulsu açısal frekansı
<b>t<sub>p</sub></b>	: Pik yer hızının gerçekleştiği an
<b>V<sub>p</sub></b>	: Puls hızı (cm/s)
<b>T<sub>p</sub></b>	: Puls periyodu (s)
<b>M<sub>w</sub></b>	: Yakın-fay yer hareketlerinin moment büyüklüğü
<b>r</b>	: Yer hareketleri için faya olan en yakın mesafe (km)
<b>b<sub>x</sub></b>	: X değişkeninin ölçek parametresi
<b>c<sub>x</sub></b>	: X değişkeninin şekil parametresi
<b>u<sub>i</sub></b>	: (0-1) aralığında ve üniform dağılıma sahip U değişkenine ait değerler
<b>N<sub>MCS</sub></b>	: Monte Carlo simülasyonu sayısı
<b>P<sub>f</sub></b>	: Başarısızlık olasılığı
<b>g</b>	: Yerçekimi ivmesi (m/s <sup>2</sup> )

## Kısaltmalar

## Açıklama

<b>CDF, F<sub>x</sub></b>	: Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
<b>COV<sub>x</sub></b>	: X rastgele değişkeninin varyasyon katsayısı (%)
<b>İK</b>	: İzolasyon katı
<b>pbdi<sub>max</sub></b>	: i. simülasyona ait pik izolatör deplasmanların maksimumu (cm)
<b>PDF, f<sub>x</sub></b>	: Olasılık Yoğunluğu Fonksiyonu
<b>pdri<sub>max</sub></b>	: i. simülasyona ait pik görel kat öteleme oranlarının maksimumu (-)
<b>ptai<sub>max</sub></b>	: i. simülasyona ait pik toplam kat ivmelerinin maksimumu (g)
<b>Limit<sub>a</sub></b>	: İvme limit değerleri (g)
<b>Limit<sub>d</sub></b>	: Deplasman limit değerleri (m)
<b>Limit<sub>dr</sub></b>	: Görel kat öteleme oranı limit değerleri (-)

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### SENTETİK YAKIN FAY YER HAREKETLERİ ETKİSİNDEKİ SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN OLASILIKSAL DİNAMİK DAVRANIŞINA ÜSTYAPI ESNEKLİĞİNİN ETKİSİ

**Bilal BARAN**

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**İnşaat Mühendisliği Programı**

**Danışman : Prof. Dr. Cenk ALHAN**

**II. Danışman : Dr. Hatice GAZİ**

Bu tez, 119M804 no'lu TÜBİTAK projesi (Gazi, H., Alhan, C., Baran, B., 2021, Yakın-Fay Yer Hareketlerine Maruz Taban İzolasyonlu Binaların Güvenilirlikleri Üzerinde Belirsizlik Kaynaklarının ve Üstyapı Esnekliğinin Etkileri, TÜBİTAK-119M804) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında yakın-fay yer hareketlerine maruz taban izolasyonlu binaların izolasyon sistemi, titreşime duyarlı ekipman ve yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirliklerinin analizleri yapılmıştır. Bu analizler, Monte Carlo simülasyonları dâhilinde gerçekleştirilmiştir. Önceki çalışmalardan farklı ve özgün olarak bu çalışmada, yakın-fay yer hareketlerine maruz taban izolasyonlu binaların söz konusu güvenilirliklerinin analizinde, *doğrusal olmayan izolasyon sistemlerine sahip, çok katlı ve gerçekçi üç boyutlu modeller kullanılarak; izolasyon sistemi ile yer hareketi parametrelerindeki belirsizliklerin yanı sıra üstyapı parametrelerindeki belirsizlikler de göz önünde bulundurulmuştur*. Bunların yanı sıra, yine önceki çalışmalardan farklı ve özgün olarak, *üst yapı esnekliği de dikkate alınmış olup; farklı üstyapı esnekliklerine, farklı izolasyon periyotlarına ve farklı izolasyon karakteristik*

kuvvet oranlarına sahip taban izolasyonlu binaların, farklı moment magnitudü ve farklı fay mesafesi seviyeleri için üretilen sentetik yakın-fay yer hareketleri etkisindeki güvenilirlikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamındaki doğrusal olmayan dinamik analizler, 3D-BASIS yazılımının (Nagarajah, S., Reinhorn, A.M., Contantinou, M.C., 1991, 3D-BASIS: A General Program for the Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Buildings, USA) *üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizlikleri dikkate alabilecek ve Monte Carlo simülasyonları dahilinde tekrarlı dinamik analizler gerçekleştirebilecek şekilde*, anılan proje kapsamında modifiye edilen versiyonuyla gerçekleştirilmiştir. Güvenilirlik analizleri ise, binaların izolasyon sistemi, titreşime duyarlı ekipman ve yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirliklerinin *önce ayrı ayrı ve ardından birlikte ele alınması suretiyle iki aşamalı olarak* gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketi belirsizliklerinin birlikte dikkate alınmaları halinde, üstyapı esnekliğinin yakın-fay yer hareketlerine maruz taban izolasyonlu binaların izolasyon sistemi, titreşime duyarlı ekipman ve yapısal sistem bütünlükleri açısından güvenilirlikleri üzerindeki etkileri, -izolasyon sistemi periyodu, izolasyon sistemi karakteristik kuvvet oranı, deprem moment magnitudü ve deprem fay mesafeleri ayrımları gözetilerek- istatistiksel olarak ortaya konulmuştur.

Haziran 2022 , 145 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Sismik taban izolasyonu, yakın-fay depremi, olasılıksal dinamik analiz, güvenilirlik analizi, Monte Carlo simülasyonu



## **ABSTRACT**

### **M.Sc. THESIS**

#### **EFFECT OF SUPERSTRUCTURE FLEXIBILITY ON THE PROBABILISTIC DYNAMIC BEHAVIOR OF SEISMICALLY ISOLATED BUILDINGS UNDER SYNTHETIC NEAR-FAULT GROUND MOTIONS**

**Bilal BARAN**

**İstanbul University-Cerrahpaşa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Civil Engineering**

**Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Cenk ALHAN**

**Co-Supervisor: Dr. Hatice GAZİ**

This thesis is carried out within the scope of the project numbered 119M804 of TUBITAK (Gazi, H., Alhan, C., Baran, B., 2021, Effects of Uncertainty Sources and Superstructure Flexibility on the Reliability of Base-Isolated Buildings under Near-Fault Earthquakes, TÜBİTAK-119M804). In this thesis, the reliability analyses of the base isolated buildings under near-fault ground motions are carried out with regards to their isolation system, vibration sensitive equipment and structural system integrity. These analyses are carried out within Monte Carlo simulations. Different from the past studies, *multi-story and realistic three-dimensional models with non-linear isolation systems* are used in the reliability analyses of base-isolated buildings under near-fault ground motions *by considering the uncertainties in the superstructure parameters in addition to the uncertainties in the isolation system and ground motion parameters*. Besides, the *flexibility of the superstructure is also taken into account* different from the past studies. Thus, the subject reliabilities of base-isolated buildings with different superstructure flexibilities, different isolation periods and different isolation

characteristic strength ratios are investigated under synthetic near-fault ground motions generated for different earthquake moment magnitudes and different earthquake fault distances. The nonlinear dynamic analyses are conducted out via the version of the 3D-BASIS academic software (Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M., Contantinou, M.C., 1991, 3D-BASIS: A General Program for the Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Buildings, USA), which is modified within the scope of the aforementioned project *in a way that could take into account the uncertainties in the superstructure, isolation system and ground motion parameters* and perform iterative dynamic analyses within Monte Carlo simulations. Reliability analyses are carried out in two steps *considering the isolation system, vibration sensitive equipment and structural system integrity reliabilities of the buildings* first separately and then together. Thus, in the case that subject uncertainty sources are considered together, the effects of flexibilities of the superstructures on the isolation system, vibration sensitive equipment and structural integrity reliabilities of base-isolated buildings exposed to near-fault ground motions are revealed statistically by taking into account the differences in isolation system periods, isolation system characteristic strength ratios, earthquake moment magnitudes, and earthquake closest fault distances.

June 2022, 145 pages.

**Keywords:** Seismic base isolation, near-fault earthquake, probabilistic dynamic analysis, reliability analysis, Monte Carlo simulation.

## 1. GİRİŞ

Sismik izolasyon teknolojisi, özellikle titreşime duyarlı önemli teçhizatların bulunduğu hastane, acil operasyon, savunma ve telekomünikasyon yapılarında; içinde bulunanların hasara uğraması ya da kullanım dışı kalmasının ekonomiye büyük zarar vereceği sıvı depolama tankları ve nükleer enerji santralleri gibi endüstri ve ileri teknoloji yapılarında; deprem sırasında ve sonrasında kullanılabilir kalması gereken kamu binalarında; değerli sergilerin bulunduğu müzelerde ve karayolu köprüleri gibi altyapı tesislerinde tercih edilmektedir (Komodromos, 2000; Chen ve Scawthorn, 2002; Wolff ve Constantiou, 2004).

Sismik izolasyon sistemleri, düşük ve orta yükseklikli yapıları yüksek frekans içeriğine sahip uzak-fay yer hareketlerine karşı etkin bir şekilde koruyabilmektedir. Ancak, söz konusu yapıların yüksek hızlı ve uzun periyotlu pulslar içeren yakın-fay yer hareketlerine maruz kalmaları halinde, yapısal cevap parametreleri artabilmektedir (Heaton vd. 1995; Makris, 1997; Mazza vd. 2018). Bu tür yer hareketleri etkisinde izolatörlerde meydana gelebilecek büyük deplasmanlar, bu elemanların deplasman kapasitesini aşarak izolatörlerin burkulması, yırtılması ve bina çevresindeki sismik boşluk mesafesinin aşılması gibi sorunlara sebep olabilir (Nagarajaiah ve Ferrell, 1999; Alhan ve Hışman, 2016) ve hatta izolasyon sistemini tamamıyla göçmeye götürebilir (Cardone vd., 2019). Diğer taraftan, yine yakın-fay yer hareketleri etkisinde sismik izolasyonlu binalarda ortaya çıkabilecek yüksek kat ivmeleri, bu binalarda bulunan titreşime duyarlı ekipmanın ivme dayanım limit değerlerini aşabilir. Zira, söz konusu cihazların çalışmalarına ara vermeden dayanabilecekleri ivme seviyeleri oldukça düşüktür (Alhan ve Şahin, 2011). Örneğin, Worksafe Technologies (2015) tarafından temin edildiği üzere; bazı bilgisayar disk sürücülerinin kalıcı hasar ve data kayıplarına karşı korunabilmeleri ve de kesintisiz çalışmalarına devam edebilmeleri için dayanabilecekleri pik ivme limit değerleri, sürücü modeline göre 0.2g - 1.0g aralığında değişmektedir. Ayrıca, bazı bilgisayar üreticileri tarafından 0.1g - 0.2g aralığındaki ivme değerleri, titreşime duyarlı bilgisayarlar için hasar sınırı olarak tanımlanmıştır (Persson vd., 1994; Alhan ve Gavin, 2005). Ameliyathaneler ve ileri teknoloji hassas operasyon laboratuvarları gibi titreşime daha duyarlı ekipmanların (Örn: yüksek büyütme kapasiteli optik mikroskoplar, magnetik rezonans cihazlar vb.) bulunduğu kritik alanlar için ise, izin verilebilecek maksimum ivme değerleri daha düşük

değerler almaktadır (DEC, 2006; Gordon, 2019; Ungar, 2007). Söz konusu cihazların bulunabileceği endüstri merkezleri, ileri teknoloji tesisleri ve hastaneler gibi önemli yapısal sistemlerdeki aşırı titreşimler, bu yapılarda devam etmekte olan prosedürlerin performansını etkileyebilir, ekipmanların çalışmasını tehlikeye atabilir (Iemura vd., 2007) ve bu tür yapılardaki çalışmaların kesintiye uğraması dahi ülke ekonomisinde büyük kayıplara sebep olabilir (Alhan ve Şahin, 2011).

Bu noktada, izolasyon sistemini, titreşime duyarlı ekipmanı ve yapısal sistem bütünlüğünü birlikte koruyabilmek için farklı yapısal cevap parametrelerini aynı anda sınırlandırabilecek yapısal sistem mekanik parametrelerinin optimum tasarım değerlerinin tespiti önemlidir (Alhan ve Hışman, 2016). Söz konusu parametrelerden sismik izolatörlerin mekanik parametrelerinin tasarıma esas nominal değerleri, yoğun prototip testlerinin sonuçlara göre tayin edilirler (ASCE/SEI 7-10, 2010). Ayrıca, prototip test sonuçlarının ön tasarım aşamasında kabul edilen sınırlar içerisinde bulunup bulunmadığını kontrol etmek amacıyla, tüm izolatörler için üretim testleri de gerçekleştirilir (Cheng vd., 2008). Ancak, izolatörlerin mekanik özellikleri, yaşlanma, sıcaklık değişimi, gerilme-yumuşaması, aşınma, kontaminasyon ve yük geçmişi gibi nedenlerle servis ömrü süresince zamanla değişerek nominal değerlerinden sapmalar gösterebilirler (Constantinou vd., 1999; Thompson vd., 2000; AASHTO, 2010). Dünya genelinde inşa edilmiş sismik izolasyonlu yapıların yarısından fazlasının bulunduğu Japonya'da (Martelli vd., 2014) düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin düşey ve yatay rijitliklerinin, yaşlanma, düşey gerilme, kayma deformasyonu, sıcaklık, yük geçmişi, yükleme çevrimlerinin frekansına bağlı olarak değişimi %10 mertebelerinde iken; yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin düşey ve yatay rijitlikleri ile eşdeğer sönüm katsayısının söz konusu faktörlere göre değişimi %20~%25 mertebelerinde olup; kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin mekanik parametrelerindeki değişim ise %20 mertebelerine kadar çıkabilmektedir (Pan vd., 2005).

Yukarıda özetlenen, zamana ve çevresel faktörlere bağlı olarak meydana gelen değişimlerin yanı sıra, sismik izolatörlerin gerçek mekanik özellikleri, bu elemanların malzeme özelliklerindeki, eleman boyutlarındaki, üretim metotlarındaki, kalite kontrolündeki ve kurulum aşamalarındaki hatalar ve/veya belirsizlikler nedeniyle de tasarıma esas nominal değerlerinden farklılıklar gösterebilir (Hirata vd., 1989; De la Llera ve Inaudi, 1994; Shenton III ve Holloway, 2000). Benzer sebeplerle ve ayrıca, zamana ve çevresel faktörlere bağlı olarak üstyapıyı oluşturan elemanların gerçek mekanik özellikleri de tasarıma esas nominal değerlerinden sapmalar gösterebilirler. Tüm bahsi geçen bu belirsizlik kaynakları nedeniyle,

yapının gerçek sismik yüklere maruz kaldığı anda izolasyon sistemi ve üstyapı elemanlarına ait parametrelerin gerçek değerleri kesin olarak bilinemeyebilir. Diğer taraftan, deprem hareketleri rastgele hareketlerdir (Jangid, 2008). Yapının bulunduğu bölgeyi etkileyen aktif faylardaki, fay mekanizmalarındaki, depremlerin büyüklüklerindeki, bölgenin jeolojik özelliklerindeki, yerel zemin koşullarındaki vb. gibi belirsizlikler nedeniyle deprem hareketleri de belirsizlikler içermektedir (Datta, 2010). Dolayısıyla yapının gerçekte maruz kalacağı yer hareketinin içeriği de kesin olarak bilinemez ve tasarım aşamasında belirlenen deprem datasından önemli farklılıklar gösterebilir (Politopoulos ve Pham, 2009).

İzolasyon sistemindeki, üstyapıdaki ve yer hareketlerindeki söz konusu belirsizlikler, hem altyapı hem de üstyapının dinamik cevap parametrelerinde değişikliklere yol açabilir ve hatta tasarıma esas kuvvetler ve deplasmanlar geçerliliğini yitirebilir. Bu belirsizlik kaynaklarının sebep olabileceği bu problemlerin önüne geçilebilmesi ya da en az seviyeye indirgenmesi ve inşa edilen sismik izolasyonlu binaların deprem yükleri altındaki dinamik davranışlarının gerçeğe en yakın şekilde tahmin edilebilmesi için söz konusu binaların üstyapı ve izolasyon sistemi elemanlarının tüm mekanik özelliklerinin ve bu yapılara etkimesi muhtemel yer hareketleri içeriklerinin -bahsi geçen belirsizlik kaynakları da göz önünde bulundurularak- gerçekçi bir şekilde ele alındığı olasılıksal dinamik analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Alhan ve Gavin, 2005). Ayrıca, bu analizlere bağlı olarak, söz konusu binaların göz önünde bulundurulmuş belirli limit durumlar için yapısal güvenlik seviyeleri hakkında detaylı bilgi edinilmesi için güvenilirlik analizlerinin yapılması önemli ve gereklidir (Nowak ve Collins, 2000; Datta, 2010).

Bu tez çalışması, 119M804 no'lu TÜBİTAK projesinin (Gazi vd., 2021) bir parçası olup; taban izolasyonlu binaların güvenilirliği ile ilgili olan ve Bölüm 2'de özetlenen önceki çalışmalardan farklı ve özgün olarak bu çalışmada, yakın-fay yer hareketlerine maruz taban izolasyonlu binaların izolasyon sistemi, titreşime duyarlı ekipman ve yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirliklerinin analizinde, *doğrusal olmayan izolasyon sistemlerine sahip, çok katlı ve gerçekçi üç boyutlu modeller kullanılarak; izolasyon sistemi ile yer hareketi parametrelerindeki belirsizliklerin yanı sıra üstyapı parametrelerindeki belirsizlikler de göz önünde bulundurulmuştur*. Bunların yanı sıra, bu çalışmada yine önceki çalışmalardan farklı ve özgün olarak, *üst yapı esnekliği de dikkate alınmış olup; farklı üstyapı esnekliklerine, farklı nominal izolasyon periyotlarına ve farklı nominal izolasyon karakteristik kuvvet oranlarına sahip olan taban izolasyonlu binaların, farklı nominal moment magnitudü ve farklı nominal fay*

mesafesi seviyeleri için oluşturulan yakın-fay yer hareketlerine maruz kalmaları halinde, *söz konusu belirsizlik kaynaklarının birlikte göz önünde bulundurulmasının bu binaların -izolasyon sistemi, titreşime duyarlı ekipman ve yapısal sistem bütünlüğü açısından- güvenilirlikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir*. Belirsizlik kaynaklarının söz konusu etkileri, *üst yapı esnekliği, izolasyon periyodu, karakteristik kuvvet oranı, deprem moment magnitudü ve fay mesafesi farklılıklarını gözeterek, karşılaştırmalı biçimde ve istatistiksel olarak kırılma eğrileri ve güvenilirlik grafikleri ile ortaya konulmuştur*.

Çalışma kapsamındaki güvenilirlik analizleri ve doğrusal olmayan dinamik analizler Monte Carlo simülasyonları dâhilinde gerçekleştirilmiş olup; söz konusu dinamik analizlerin gerçekleştirilebilmesi için mevcut 3D-BASIS (Nagarajaiah vd., 1991) akademik yazılımı, *üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketi parametrelerindeki belirsizlikleri dikkate alarak*, Monte Carlo simülasyonları dahilinde tekrarlı dinamik analizler gerçekleştirebilecek şekilde 119M804 no'lu TÜBİTAK projesi (Gazi vd., 2021) kapsamında modifiye edilmiştir. Tez çalışması kapsamındaki tüm doğrusal olmayan dinamik analizler, anılan proje kapsamında elde edilen modifiye yapısal dinamik analiz programı 3DBASIS-MC-3U (Gazi vd., 2021) ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın, fay hattına yakın bölgelerde inşa edilecek taban izolasyonlu binaların olasılıksal dinamik analizleri ve güvenilirlik analizleri konularında ulusal ve uluslararası bilgi birikiminin ve ilgili standartların geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Tez çalışması ile ilgili olarak, sismik izolasyonlu yapıların güvenilirlik analizi ile ilgili çalışmaların incelenmesinden görüldüğü üzere, bu çalışmaların bir kısmında sadece yer hareketlerindeki belirsizlikler dikkate alınırken, izolasyon sistemi ve üstyapıdaki belirsizlikler göz ardı edilmektedir. Bu çalışmalardan, Pradlwarter vd. (1998)'de rastgele deprem yüklerine maruz deterministik taban ankastre bir binanın güvenilirliği üzerinde deterministik olarak ele alınan sürtünme esaslı izolatörlerin etkileri incelenmiştir. Chen vd. (2007), deterministik bir izolasyon sistemine sahip deterministik çerçevesi-perdeli hastane binasının stokastik deprem yükleri altında güvenilirliğini incelemişlerdir. Morgan ve Mahin (2010), deterministik izolasyon sistemlerine sahip deterministik kayma-çerçevelerinin bir yer hareketi seti etkisinde belirli sismik performans sınıflarını sağlama olasılıklarını hesaplamışlardır. Taflanidis ve Jia (2011), deterministik izolasyon sistemine sahip bir düzlemsel kayma çerçevesi için stokastik yer hareketleri etkisi altında sismik risk olasılıklarını elde etmişlerdir. Fan ve Zhang (2014), sürtünmeli sarkaç ve kauçuk esaslı izolatörlerden oluşan bir deterministik izolasyon sistemi üzerine oturan ve gerçek yer hareketleri grubuna maruz bırakılan bir düzlemsel çerçeve için kırılma eğrileri elde etmişlerdir.

Sismik izolasyonlu binalarda güvenilirlik analizlerinin gerçekleştirildiği bir kısım çalışmada ise, yer hareketlerindeki belirsizliklerin yanı sıra izolasyon sistemi ve/veya üst yapıdaki belirsizlikler de göz önünde bulundurulmaktadır. Ancak, bu çalışmalarda yapısal sistemler ya iki boyutlu kayma çerçevesi ya da en fazla üç serbestlik dereceli olarak modellenmektedir. Bu çalışmalardan Takeda vd. (1998)'de bazı yer hareketi, üst yapı ve izolatör parametreleri rastgele değişkenler olarak ele alınarak; üç kütleli bir sistem olarak modellenen taban izolasyonlu bir nükleer reaktör binasının güvenilirliği incelenmiştir. De Grandis vd. (2009), rastgele deprem yüklerine maruz bir nükleer santral binasındaki ekipmanların kırılma eğrilerini elde edebilmek için önerdikleri prosedürü, lineer, tek serbestlik dereceli bir taban izolasyonlu sistem ile doğrulamıştır. Castaldo vd. (2016b) ve Castaldo vd. (2017a) sürtünmeli sarkaç izolatörlerin sürtünme katsayısı ile sentetik yer hareketlerinin faz açısını rastgele değişkenler olarak ele alarak, lineer tek serbestlik dereceli bir sistem olarak modelledikleri çelik bir bina için güvenilirlik analizleri gerçekleştirmiştir. Castaldo vd. (2017b) ve Castaldo vd. (2018b) ise, aynı

tip izolatörlerin sürtünme katsayılarını rastgele değişkenler olarak modelleyerek ve izolasyon periyoduna karşılık gelen spektral deplasmanın belirli değerlerine ölçeklenmiş bir deprem setini kullanarak, sırasıyla mükemmel-elastoplastik ve inelastik pekleşen/yumuşayan üstyapıya sahip iki serbestlik dereceli taban izolasyonlu binalar için güvenilirlik eğrilerini elde etmişlerdir. Moeindarbari ve Taghikhany (2018), sürtünmeli sarkaç izolatörlere sahip ve stokastik yer hareketlerine maruz iki boyutlu bir bina modeli için izolatörlerin eğrilik yarıçapı ve sürtünme katsayısını rastgele değişkenler olarak ele alarak güvenilirlik analizlerini gerçekleştirmiştir. Shoaie vd. (2018), izolasyon periyoduna karşılık gelen spektral deplasmanın artan değerlerine ölçeklenmiş gerçek yer hareketlerinden oluşan bir deprem seti kullanarak ve üstyapıya ait rijitlik, kütle ve akma parametrelerindeki belirsizlikleri göz önünde bulundurarak; iki serbestlik dereceli modelledikleri çelik çerçeveler için güvenilirlik eğrilerini sunmuşlardır.

Sismik izolasyonlu binaların üç boyutlu ele alındığı güvenilirlik analizi çalışmaları ise, son yıllarda gerçekleştirilmiş olup; bu çalışmalarda, üstyapıdaki belirsizlikler göz ardı edilmektedir. Ayrıca bu çalışmalarda, sabit üstyapı periyodu veya tek bir kat sayısı dikkate alarak sabit bina yüksekliği için analizler yapılmakta ve üstyapı esnekliği de göz ardı edilmektedir. Bu çalışmalardan Castaldo vd. (2015) ve Castaldo vd. (2016a)'da, sürtünmeli sarkaç izolatörlerin sürtünme katsayısı ile gerçek yer hareketlerinden oluşan bir deprem setini ölçeklemek için kullanılan -izolasyon periyoduna karşılık gelen yer hareketi spektral ivmesi olarak tanımlanan- şiddet ölçüsü rastgele değişkenler olarak ele alınmış, fakat üstyapı belirsizlikleri ve esnekliği göz ardı edilmiş sırasıyla doğrusal ve doğrusal olmayan üstyapı elemanlarından oluşan betonarme binaların güvenilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Castaldo vd. (2018a)'da ise, Castaldo vd. (2016a)'dan farklı olarak sürtünmeli sarkaç izolatörler sabit sürtünme katsayısı değerlerine sahip olacak şekilde modellenmiş olup; bu çalışmada da taban izolasyonlu binaların güvenilirlikleri, üstyapı belirsizlikleri ve esnekliği dikkate alınmaksızın incelenmiştir. Tajammolian vd. (2018), yakın fay yer hareketlerindeki belirsizlikleri –efektif periyoda karşılık gelen spektral ivme olarak tanımlanan- şiddet ölçüsü parametresinin artan değerlerine ölçeklenmiş bir deprem seti ile göz önünde bulundurarak sürtünme sarkaç tipi izolatörler üzerine oturan deterministik bir çelik bina için kırılma eğrilerini elde etmişlerdir. Gazi (2015) doktora tez çalışmasında ise; yakın fay yer hareketleri etkisindeki alçak katlı bir betonarme taban izolasyonlu binanın güvenilirlik analizleri, üstyapı elemanlarındaki belirsizlikler ve üstyapı esnekliği dikkate alınmadan gerçekleştirilmiştir.



Yukarıda özetlenen çalışmaların haricinde tez konusu ile ilgili yakın dönem çalışmaları da aşağıda özetlenmiştir. Bu çalışmalardan, Jensen vd. (2020)'de köprü ve betonarme yapı modellerinin kolon rijitlikleri belirsiz parametreler olarak hesaba katılarak; ve içbükey kayıcı izolatörlerin sıcaklık artışı nedeniyle oluşan sürtünme özelliklerindeki kayıp ele alınarak; taban ankastre ve taban izolasyonlu yapıların stokastik deprem hareketleri etkisinde güvenilirlik seviyeleri karşılaştırılmıştır. Shao vd. (2019) izolatör sürtünme katsayısındaki belirsizlikleri hesaba katarak ve üç katlı bir çelik çerçeve modeli üzerinde iki yönlü yirmi iki yer hareketi kaydı kullanarak; üç farklı tip izolasyon sistemi ile izole edilmiş yapıların güvenilirliğini araştırmışlardır. Gazi ve Alhan (2019) elastomerik taban izolasyon sistemli binaların tarihsel yakın fay depremleri altındaki sismik güvenilirliklerini, doğrusal olmayan izolasyon sistemleri ile izole edilmiş üç boyutlu çok katlı bina modelleri kullanarak araştırmışlardır. Bu çalışmada, izolatörlerin akma öncesi ve sonrası rijitlikleri ile akma deplasman parametreleri rastgele değişkenler olarak hesaba katılırken; ileri yönelim etkisi olan ve olmayan tarihsel yakın fay yer hareketlerinin kayıttan kayda olan değişkenlikleri de hesaba katılmış; ve izolasyon sistemleri ile titreşime duyarlı içeriklerin güvenilirlikleri analiz edilmiştir. Zhang vd. (2020) katlar arası izolasyona bir sahip yapı için üstyapı, alt yapı kütleleri ve rijitlikleri ile izolasyon katmanı rijitliği ve sönüm oranını belirsiz parametreler olarak kabul ederek, duyarlılık analizleri yapmışlardır. Cicek ve Sar (2020) üst yapıda çelik-beton elastisite modülleri ve izolasyon sisteminde başlangıç rijitliği, akma kuvveti, birincil rijitliğin ikincil rijitliğe oranını rastgele değişkenler olarak ele alarak; taban ankastre ve taban izolasyonlu olarak modelledikleri bir data merkezi için Monte Carlo simülasyonları vasıtasıyla başarısızlık olasılıkları hesaplamışlar ve kırılma eğrileri oluşturmuşlardır. Kim ve Shin (2020) üst yapı kütlesi, rijitliği ve sönüm oranı ile izolatörlerin rijitlik ve akma kuvveti parametrelerini belirsiz parametreler olarak kabul ederek ve çok katlı taban izolasyonlu betonarme binaları basitleştirilmiş toplu kütle modeller ile modelleyerek gerçekleştirdikleri doğrusal olmayan dinamik analizlerde, iki yönlü yirmi tarihi deprem kaydı etkisinde bu binaların başarısızlık olasılıklarını incelemiştir. Castaldo vd. (2017) üst yapısı eşdeğer iki serbestlik dereceli model ile modellenen, doğrusal olmayan sürtünme sarkaç izolatörlere sahip binaların farklı tarihi sismik kayıtlar etkisinde sismik güvenilirliklerini inceleyerek; üst yapı ve izolatörler için güvenilirlik eğrileri sunmuşlardır.

Taban izolasyonlu binaların güvenilirliği ile ilgili yukarıda özetlenen çalışmaların incelemesinden görüldüğü üzere; taban izolasyonlu binaların üç boyutlu olarak ele alındığı güvenilirlik analizi çalışmalarında, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizlikler göz

önünde bulundurulurken, analiz süresinin kısaltılmasının hedeflenmesi ve/veya hesap zorluğu gibi sebeplerle üstyapı elemanlarına ait parametreler deterministik olarak tanımlanmakta ve üstyapı elemanlarındaki belirsizlikler göz ardı edilmektedir. Ayrıca, yine bu çalışmalarda, üstyapı periyodu veya bina yüksekliği için sabit ve tek bir değer dikkate almak suretiyle üstyapı esnekliği de göz ardı edilmektedir. Taban izolasyonlu binalarda üst yapı belirsizliğinin ve/veya üst yapı esnekliğinin göz önünde bulundurulduğu güvenilirlik analizi çalışmaları ise çok az sayıda olup; bu çalışmalarda gerek izolasyon sistemi gerekse yapısal sistem için çeşitli kabuller yapılarak elde edilen basitleştirilmiş modeller üzerinden analizler gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalarda izolasyonlu yapısal sistemler ya iki boyutlu kayma çerçevesi veya en fazla üç serbestlik dereceli sistemler olarak modellenmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada sunulduğu şekilde, taban izolasyonlu binaları gerçekçi üç boyutlu analiz modelleri ile modelleyerek ve ayrıca bu modellerde izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin yanı sıra üstyapı parametrelerindeki belirsizlikler ile üstyapı esnekliğini de göz önünde bulundurarak, üç boyutlu doğrusal olmayan dinamik analizler ve güvenilirlik analizleri gerçekleştiren bir bilimsel çalışma bulunmamaktadır.

### 3. YÖNTEM

İzolasyon sistemi ve yer hareketi parametrelerindeki belirsizliklerin yanı sıra üstyapı parametrelerindeki belirsizliklerin de dikkate alınması halinde, üstyapı esnekliğinin, yakın-fay yer hareketlerine maruz taban izolasyonlu binaların güvenilirlikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği bu tez çalışmasında, üç farklı üstyapı esnekliğine sahip taban izolasyonlu bina ele alınmış olup; bu binalar için gerçekleştirilen tüm dinamik analizlerde ve güvenilirlik analizlerinde söz konusu belirsizlik kaynakları birlikte göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada analiz edilen tüm taban izolasyonlu binalara ait üstyapı modelleri ve izolasyon sistemi modelleri ile ilgili detaylı bilgiler, sırasıyla Bölüm 3.1 ve 3.2’de verilmiştir. Söz konusu binaların maruz bırakıldığı yakın-fay yer hareketleri hakkındaki gerekli bilgiler ise, Bölüm 3.3’de verilmiştir. Bu yer hareketleri etkisinde yürütülen dinamik analizler, Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz yöntemiyle Monte Carlo Simülasyon Metodu kapsamında gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizleri takiben gerçekleştirilen güvenilirlik analizleri de yine Monte Carlo Simülasyon Metodu kapsamında gerçekleştirilmiş olup; bu simülasyon metoduyla ilgili detay ise, Bölüm 3.4’de verilmiştir. Söz konusu dinamik analizler, 3D-BASIS akademik yazılımının (Nagarajaiah vd., 1991) -üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizlikleri dikkate alabilecek ve Monte Carlo simülasyonları dahilinde tekrarlı dinamik analizler gerçekleştirebilecek şekilde- 119M804 no’lu TÜBİTAK projesi (Gazi vd., 2021) kapsamında modifiye edilen versiyonu (3DBASIS-MC-3U) ile gerçekleştirilmiştir. Orijinal 3D-BASIS ve modifiye 3DBASIS-MC-3U programları ile söz konusu modifiye programın verifikasyonu için yapılan çalışma hakkındaki detaylar, Bölüm 3.5’de verilmiştir.

#### 3.1. TABAN İZOLASYONLU BİNALARA AİT ÜSTYAPI MODELLERİ

Bu çalışma kapsamında üstyapı esnekliği faktörü, farklı kat sayısı ve dolayısıyla farklı üstyapı periyodu ile dikkate alınmış olup; ilgili binalar, üç farklı üstyapı esnekliğine sahip olacak şekilde izolasyon katı (İK) hariç 4, 8 ve 12 katlı taban izolasyonlu betonarme binalar olarak ele alınmış ve üç boyutlu kayma çerçeveleri olarak modellenmişlerdir. Üst başlıkta da belirtildiği edildiği üzere; söz konusu binaların her birinde çalışma kapsamındaki tüm belirsizlik kaynakları dikkate alınmış, yani üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketi parametrelerindeki

belirsizlikler birlikte göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu binaların üç boyutlu görünüşleri ve tipik kat planları, sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.2’de verilen simetrik tipik kat planları, her bir bina için X ve Y doğrultularında aynı boyutlara sahip olup; her bir binanın tipik kat yükseklikleri de özdeş ve 3 m değerindedir.

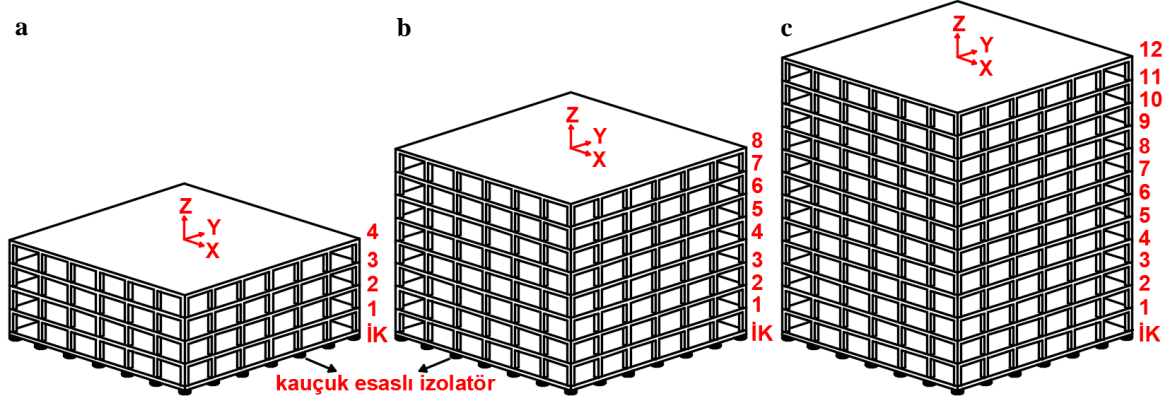
Söz konusu binalardaki kolon elemanlarına ait rijitliklerin ( $k_{xij}$  ve  $k_{yij}$ ;  $i$ =kat numarası,  $j$ =kolon elemanı numarası) nominal değerleri, aynı bina içerisindeki tüm kolonlar için aynı iken; farklı üstyapı esnekliğine sahip (4, 8, 12 katlı) binaların kolon elemanlarına ait rijitliklerin nominal değerleri birbirinden farklıdır. Zira, söz konusu  $k_{xij}$  ve  $k_{yij}$  kolon elemanı rijitliklerinin nominal değerleri, Alhan ve Sürmeli (2011)’de tarif edildiği gibi 4, 8 ve 12 katlı binaların nominal taban ankastre sistem periyotlarının sırasıyla 0.4 s, 0.8 s ve 1.2 s değerlerine eşit olmasını sağlayacak şekilde serbest titreşim analizi ile tespit edilmiştir.

Kolon elemanlarının rijitliklerine ait nominal değerlerin bu şekilde tespit edilmesinin ardından, her bir bina üstyapısı için X ve Y doğrultularındaki doğrusal kat rijitlikleri ( $K_{xi}$  ve  $K_{yi}$ ,  $i$ =kat numarası) ve kat burulma rijitlikleri ( $K_{\theta i}$ ) ise Denklem 3.1 (Nagarajaiah vd., 1991) aracılığıyla hesaplanmıştır. Bu denklemde,  $k_{xij}$  ve  $k_{yij}$  i. katta bulunan j. kolon elemanının ( $c_{ij}$ ) X ve Y doğrultularındaki rijitliklerini gösterirken;  $x_{ij}$  ve  $y_{ij}$ , ilgili kolon elemanın kat kütle merkezine olan mesafelerini (Şekil 3.2) göstermektedir. Her bir bina için söz konusu kolon ve kat rijitlik parametrelerine ait nominal değerler, Tablo 3.1’de verildiği gibidir.

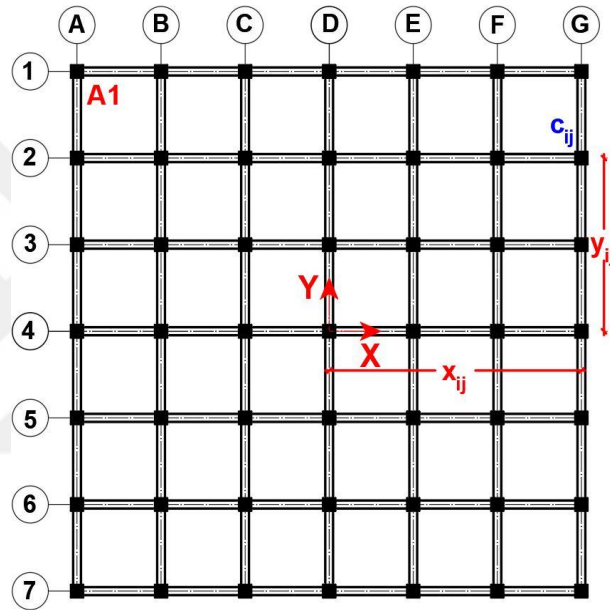
Diğer taraftan, yine Tablo 3.1’de verildiği üzere; çalışma kapsamındaki 4, 8 ve 12 katlı binaların her biri için kat kütlelerinin X ve Y yönlerindeki doğrusal bileşenlerinin ( $m_{xi}$  ve  $m_{yi}$ ;  $i$ =kat numarası) nominal değerleri, her kat için 500 kNs<sup>2</sup>/m olarak alınırken, yine söz konusu binaların her biri için üstyapı modal sönüm oranlarının ( $\zeta_{sm}$ ,  $m$ =mod numarası) nominal değerleri %3 olarak alınmıştır. Bununla birlikte, kat kütlelerinin her kat seviyesinde ağırlık merkezinde yığılı olduğu varsayılmış; ve her kat, kat kütle merkezinde tanımlanmış olan X ve Y eksenlerinde iki tane doğrusal ve Z eksenine etrafında bir tane açısız olmak üzere toplam üç serbestlik derecesine sahip olacak şekilde modellenmiştir.

Ayrıca, her bir binadaki tüm üstyapı elemanları için beton sınıfı C30 ve Elastisite modülü 32.000 MPa olarak alınmıştır.

$$K_{xi} = \sum k_{xij} \quad K_{yi} = \sum k_{yij} \quad K_{\theta i} = \sum k_{xij} \cdot y_{ij}^2 + \sum k_{yij} \cdot x_{ij}^2 \quad (3.1)$$



Şekil 3.1: Taban izolasyonlu binaların üç boyutlu görünüşleri: (a) 4 katlı, (b) 8 katlı, (c) 12 katlı.



Şekil 3.2: Tüm taban izolasyonlu binalara ait tipik kat planı.

Tablo 3.1: Taban izolasyonlu binalara ait üstyapı parametrelerinin nominal değerleri

Üstyapı	$k_{xij,nom}$ (kN/m)	$k_{yij,nom}$ (kN/m)	$m_{xi,nom} =$ $m_{yi,nom}$ (kNs <sup>2</sup> /m)	$\zeta_{sm,nom}$ (%)	$K_{xi,nom}$ (kN/m)	$K_{yi,nom}$ (kN/m)	$K_{\theta i,nom}$ (kN.m)
4Kath	20874,41	20874,41	500	3	1022846,10	1022846,10	130924300,42
8Kath	18483,69	18483,69	500	3	905700,65	905700,65	115929683,58
12Kath	17738,76	17738,76	500	3	869199,07	869199,07	111257480,96

### 3.1.1. Belirsizlik İçeren Üstyapı Parametrelerinin Modellenmesi

Çalışma kapsamındaki binalara ait üstyapılardaki belirsizlikleri göz önünde bulundurmak için

- (i) Kolon elemanlarının X ve Y yönlerindeki doğrusal rijitlikleri ( $k_{xij}$  ve  $k_{yij}$ ;  $i$ =kat numarası,  $j$ =eleman numarası),

(ii) Kat kütlelerinin X ve Y yönlerindeki doğrusal bileşenleri ( $m_{xi} = m_{yi}$ ;  $i$ =kat numarası),

(iii) Üstyapı modal sönüm oranları ( $\zeta_{sm}$ ;  $m$ =mod numarası)

rastgele değişken parametreler olarak ele alınmış olup; söz konusu üstyapı parametreleri, *normal dağılıma uygun bağımsız rastgele değişkenler* olarak tanımlanmış ve bu parametrelere ait değerler, Denklem 3.2 ile elde edilmiştir. Normal dağılım, yapısal güvenilirlik analizlerindeki değişkenler için sıklıkla kullanılan bir istatistiksel dağılım türü olup (Nowak ve Collins, 2000); normal dağılıma uyan bir rastgele değişkenin dağılım davranışını gösteren Olasılık Yoğunluğu Fonksiyonu (PDF,  $f_X$ ) ile söz konusu rastgele değişkenin belirli bir değerden ( $x_a$ ) düşük olma olasılığına karşılık gelen Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF,  $F_X$ ) sırasıyla Denklem 3.3 ve 3.4'deki gibidir. Bu denklemlerde, X rastgele değişkeni gösterirken;  $\mu_X$  ve  $COV_X$ , bu rastgele değişkenin sırasıyla ortalama değerine ve varyasyon katsayısına karşılık gelmektedir. Ayrıca,  $x_i$  söz konusu X değişken parametresine ait bir gerçekleşme değeri olup;  $s_i$  ise ortalama değeri sıfır ( $\mu=0$ ) ve standart sapma değeri bir olan ( $\sigma=1$ ) standart normal rastgele sayılara karşılık gelmektedir. Söz konusu  $s_i$  standart normal rastgele sayıları, [0 – 1] aralığındaki üniform dağılıma sahip rastgele sayıların transformasyonu olarak, Ters Kümülatif Dağılım Fonksiyonu Metodu ile elde edilmekte olup; bu sayılar, bir çok bilgisayar programı kütüphanesinde bulunan altprogramlar vasıtasıyla hesaplanabilmektedir (Haldar ve Mahadevan, 2000). Çalışma kapsamında söz konusu  $s_i$  sayıları, her bir rastgele değişken için ayrı ayrı olmak üzere; MATLAB programında (MathWorks Inc, 2020) normal dağılıma uyan rastgele sayılar üretimi için kullanılan “randn” komutu vasıtasıyla elde edilmiştir.

$$x_i = \mu_X + (COV_X \cdot \mu_X) s_i \quad (3.2)$$

$$f_X(x_i) = \frac{1}{(COV_X \cdot \mu_X) \sqrt{2\pi}} e^{-(x_i - \mu_X)^2 / 2(COV_X \cdot \mu_X)^2} \quad (3.3)$$

$$F_X(x_i) = \int_{-\infty}^{x_a} \frac{1}{(COV_X \cdot \mu_X) \sqrt{2\pi}} e^{-(x_i - \mu_X)^2 / 2(COV_X \cdot \mu_X)^2} dx \quad (3.4)$$

Ayrıca, çalışma kapsamındaki  $k_{xij}$ ,  $k_{yij}$ ,  $m_{xi}$ ,  $m_{yi}$  ve  $\zeta_{sm}$  bağımsız rastgele değişken üstyapı parametrelerinin ortalama değerleri ( $\mu_X$ ), bu parametreler için Tablo 3.1'de verilen nominal değerlere eşit alınmıştır. Bununla birlikte, tüm bu üstyapı bağımsız rastgele değişken parametreleri için bu parametrelerdeki belirsizliğin ya da rastgeleliğin derecesini gösteren varyasyon katsayısı, COV (Haldar ve Mahadevan, 2000), mühendislik problemlerinde sıklıkla

kullanılan tipik bir değer olan %10'a eşit alınmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, incelenen tüm binaların herhangi bir i. katı için

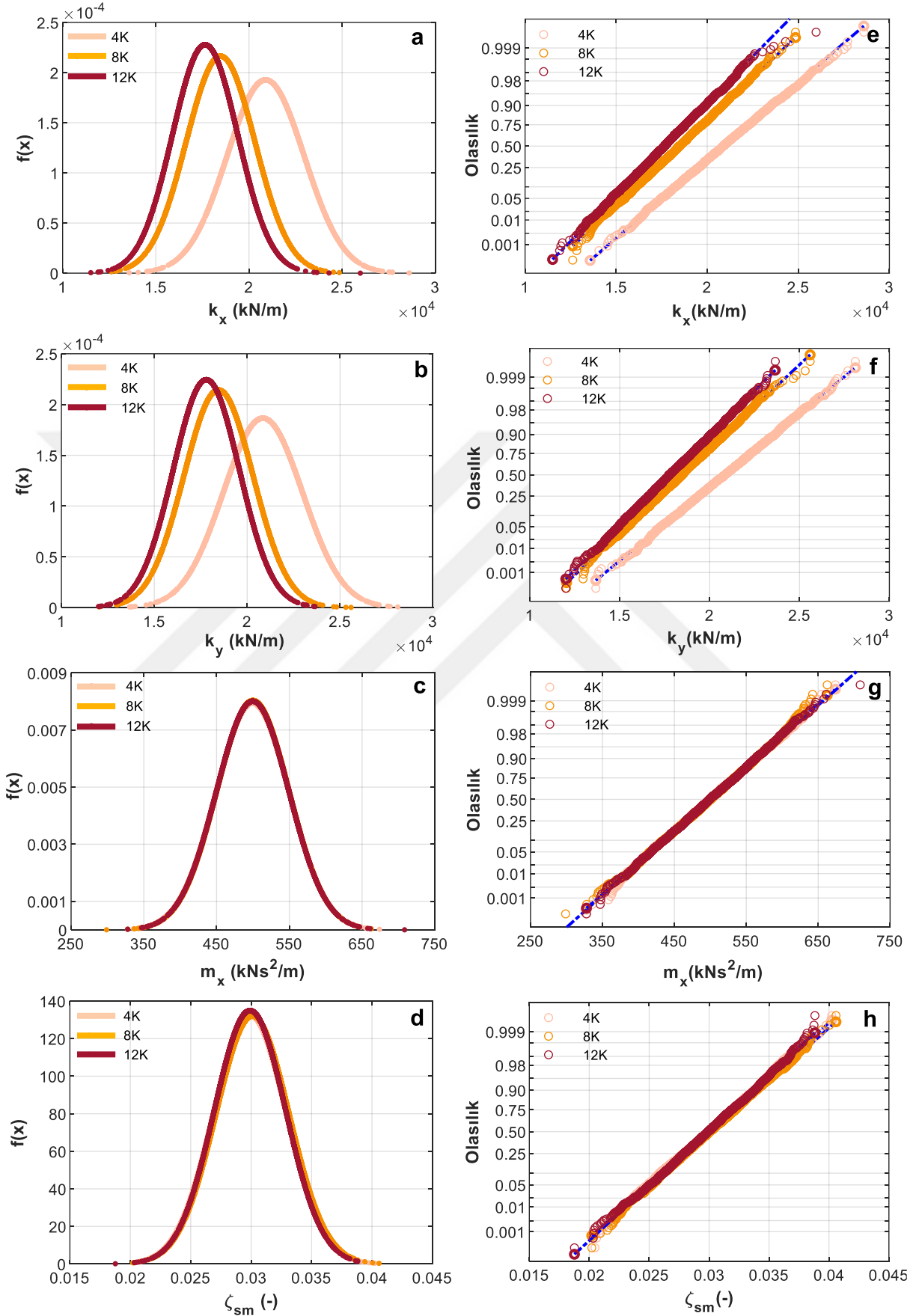
- (i) X ve Y eksenleri doğrultusundaki toplam doğrusal kat rijitlikleri ( $K_{xi}$  ve  $K_{yi}$ ),
- (ii) Kat kütle merkezine göre toplam kat burulma rijitliği ( $K_{\theta i}$ ),
- (iii) Kat rijitlik ve kütle merkezleri arasında X ve Y eksenleri doğrultusunda meydana gelecek statik eksantrisite değerleri ( $e_{xi}$  ve  $e_{yi}$ ),
- (iv) Rotasyonel kat kütleleri ( $m_{\theta i}$ ),

üstyapı modellerinin bağımlı değişken parametreleri olarak ele alınmıştır. Söz konusu bağımlı üstyapı parametrelerinden,  $K_{xi}$ ,  $K_{yi}$  ve  $K_{\theta i}$  Denklem 3.1'deki gibi hesaplanırken;  $e_{xi}$  ve  $e_{yi}$  Denklem 3.5 (Nagarajaiah vd., 1991) vasıtasıyla,  $m_{\theta i}$  ise  $L_x$  ve  $L_y$  sırasıyla X ve Y yönlerindeki bina boyutlarına karşılık gelmek üzere Denklem 3.6 ile hesaplanmıştır.

$$e_{xi} = \frac{1}{K_{yi}} x_{ij} \cdot k_{yij} \quad e_{yi} = \frac{1}{K_{xi}} y_{ij} \cdot k_{xij} \quad (3.5)$$

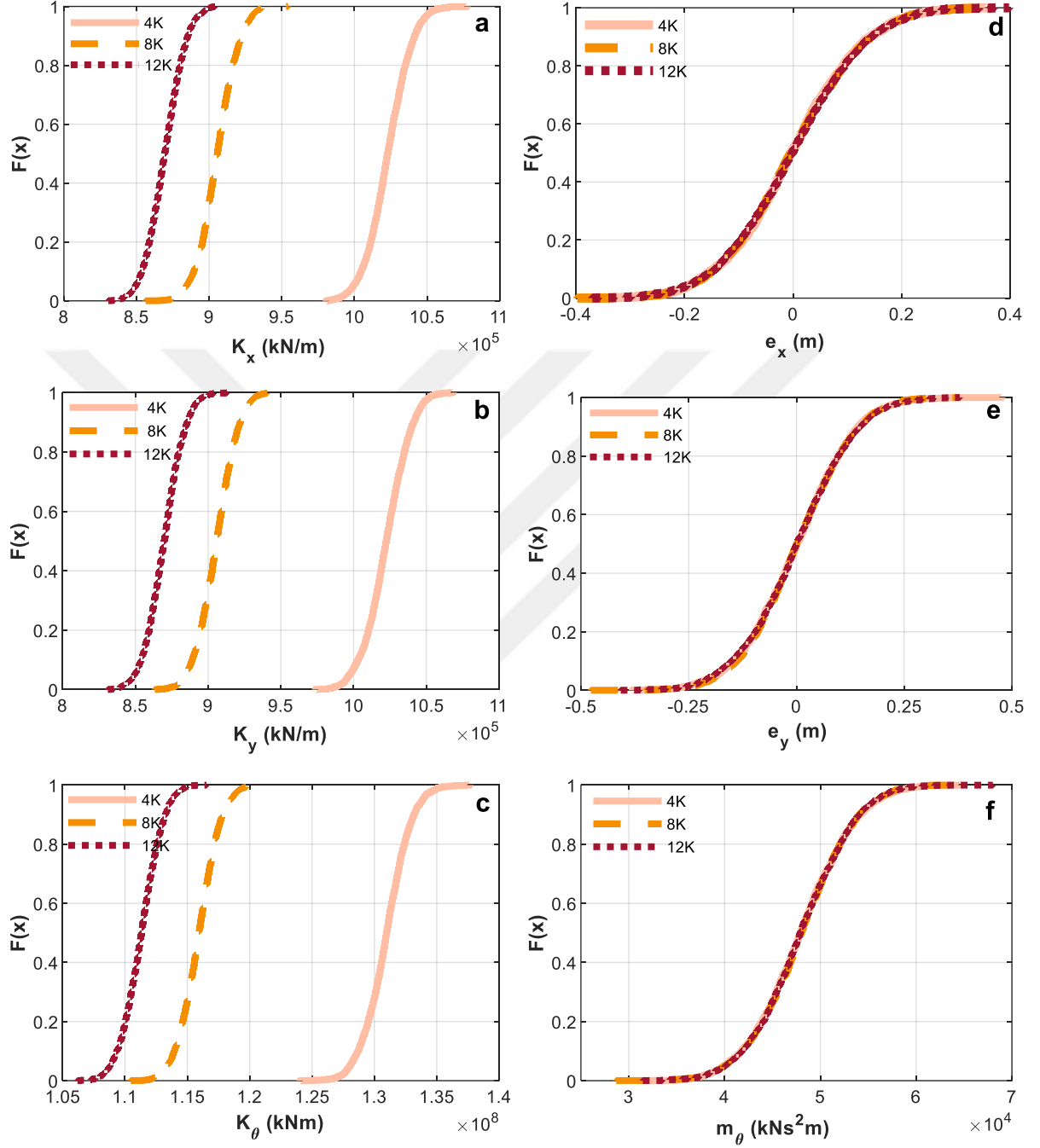
$$m_{\theta i} = \frac{1}{12} (L_x^2 + L_y^2) \quad (3.6)$$

Çalışma kapsamındaki tüm (4, 8 ve 12 katlı) binalar için üretilen  $k_{xij}$ ,  $k_{yij}$ ,  $m_{xi}$ ,  $m_{yi}$  ve  $\zeta_{sm}$  bağımsız rastgele değişken parametrelere ait değerlerin olasılık yoğunluğu fonksiyon grafikleri ( $f_x$ ) Şekil 3.3 (a-d)'de verilmiştir. Bu bağımsız rastgele değişken üstyapı parametreleri için üretilen değerlerin normal olasılık dağılımına uygunluğunu gösteren “normal olasılık kâğıdı grafikleri” ise, Şekil 3.3 (e-h)'da verilmiştir. Söz konusu binalardaki üstyapılara ait  $K_{xi}$ ,  $K_{yi}$ ,  $K_{\theta i}$ ,  $e_{xi}$ ,  $e_{yi}$  ve  $m_{\theta i}$  bağımlı değişken parametrelerine ait kümülatif dağılım fonksiyonları ( $F_x$ ) ise, Şekil 3.4'de verilmiştir. Burada şunu belirtmek gerekir ki; çalışma kapsamındaki tüm binalarda herhangi bir i. kattaki herhangi bir j. kolonunun X ve Y doğrultularındaki rijitlikleri ( $k_{xij}$  ve  $k_{yij}$ ), hem aynı i. kat içerisindeki hem de bina içerisindeki diğer tüm kolonların doğrusal rijitliklerinden farklı değerler alacak şekilde üretilmiştir. Benzer şekilde, yine her bir binanın herhangi bir i. katına ait X ve Y doğrultularındaki kat kütleleri  $m_{xi}$  ve  $m_{yi}$  birbirine eşit olmak üzere; ilgili binanın diğer katlarına ait kat kütle değerlerinden farklı değerler alacak şekilde üretilmiştir. Dolayısıyla her bir bina için bu bağımsız parametrelere bağlı olarak hesaplanan  $K_{xi}$ ,  $K_{yi}$ ,  $K_{\theta i}$ ,  $e_{xi}$ ,  $e_{yi}$  ve  $m_{\theta i}$  bağımlı değişken parametrelerinin değerleri de her bir i. kat için birbirinden farklıdır. Burada yer kısıtı sebebiyle ilgili binaların sadece bir katı ve bir kolonu için üretilen/hesaplanan değerlere örnek teşkil etmesi amacıyla yer verilebilmiş olup; Şekil 3.3 ve 3.4'deki grafikler ilgili binaların birinci katları ve birinci kolonlarına (A1 kolonu; Bkz. Şekil 3.2) ait bağımsız ve bağımlı parametrelerin grafikleridir.



**Şekil 3.3:** Bağımsız rastgele değişken üstyapı parametrelerine ait (a-d): olasılık yoğunluğu fonksiyon grafikleri, (e-h): normal olasılık kağıdı grafikleri.





Şekil 3.4: Bağımlı değişken üstyapı parametrelerine ait kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri

### 3.2. TABAN İZOLASYONLU BİNALARA AİT İZOLASYON SİSTEMİ MODELLERİ

Çalışması kapsamında Bölüm 3.1’de tarif edildiği gibi modellenen tüm üstyapılar, en alt katlarında bulunan her bir kolonun altına merkezi olarak yerleştirilmiş 49 adet izolatörden oluşan izolasyon sistemleri üzerine mesnetlenmiştir. Söz konusu izolasyon sistemleri, üstyapılarda olduğu gibi çalışma kapsamındaki tüm binalar için X ve Y doğrultularında aynı boyutlardaki tipik simetrik planlara sahip olup; bu planlar, Şekil 3.5-a ’da verildiği gibidir.

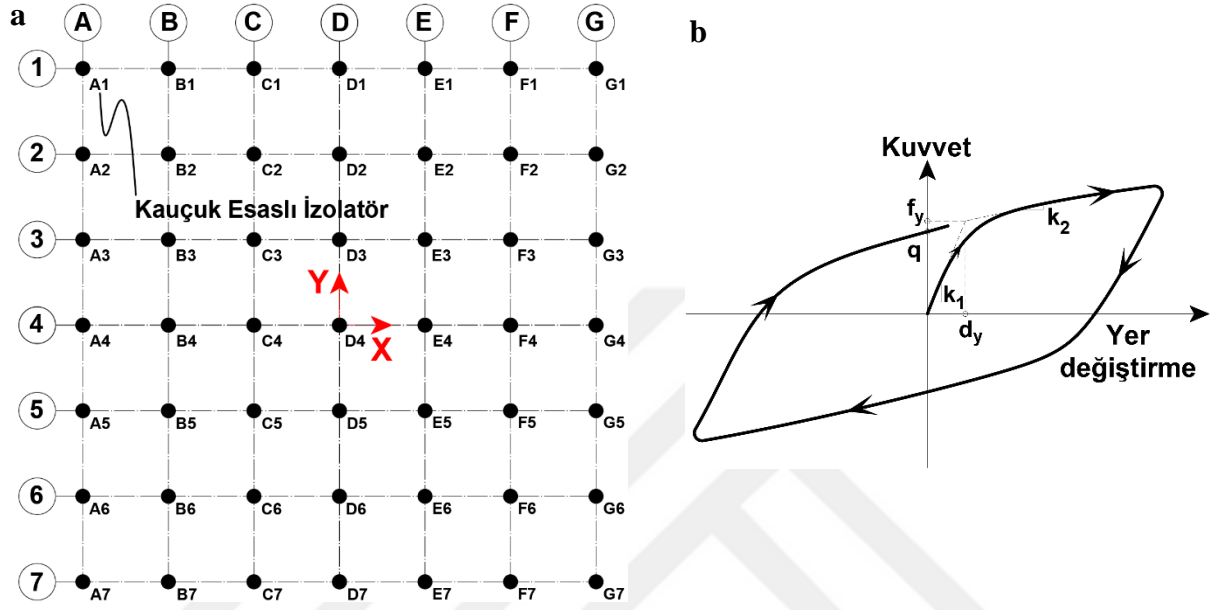
Çalışma kapsamındaki tüm izolasyon sistemlerini oluşturan tüm izolatörler, sismik izolasyonlu binalarda sıklıkla kullanılan (Cheng vd., 2008; Pan vd., 2005) kauçuk esaslı izolatörler olup; bu izolatörler, deprem yükleri gibi çevrimsel yatay yükler etkisinde doğrusal olmayan malzeme davranışı ve histeretik enerji sönümlenme davranışı sergilemektedir. Tez çalışmasında izolatörlerin bu davranışını gerçekçi bir şekilde yansıtabilme amacıyla, yumuşak ikili-doğrusal histeretik model (Nagarajaiah vd., 1989) kullanılmıştır. Bu modele ait kuvvet-yer değiştirme davranışı, Şekil 3.5-b’de verilmiştir. Bu şekilde,  $k_1$  akma öncesi rijitliğini,  $k_2$  akma sonrası rijitliğini,  $q$  karakteristik kuvveti,  $f_y$  akma dayanım kuvvetini ve  $d_y$  ise akma yer değiştirmesini göstermekte olup; bir izolasyon sisteminde bulunan *herhangi bir i. izolatör için* bu karakteristik parametreler arasındaki ilişkiler, Denklem 3.7 ve 3.8’de (Naeim ve Kelly, 1999) verilmiştir. Bu denklemlerde M ve W izolasyon katı dahil olmak üzere sırasıyla toplam bina kütlelerini ve bina ağırlığını gösterirken;  $n_{izo}$  bir izolasyon sistemindeki toplam izolatör sayısına ve  $\alpha_i$  rijitlikler oranına karşılık gelmektedir. Bölüm 3.1’de belirtildiği üzere; çalışma kapsamındaki tüm binalar için izolasyon katı da dahil olmak üzere kat kütlelerinin ( $m_{xi}$ ,  $m_{yi}$ ) nominal değerleri 500 kNs<sup>2</sup>/m alındığı için 4, 8 ve 12 katlı binaların izolasyon katı dahil bina kütleleri, M, sırasıyla 2500 kNs<sup>2</sup>/m, 4500 kNs<sup>2</sup>/m ve 6500 kNs<sup>2</sup>/m alınmıştır. Diğer taraftan, Şekil 3.5’deki izolasyon sistemi planında görüldüğü üzere tez kapsamındaki tüm binalar için  $n_{izo} = 49$ ’dur.

$$k_{2i} = 4\pi^2 \cdot M / (n_{izo} \cdot T_0^2) \quad q_i = ((Q/W)_{nom} \times W) / n_{izo} \quad k_{1i} = k_{2i} + (q_i / d_{yi}) \quad (3.7)$$

$$\alpha_i = k_{2i} / k_{1i} \quad f_{yi} = k_{1i} \times d_{yi} \quad d_{yi} = q_i / (k_{1i} - k_{2i}) \quad (3.8)$$

Ayrıca, Denklem 3.7’deki Q tüm izolasyon sistemine ait karakteristik kuvvet değeri olmak üzere Q/W izolasyon sisteminin karakteristik kuvvet oranını temsil ederken,  $T_0$  izolasyon periyoduna karşılık gelmekte olup; tez kapsamında modellenen üstyapılardan her biri 2 farklı nominal izolasyon periyodu ( $T_{0,nom} = 3$  s ve 4 s) ve 2 farklı nominal karakteristik kuvvet oranı

(( $Q/W$ )<sub>nom</sub> = %5 ve %10) seviyesi için oluşturulan 4 farklı izolasyon sistemi (T3QW05, T3QW10, T4QW5 ve T4QW10) ile izole edilmiştir. Bu izolasyon sistemlerindeki herhangi bir i. izolatöre ait karakteristik parametrelerin nominal değerleri, Tablo 3.2’de verildiği gibidir.



Şekil 3.5: (a): Tüm binalar için tipik izolasyon sistemi planı, (b): Kauçuk esaslı izolatörlere ait idealize edilmiş yumuşak ikili-doğrusal histeretik model kuvvet - yer değiştirme ilişkisi.

Tablo 3.2: İzolasyon sistemlerindeki herhangi bir i. izolatöre ait parametrelerin nominal değerleri

Üstyapı	İzolasyon Sistemi	$k_{2i,nom}$ (kN/m)	$q_{i,nom}$ (kN)	$k_{1i,nom}^*$ (kN/m)	$\alpha_{i,nom}$ (-)	$f_{yi,nom}$ (kN)
4 Kath	T3QW05	223.801	25.026	1224.821	0.1827	30.621
	T3QW10	223.801	50.051	2225.841	0.1005	55.646
	T4QW05	125.888	25.026	1126.908	0.1117	28.173
	T4QW10	125.888	50.051	2127.929	0.0592	53.198
8 Kath	T3QW05	402.841	45.046	2204.678	0.1827	55.117
	T3QW10	402.841	90.092	4006.514	0.1005	100.163
	T4QW05	226.598	45.046	2028.435	0.1117	50.711
	T4QW10	226.598	90.092	3830.272	0.0592	95.757
12 Kath	T3QW05	581.881	65.066	3184.534	0.1827	79.613
	T3QW10	581.881	130.133	5787.188	0.1005	144.680
	T4QW05	327.308	65.066	2929.961	0.1117	73.249
	T4QW10	327.308	130.133	5532.614	0.0592	138.315

\* Çalışma kapsamındaki tüm izolasyon sistemlerinde yer alan her bir i. izolatör için akma rijitliği nominal değerinin ( $k_{1i,nom}$ ) hesabında, akma deplasmanı nominal değeri ( $d_{yi,nom}$ ) 2.5 cm alınmıştır.

### 3.2.1. Belirsizlik İçeren İzolasyon Sistemi Parametrelerinin Modellenmesi

Çalışma kapsamındaki binalara ait izolasyon sistemlerindeki belirsizlikleri göz önünde bulundurmak için bu izolasyon sistemlerindeki her bir  $i$ . izolatöre ait

- (i) Akma sonrası rijitlik parametresi ( $k_{2i}$ ),
- (ii) Karakteristik kuvvet parametresi ( $q_i$ ),
- (iii) Akma öncesi rijitlik parametresi ( $k_{1i}$ )

rastgele değişken parametreler olarak ele alınmış olup; söz konusu izolasyon sistemi parametreleri, *normal dağılıma uygun bağımsız rastgele değişken parametreler* olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle, bu izolasyon sistemi parametrelerine ait değerler de Bölüm 3.1.1'de tarif edilen normal dağılıma uygun bağımsız rastgele değişken üstyapı parametreleri için olduğu gibi yine Denklem 3.2 ile üretilmiştir. Benzer şekilde, söz konusu bağımsız rastgele değişken izolasyon sistemi parametrelerine ait olasılık yoğunluğu fonksiyonları (PDF,  $f_X$ ) ile kümülatif dağılım fonksiyonları (CDF,  $F_X$ ), yine Bölüm 3.1.1'de normal dağılıma uygun parametreler için verilen Denklem 3.3 ve 3.4 ile elde edilmiştir. Bununla birlikte, çalışma kapsamındaki tüm izolasyon sistemlerindeki herhangi bir  $i$ . izolatöre ait  $k_{2i}$ ,  $q_i$  ve  $k_{1i}$  bağımsız rastgele değişken parametrelerin ortalama değerleri ( $\mu_X$ ), bu parametreler için Tablo 3.2'de verilen nominal değerlere eşit alınmıştır. Ayrıca, yine çalışma kapsamındaki tüm izolasyon sistemlerindeki herhangi bir  $i$ . izolatöre ait  $k_{2i}$ ,  $q_i$  ve  $k_{1i}$  bağımsız rastgele değişken parametreleri için bu parametrelerdeki belirsizliğin ya da rastgeleliğin derecesini gösteren varyasyon katsayısı, COV (Haldar ve Mahadevan, 2000), bağımsız rastgele değişken üstyapı parametrelerinde olduğu gibi %10'a eşit alınmıştır.

Çalışma kapsamında ayrıca, modellenen tüm izolasyon sistemlerinin herhangi bir  $i$ . izolatörü için

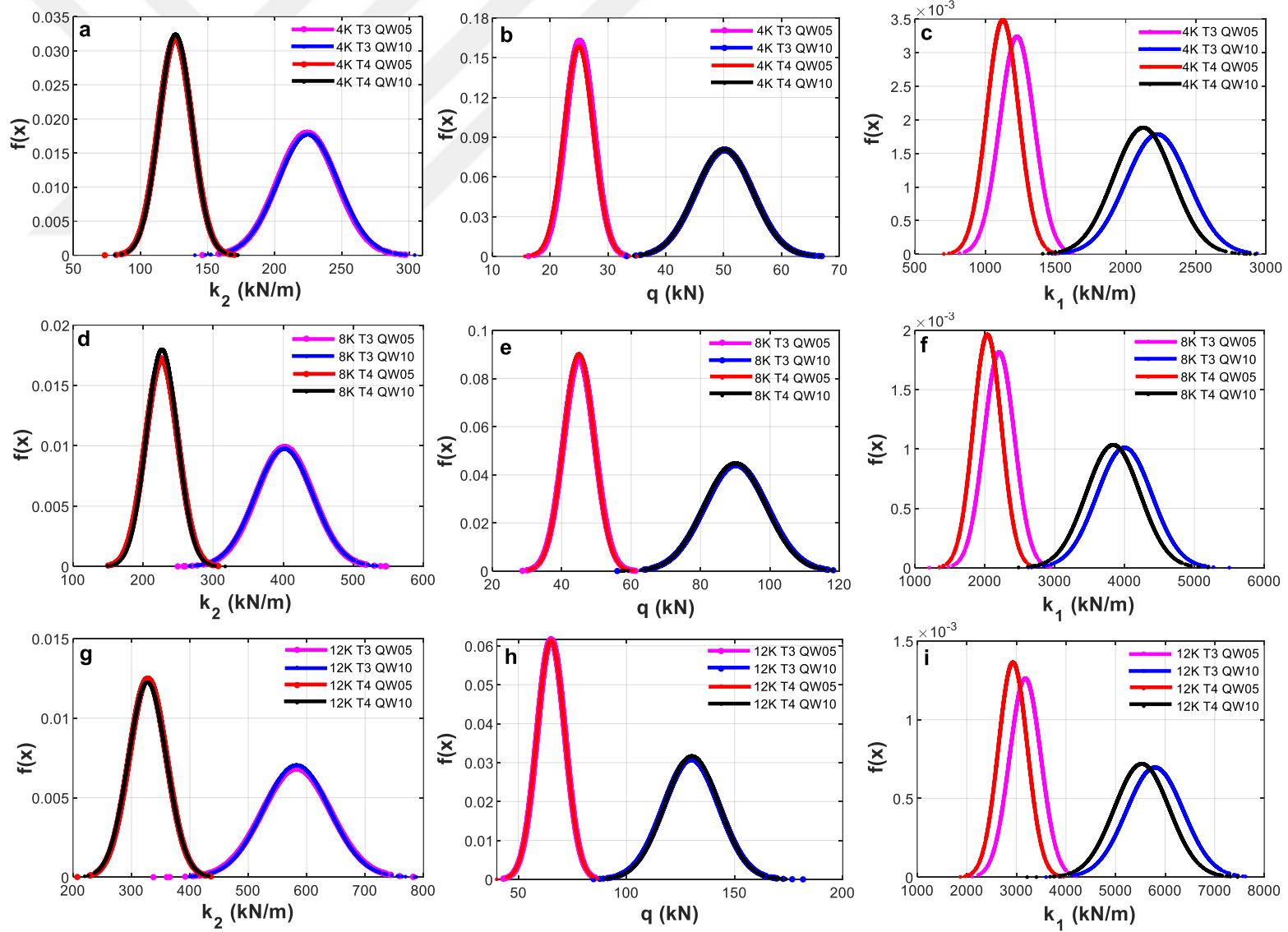
- (i) Rijitlikler oranı parametresi ( $\alpha_i$ ),
- (ii) Akma dayanım kuvveti parametresi ( $f_{yi}$ ),
- (iii) Akma yer değiştirmesi parametresi ( $d_{yi}$ )

bağımlı değişken parametreler olarak ele alınmış; ve söz konusu  $i$ . izolatör için bu bağımlı değişken izolasyon sistemi parametrelerinin değerleri, yine aynı  $i$ . izolatör için üretilen  $k_{2i}$ ,  $q_i$  ve  $k_{1i}$  bağımsız rastgele değişken parametrelerinin değerlerine bağlı olarak Denklem 3.8 vasıtasıyla hesaplanmıştır.

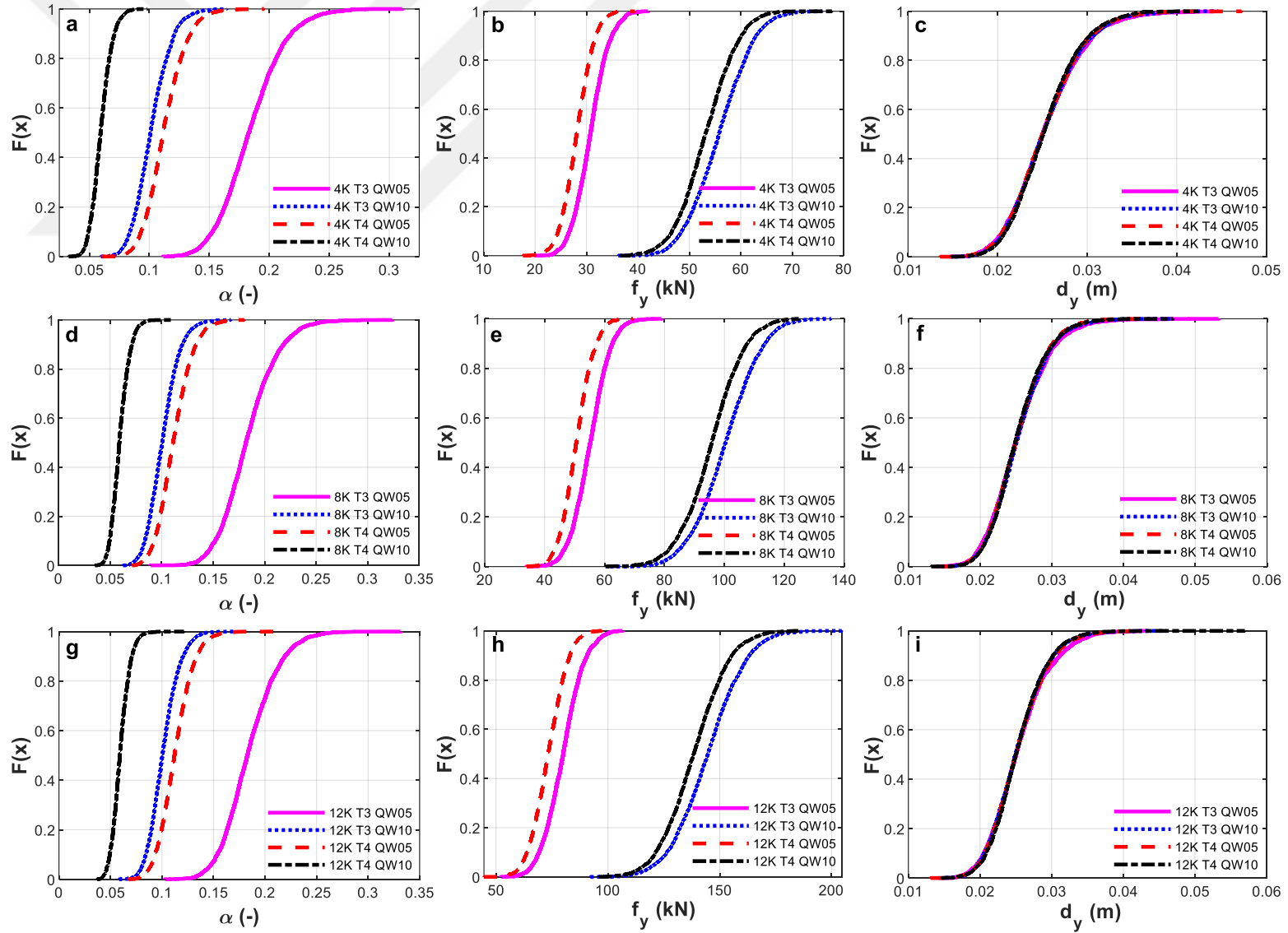
Çalışma kapsamındaki tüm (4, 8 ve 12 katlı) binalara ait izolasyon sistemlerindeki bir  $i$ . izolatör için üretilen  $k_{2i}$ ,  $q_i$  ve  $k_{1i}$  bağımsız rastgele değişken parametrelerine ait değerlerin olasılık

yoğunluğu fonksiyon grafikleri ( $f_x$ ) Şekil 3.6 'da verilmiştir. Yine söz konusu binalara ait izolasyon sistemlerinde bulunan  $i$ . izolatör için hesaplanan  $\alpha_i$ ,  $f_{yi}$  ve  $d_{yi}$ , bağımlı değişken parametrelerine ait değerlerin kümülatif dağılım fonksiyonları ( $F_x$ ) ise, Şekil 3.7'de verilmiştir.

Burada şunu belirtmek gerekir ki; çalışma kapsamındaki tüm izolasyon sistemlerinde herhangi bir  $i$ . izolatörün  $k_{2i}$ ,  $q_i$  ve  $k_{1i}$  parametreleri, aynı izolasyon sistemi içerisinde bulunan diğer tüm izolatörlerden farklı değerler alacak şekilde üretilmiştir. Dolayısıyla, bir izolasyon sisteminde her bir  $i$ . izolatör için bu bağımsız değişken parametrelere bağlı olarak hesaplanan  $\alpha_i$ ,  $f_{yi}$  ve  $d_{yi}$ , bağımlı değişken parametrelerinin değerleri de aynı izolasyon sistemindeki diğer tüm izolatörler için de farklı değerlere sahiptirler. Burada yer kısıtı sebebiyle ilgili izolasyon sistemlerinin sadece bir izolatörü için üretilen/hesaplanan değerlere örnek teşkil etmesi amacıyla yer verilebilmiş olup; Şekil 3.6 ve 3.7'deki grafikler ilgili izolasyon sistemlerinin birinci izolatörlerine (A1 izolatörü, Bkz. Şekil 3.5) ait bağımsız ve bağımlı değişken parametrelerin grafikleridir.



Şekil 3.6: Bağımsız rasgele değişken izolasyon sistemi parametrelerine ait olasılık yoğunluğu fonksiyon grafikleri; (a-c): 4 katlı üstyapıya sahip binalar için, (d-f): 8 katlı üstyapıya sahip binalar için, (g-i): 12 katlı üstyapıya sahip binalar için.



Şekil 3.7: Bağımlı değişken izolasyon sistemi parametrelerine ait kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri; (a-c): 4 katlı üstyapıya sahip binalar için, (d-f): 8 katlı üstyapıya sahip binalar için, (g-i): 12 katlı üstyapıya sahip binalar için.

### 3.3. YAKIN-FAY YER HAREKETLERİ

Çalışma kapsamında oluşturulan 12 taban izolasyonlu binanın (Bkz. Tablo 3.4) her biri, bu bölüm kapsamında karakteristik özellikleri tanıtilen puls içeren yakın-fay yer hareketlerinin her biri etkisi altında analiz edilmiştir. Deprem veri tabanlarındaki puls içeren tarihi yakın-fay yer hareketi kayıtlarının az sayıda olması, var olan kayıtlarda da “deprem büyüklüğü ve faya olan uzaklık” parametrelerinin sistematik olarak değişmemesi ve bu çalışmada ilgili yer hareketi parametrelerindeki belirsizlikleri göz önünde bulundurarak istatistiksel olarak yeterli sayıda dinamik analiz gerçekleştirilmesinin hedeflenmesi nedeniyle; çalışmada kullanılan puls içeren yakın-fay yer hareketleri, sentetik olarak üretilmiştir.

Literatürde, söz konusu puls içeren yakın-fay yer hareketlerini sentetik olarak modelleyebilmek amacıyla birçok araştırmacı (Hall vd., 1995; Makris, 1997; Makris ve Chang, 2000; Alavi ve Krawinkler, 2001; Menun ve Fu, 2002; Agrawal ve He, 2002; Mavroeidis ve Papageorgiou, 2003; He ve Agrawal, 2008) tarafından önerilmiş olan puls modelleri mevcuttur. Bu modellerden, yarım, tam veya daha fazla hız ve/veya deplasman puls çevrimi içeren yakın-fay yer hareketleri için Hall vd. (1995), Makris (1997), Makris ve Chang (2000), Alavi ve Krawinkler (2001), Menun ve Fu (2002) tarafından önerilen matematiksel modeller, yer hareketlerinin sadece belirli zaman aralıkları için geçerli olan parçalı fonksiyonlardan oluşmakta olup; süreksiz bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle de özellikle çalışma kapsamında olduğu gibi sistematik ve istatistiksel analizler için kullanılmaya elverişli değildirler. Bunların aksine, Agrawal ve He (2002) ile Mavroeidis ve Papageorgiou (2003) çalışmalarında önerilmiş puls modelleri ile Agrawal ve He (2002)’de önerilen puls modelinin gelişmiş versiyonu olan He ve Agrawal (2008) puls modeli, sürekli bir yapıya sahip olup; yer hareketlerinin tamamı için geçerli olan tek bir fonksiyondan oluşmaktadırlar. Ayrıca, Agrawal ve He (2002), Mavroeidis ve Papageorgiou (2003) ve He ve Agrawal (2008) tarafından önerilen puls modelleri, birçok kayıtlı yakın-fay yer hareketini simüle etmek amacıyla kullanılmış ve yeterlilikleri onaylanmıştır. Bununla birlikte, Berlarge dalgacığı modeli kullanarak ileri yönelim etkisi içeren yakın-fay yer hareketlerini azalan sinüs eğrileriyle formülize eden Agrawal ve He (2002) puls modeli, Gabor dalgacığı modeli kullanılarak geliştirilen Mavroeidis ve Papageorgiou (2003) puls modeline göre hem zaman-alanı hem de frekans-alanı fonksiyonları açısından daha basit fakat daha etkin bir yapıya sahiptir (Dicleli ve Buddaram, 2007). Ayrıca, özellikle Agrawal ve He (2002) modelinin taban izolasyonlu yapıların dinamik davranışlarının analizinde kullanılmasının kabul edilebilir olduğu, Wang vd. (2002), Gazi vd. (2015) ve Öncü-Davas vd.



(2015) çalışmalarında ortaya konmuştur. Bu çalışmaların yanı sıra, Agrawal ve He (2002) puls modelinin kullanılmış olduğu pek çok araştırma çalışması da bulunmaktadır (Dicleli ve Buddaram, 2007; Alhan ve Sürmeli, 2015; Gazi, 2015; Alhan vd., 2016). Bu sebeplerle, çalışmadaki puls içeren yakın-fay hareketi kayıtlarının sentetik olarak üretilebilmesi için Agrawal ve He (2002) modeli kullanılmıştır.

Puls içeren yakın-fay yer hareketleri için Agrawal ve He (2002) tarafından önerilen hız-zaman ( $\dot{u}_g$ ) ve ivme-zaman ( $\ddot{u}_g$ ) fonksiyonları, sırasıyla Denklem 3.9 ve 3.10'da verildiği gibidir. Bu denklemlerde,  $S$ ,  $\zeta_p$ ,  $\omega_p$  ve  $t_p$  sırasıyla hız puls başlangıç genliğini, puls sönüm oranını, puls açısal frekansını ve pik yer hızının gerçekleştiği anı temsil etmekte olup; bu parametrelerden  $S$ ,  $\omega_p$  ve  $t_p$  Denklem 3.11'deki formülasyonlarla (Dicleli ve Buddram, 2007) elde edilmektedir. Denklem 3.11'deki  $V_p$  ve  $T_p$  ise, sırasıyla puls hızına ve puls periyoduna karşılık gelmekte olup; bu parametreler Sommerville (1998) tarafından sunulmuş olan Denklem 3.12'deki formülasyonlar ile elde edilmektedir. Bu formülasyonlardaki  $M_w$  yakın-fay yer hareketlerinin moment büyüklüğünü temsil ederken;  $r$  ise söz konusu yer hareketleri için faya olan en yakın mesafeye karşılık gelmektedir.

$$\dot{u}_g(t) = S e^{-\zeta_p \omega_p t} \sin \omega_p \sqrt{1-\zeta_p^2} t \quad (3.9)$$

$$\ddot{u}_g(t) = S e^{-\zeta_p \omega_p t} \left( -\zeta_p \omega_p \sin \omega_p \sqrt{1-\zeta_p^2} t + \omega_p \sqrt{1-\zeta_p^2} \cos \omega_p \sqrt{1-\zeta_p^2} t \right) \quad (3.10)$$

$$S = \frac{V_p}{e^{-\zeta_p \omega_p t_p} \sin \omega_p \sqrt{1-\zeta_p^2} t_p} \quad \omega_p = \frac{2\pi}{T_p \sqrt{1-\zeta_p^2}} \quad t_p = \tan^{-1} \left( \sqrt{\frac{1}{\zeta_p^2} - 1} \right) / \omega_p \sqrt{1-\zeta_p^2} \quad (3.11)$$

$$\ln(V_p) = -2.31 + 1.15M_w - 0.5 \ln(r) \quad \log_{10}(T_p) = -2.5 + 0.425M_w \quad (3.12)$$

Çalışmada, 4 farklı nominal  $M_w$  (6.50, 6.75, 7.00 ve 7.25) seviyesi ve 3 farklı nominal  $r$  seviyesi (3, 6 ve 9 km) için 12 farklı sentetik yakın-fay yer hareketi oluşturulmuş olup; bu yer hareketleri için  $V_p$ ,  $T_p$  ve  $\zeta_p$  parametrelerinin nominal değerleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Bunlardan  $V_{p,nom}$  ve  $T_{p,nom}$ , Denklem 3.12'deki formülasyonlar ile hesaplanırken;  $\zeta_{p,nom}$  değeri, deprem veri tabanlarındaki kayıtlı yakın-fay yer hareketlerinden elde edilen datalar doğrultusunda tespit edilmiştir. Söz konusu tarihi yakın-fay yer hareketlerinin büyük bir çoğunluğu sadece iki hız pulsü içermekte olduğundan ve bu yer hareketlerinin davranışı da, sönüm oranı %20 olan azalan sinuzoidlere benzediğinden (Dicleli ve Buddaram, 2007), çalışma kapsamında üretilen yakın-fay yer hareketleri için  $\zeta_{p,nom}$  %20 olarak alınmıştır.

**Tablo 3.3:** Sentetik yakın-fay yer hareketlerine ait parametrelerin nominal değerleri

Yer Hareketi	M <sub>w,nom</sub>	r <sub>nom</sub> (km)	V <sub>p,nom</sub> (cm/s)	T <sub>p,nom</sub> (s)	ζ <sub>p,nom</sub> (%)	Yer Hareketi	M <sub>w,nom</sub>	r <sub>nom</sub> (km)	V <sub>p,nom</sub> (cm/s)	T <sub>p,nom</sub> (s)	ζ <sub>p,nom</sub> (%)
Mw6.50r3	6.50	3	101.06	1.830	20	Mw7.00r3	7.00	3	179.59	2.985	20
Mw6.50r6		6	71.46	1.830		Mw7.00r6		6	126.99	2.985	
Mw6.50r9		9	58.35	1.830		Mw7.00r9		9	103.69	2.985	
Mw6.75r3	6.75	3	134.72	2.337	20	Mw7.25r3	7.25	3	239.41	3.813	20
Mw6.75r6		6	95.26	2.337		Mw7.25r6		6	169.29	3.813	
Mw6.75r9		9	77.78	2.337		Mw7.25r9		9	138.23	3.813	

### 3.3.1. Belirsizlik İçeren Yer Hareketi Parametrelerinin Modellenmesi

Çalışma kapsamındaki binalara uygulanan yakın-fay yer hareketlerindeki belirsizlikleri göz önünde bulundurmak için

- (i) Puls hızı (V<sub>p</sub>)
- (ii) Puls periyodu (T<sub>p</sub>)
- (iii) Puls sönüm oranı (ζ<sub>p</sub>)

rastgele değişken parametreler olarak ele alınmış olup; söz konusu yer hareketi parametreleri, *Weibull dağılıma uygun bağımsız rastgele değişkenler* olarak tanımlanmış ve bu parametrelere ait değerler, Denklem 3.13 (Rubinstein ve Kroese, 2017) ile elde edilmiştir. Çalışma kapsamındaki bağımsız rastgele değişken üstyapı ve izolasyon sistemi parametreleri için kullanılan normal dağılıma benzer şekilde, Weibull dağılım türü de yapısal güvenilirlik analizlerindeki değişkenler için sıklıkla kullanılan bir istatistiksel dağılım türü (Nowak ve Collins, 2000) olup; iki parametrelili weibull dağılıma uyan bir rastgele değişkenin Olasılık Yoğunluğu Fonksiyonu (PDF, f<sub>X</sub>) ile Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF, F<sub>X</sub>) sırasıyla Denklem 3.14 ve 3.15'deki (Rubinstein ve Kroese, 2017) gibidir. Bu denklemlerde, b<sub>X</sub> ve c<sub>X</sub> parametreleri, sırasıyla X değişkeninin ölçek ve şekil parametreleridir. Ayrıca, x<sub>i</sub> söz konusu X değişken parametresine ait bir gerçekleşme değeri olup; u<sub>i</sub> ise, (0-1) aralığında ve üniform dağılıma sahip U değişkenine ait değerlerdir. Tez kapsamında söz konusu u<sub>i</sub> değerleri, her bir rastgele değişken için ayrı ayrı olmak üzere; MATLAB programında (MathWorks Inc, 2020) üniform dağılıma uyan rastgele sayıların üretimi için kullanılan “rand” komutu vasıtasıyla elde edilmiştir.

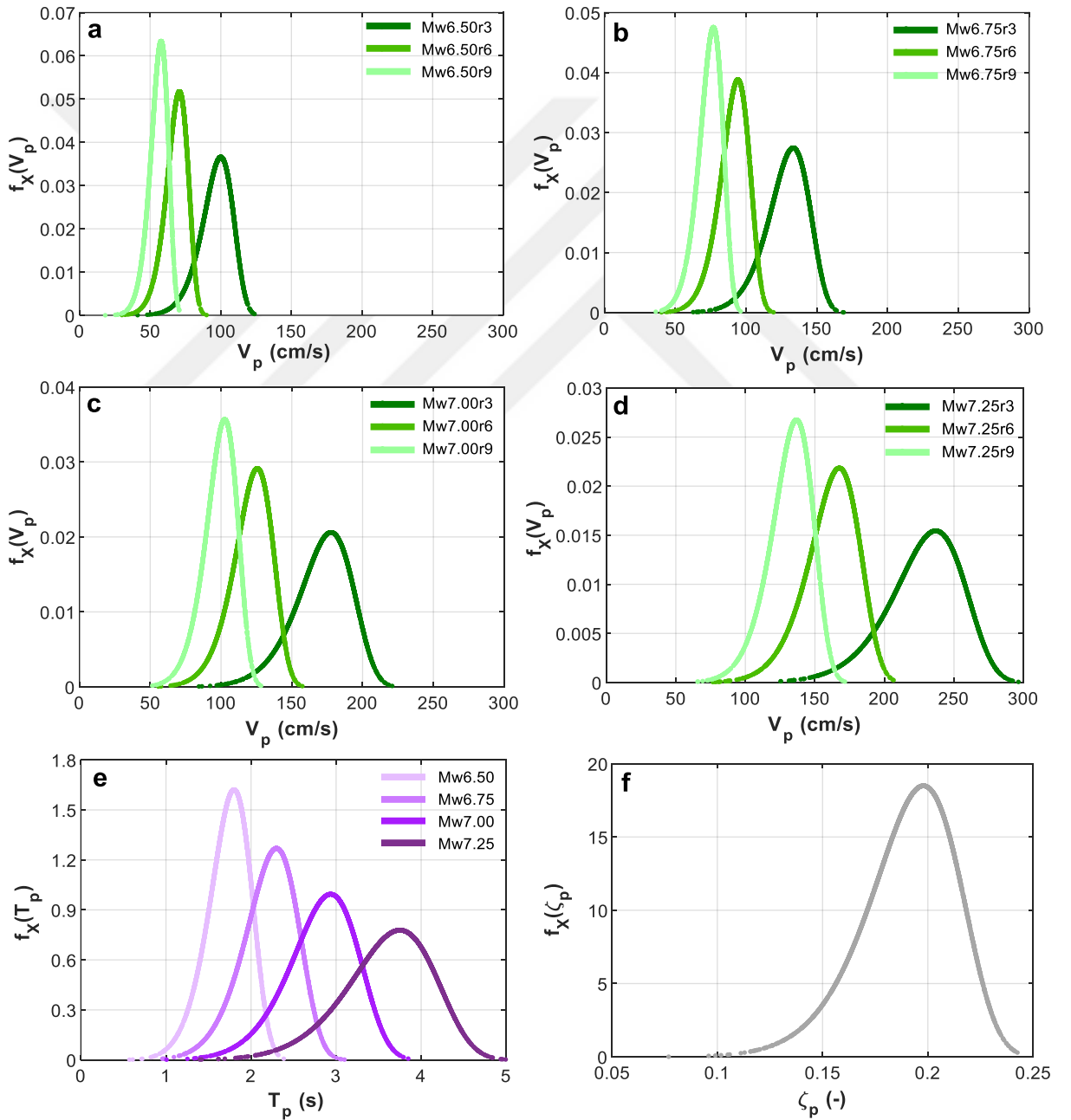
$$x_i = b_X [-\ln(1-u_i)]^{1/c_X} \quad (3.13)$$

$$f_X(x_i) = \frac{c_X}{b_X} \left(\frac{x_i}{b_X}\right)^{c_X-1} e^{-\left(\frac{x_i}{b_X}\right)^{c_X}} \quad (3.14)$$

$$F_X(x_i) = 1 - e^{-\left(\frac{x_i}{b_X}\right)^{c_X}} \quad (3.15)$$

Diğer taraftan, çalışma kapsamındaki V<sub>p</sub>, T<sub>p</sub> ve ζ<sub>p</sub> bağımsız rastgele değişken yer hareketi parametrelerinin b<sub>X</sub> ölçek parametresi değerleri, bu yer hareketi parametreleri için Tablo 3.3'de

verilen nominal değerlere eşit alınmıştır. Bununla birlikte, söz konusu bağımsız rastgele değişken yer hareketi parametrelerinin formunu belirleyen  $c_x$  şekil parametreleri ise, veri tabanlarında kayıtlı bulunan tarihi yakın-fay yer hareketlerinin hız, periyot ve sönüm oranı özelliklerini temsil edecek şekilde denemeler yaparak tespit edilmiş olup; söz konusu  $c_x$  şekil parametrelerinin değerleri, tüm yer hareketlerine ait  $V_p$ ,  $T_p$  ve  $\zeta_p$  parametreleri için sırasıyla, 10, 8 ve 10 olarak tespit edilmiştir. Çalışma kapsamındaki tüm yer hareketleri (Bkz. Tablo 3.4) için üretilen  $V_p$ ,  $T_p$  ve  $\zeta_p$  bağımsız rastgele değişken parametrelere ait değerlerin olasılık yoğunluğu fonksiyonu ( $f_x$ ) grafikleri Şekil 3.8’de verilmiştir.

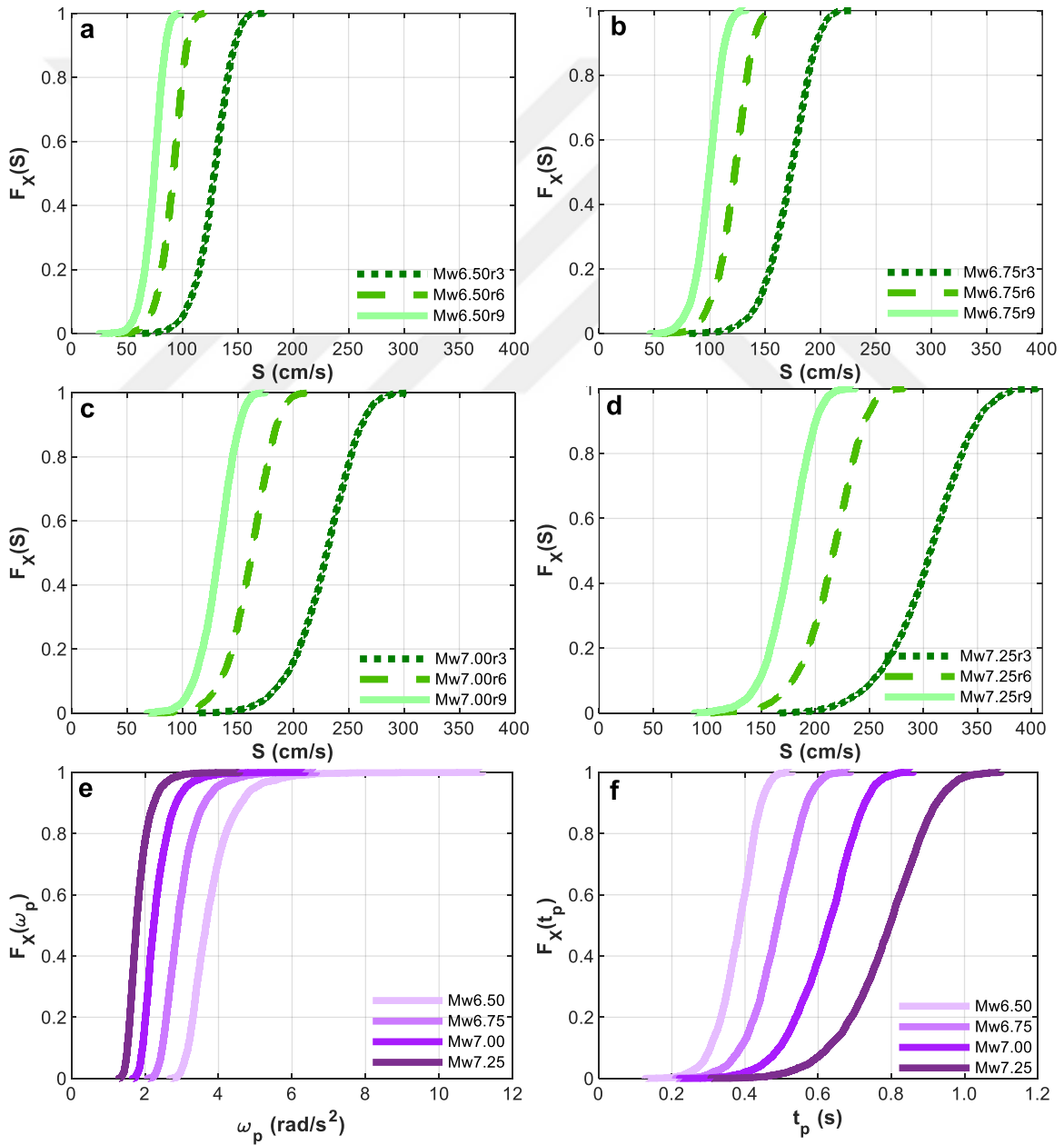


Şekil 3.8: Bağımsız rasgele değişken yer hareketi parametrelerine ait olasılık yoğunluğu fonksiyonu grafikleri

Çalışma kapsamında ayrıca, tüm yer hareketleri için

- (i) Hız pulsu başlangıç genliği ( $S$ )
- (ii) Hız pulsu açılmal frekansı ( $\omega_p$ )
- (iii) Pik yer hızının gerçekleştiği an ( $t_p$ )

bağımlı değişken parametreler olarak ele alınmış olup; her bir yer hareketi için bu parametrelerinin değerlerinin hesabı,  $V_p$ ,  $T_p$  ve  $\zeta_p$  bağımsız değişken parametrelerine bağlı olarak Denklem 3.11'deki formülasyonlar ile elde edilmiştir. Çalışma kapsamındaki 12 farklı yakın-fay yer hareketi için söz konusu  $S$ ,  $\omega_p$  ve  $t_p$  bağımlı değişken yer hareketi parametrelerine ait kümülatif dağılım fonksiyonları ( $F_X$ ), Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9: Bağımlı değişken yer hareketi parametrelerine ait kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri

Modellenen tüm üstyapılara (Bölüm 3.1) ve izolasyon sistemlerine (Bölüm 3.2) ait parametrelerin ve ayrıca sentetik yakın-fay yer hareketlerine (Bölüm 3.3) ait parametrelerinin özeti, topluca Tablo 3.4’de verildiği gibidir.

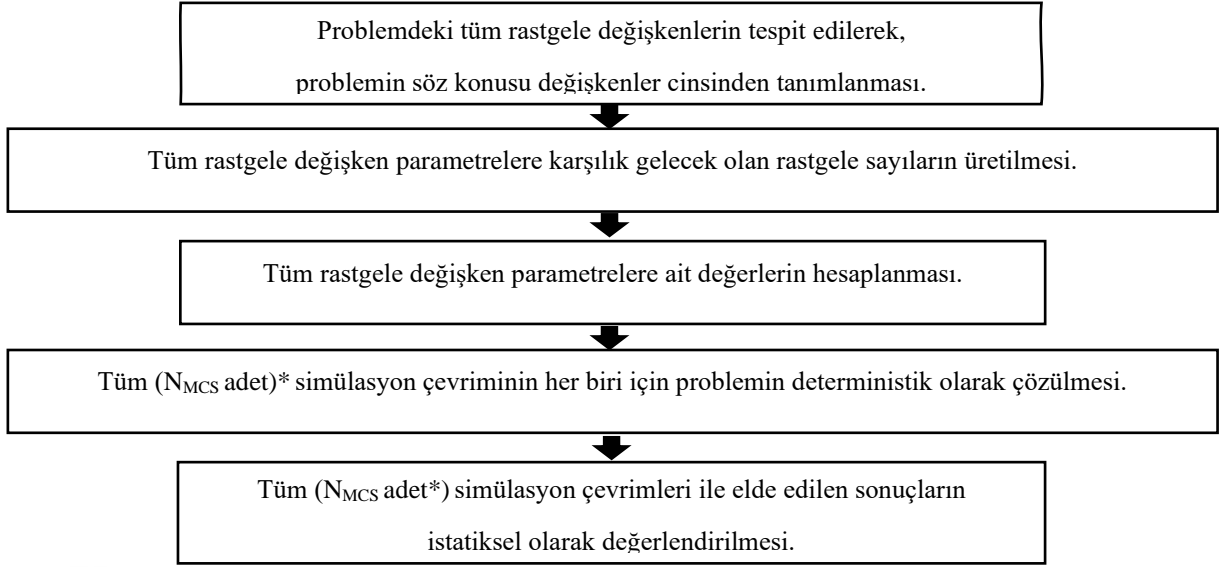
**Tablo 3.4:** Çalışma kapsamındaki tüm üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerine ait parametreler

Üstyapı	İzolasyon Sistemi	Taban İzolasyonlu Bina	Yer Hareketleri	Üstyapı Parametreleri	İzolasyon Sistemi Parametreleri	Yer Hareketi Parametreleri	
4K	T3QW05	4K-T3QW05	Mw6.50r3	$k_{xij}, k_{yij}, m_{xi}, m_{yi}, \zeta_{sm}$	$k_{zi}, q_i$ ve $k_{li}$ (Normal dağılıma sahip bağımsız rastgele değişken)	$V_p, T_p$ ve $\zeta_p$ (Weibull dağılıma sahip bağımsız rastgele değişken)	
	T3QW10	4K-T3QW10	Mw6.50r6	(Normal dağılıma sahip bağımsız rastgele değişken)			
	T4QW05	4K-T4QW05	Mw6.50r9	dağılıma sahip bağımsız rastgele değişken)			
	T4QW10	4K-T4QW10	Mw6.75r3	dağılıma sahip bağımsız rastgele değişken)			
8K	T3QW05	8K-T3QW05	Mw6.75r6	$K_{xi}, K_{yi}, K_{oi}, e_{xi}, e_{yi}, m_{oi}$ (Bağımlı değişken)	$\alpha_i, f_{yi}$ ve $d_{yi}$ (Bağımlı değişken)	$S, \omega_p, t_p$ (Bağımlı değişken)	
	T3QW10	8K-T3QW10	Mw6.75r9				
	T4QW05	8K-T4QW05	Mw7.00r3				
	T4QW10	8K-T4QW10	Mw7.00r6				
12K	T3QW05	12K-T3QW05	Mw7.00r9	i = kat numarası, j = kolon numarası, sm = üstyapı mod numarası	i = izolatör numarası	değişken)	
	T3QW10	12K-T3QW10	Mw7.25r3				
	T4QW05	12K-T4QW05	Mw7.25r6				
	T4QW10	12K-T4QW10	Mw7.25r9				

\* 4 bina modelinin her biri, karşılık gelen 12 yer hareketinin her birine maruz bırakılmıştır.

### 3.4. MONTE CARLO SİMÜLASYON METODU

Çalışma kapsamında yürütülen tüm doğrusal olmayan dinamik analizler ve güvenilirlik analizleri, Monte Carlo Simülasyon Metodu kapsamında gerçekleştirilmiştir. Monte Carlo, fiziksel bir test gerçekleştirmeksizin, bir problem veya sistem için istatistiksel örnekleme deneyleri gerçekleştirmek suretiyle nümerik olarak sonuçların elde edilebildiği bir istatistiksel simülasyon metodudur. Bu metot, kapalı çözümün imkânsız ya da çok zor olduğu karmaşık problemleri çözmek için yahut da birçok basitleştirici varsayımlar yapılarak kapalı formda çözülebilen karmaşık problemleri bu varsayımlar olmadan çözebilmek için kullanılmakta olup; (Nowak ve Collins, 2000; Pengelly, 2015) metot ile karmaşık mühendislik sistemlerinin risk ya da güvenilirliği hesaplanabilmektedir (Haldar ve Mahadevan, 2000). Genelde göz önünde bulundurulmuş bir sistemdeki rastgele bir değişkenin/değişkenlerin söz konusu sisteme etkisini inceleyen bu metot, ilk defa matematikçi John von Neumann ve Stanislaw Ulam tarafından önerilmiş olup; rastgele değişkenlere karşılık gelen rastgele sayıları üreten bir algoritma ile çalışmaktadır. Söz konusu algoritmanın aşamaları (Haldar ve Mahadevan, 2000; Grinstead ve Snell, 2010; Ayyub ve McCuen, 2011), özetle Şekil 3.10’daki gibidir.



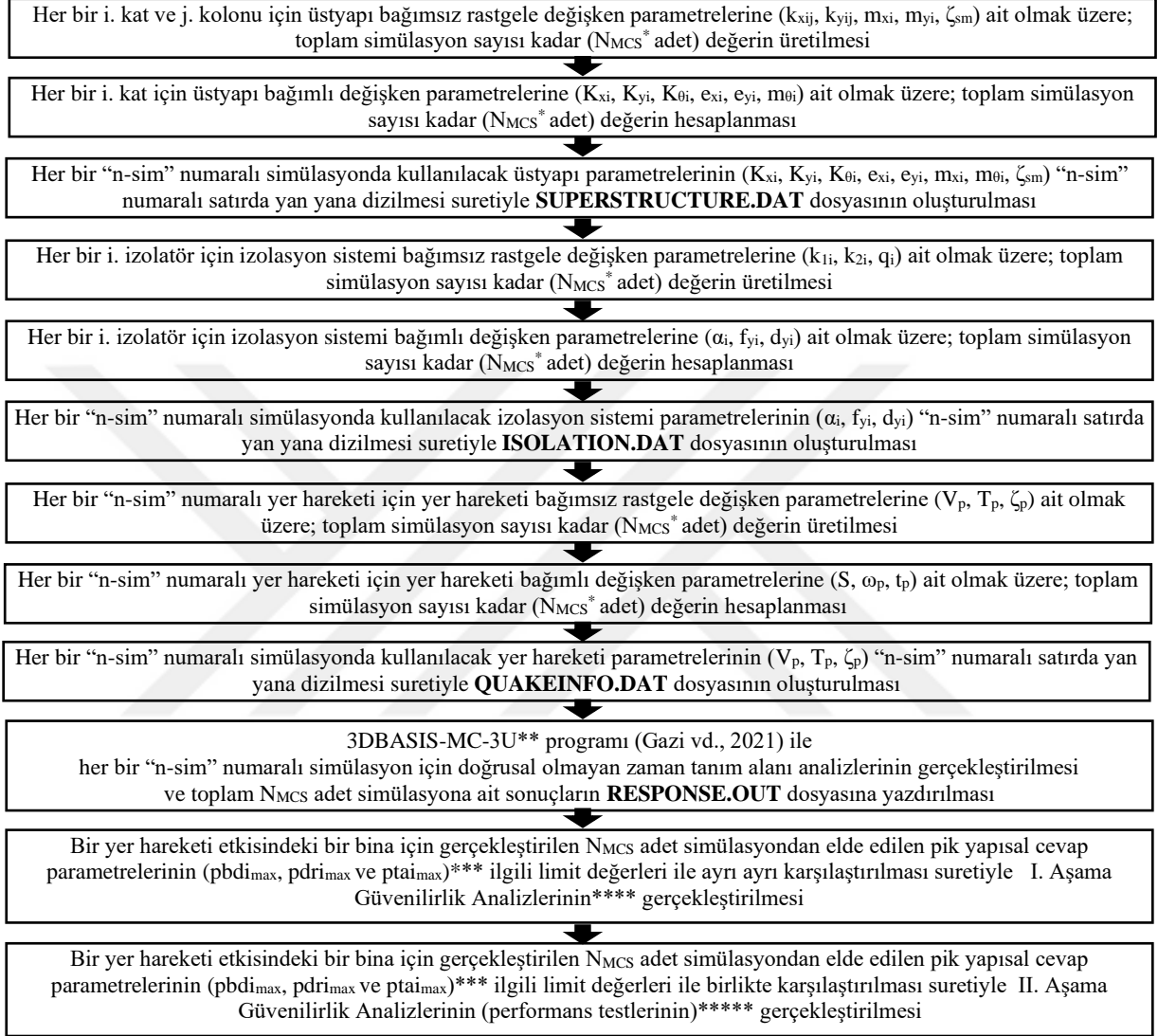
(\* N<sub>MCS</sub> = Problemin çözümü için gereken yeterli Monte Carlo Simülasyon Sayısı. Bkz Bölüm 3.6)

### Şekil 3.10: Monte Carlo Simülasyon Metodu aşamaları

Monte Carlo Simülasyon Metodu, günümüzde hesaplamalı fizik (Bentner vd., 2001), istatistiksel fizik (Kastner, 2010) yapı mühendisliği (Alhan ve Gazi, 2014; Vargas vd., 2014) ve yazılım mühendisliği (Brun vd., 2003) gibi fiziki bilimlerin ve mühendislik bilimlerinin birçok alanı ile finans (Castelnuovo, 2013) ve telekomünikasyon (Wang vd., 2013) alanlarında duyarlılık, olasılık ve risk analizlerinde sıkça kullanılmaktadır. Bu metot, sismik izolasyonlu sistemlerin analizi ile ilgili birçok çalışmada da kullanılmıştır (Constantinou ve Papageorgiou, 1990; Fan ve Ahmadi, 1990; Pirrotta ve İbrahim, 1997; Shenton III ve Holloway, 2000; Alhan ve Gavin, 2005; Gazi ve Alhan, 2013; Gazi, 2015; Gazi ve Alhan, 2018; Moeindarbari ve Taghikhany, 2018).

Yukarıda belirtilen çalışmalardan Pradlwarter vd. (1998) ile Alhan ve Gavin (2005)'de açıkça belirtildiği üzere; *Monte Carlo Simülasyon Metodu, analitik çözüm sonuçları ile oldukça uyumlu olasılıksal analiz istatistikleri elde etmek için etkili bir metot olmakla birlikte, sistem ve analiz yönteminin karmaşık olması durumlarında da olasılıksal davranışın elde edilmesi için güvenilir bir metottur.* Bu nedenlerle, *çalışmada incelenen doğrusal olmayan izolasyon sistemlerine sahip, çok serbestlik dereceli ve üç boyutlu yapısal sistemlerin karmaşıklığı ve bu sistemler için gerçekleştirilecek analizlerin olasılıksal karakteristiklerinin tamamıyla analitik bir şekilde tanımlanmasının zorluğu göz önünde bulundurularak, çalışma kapsamındaki tüm dinamik analizler ile tüm yapısal güvenilirlik analizleri, Monte Carlo Simülasyon Metodu kapsamında gerçekleştirilmiştir.*

Bu metot kapsamında, çalışmada göz önünde bulundurulan her bir bina (Bkz. Tablo 3.4) için her bir yer hareketi (Bkz. Tablo 3.4) etkisinde gerçekleştirilen  $N_{MCS}$  adet (Bkz. Bölüm 3.6) simülasyon dahilinde gerçekleştirilen çalışmalar, Şekil 3.11'deki gibi özetlenebilir.



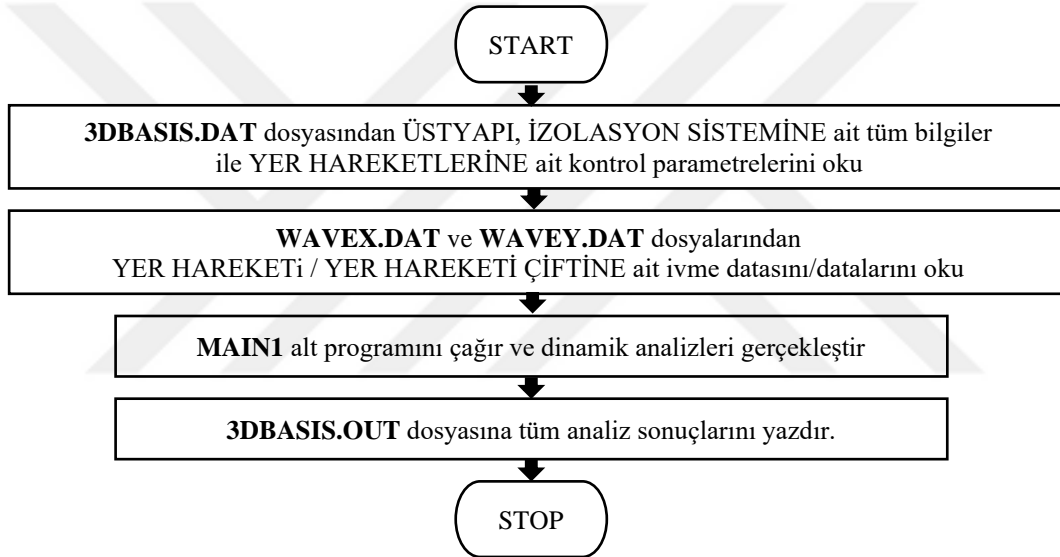
Bkz. Bölüm 3.6; \*\* Bkz. Bölüm 3.5; \*\*\* Bkz. Bölüm 4.1; \*\*\*\* Bkz. Bölüm 4.2.1; \*\*\*\*\* Bkz. Bölüm 4.2.2

**Şekil 3.11:** Monte Carlo Simülasyon Metodu kapsamında tez çalışmasında gerçekleştirilen aşamalar

### 3.5. 3D-BASIS ve 3DBASIS-MC-3U YAPISAL DİNAMİK ANALİZ PROGRAMLARI

3D-BASIS (Nagarajaiah vd., 1991), üç boyutlu taban izolasyonlu yapıların doğrusal veya doğrusal olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmek üzere geliştirilmiş açık kaynak kodlu ve özel amaçlı bir bilgisayar programdır. Bu program, iki eksenli etkileri göz önünde bulundurarak (1) düşük veya yüksek sönümlü olabilen kauçuk esaslı izolasyon sistemlerinin,

(2) kayıcı izolasyon sistemlerinin ve (3) kauçuk esaslı ve kayıcı izolasyon elemanların bulunduğu karma izolasyon sistemlerine sahip üç boyutlu taban izolasyonlu yapıların dinamik analizlerini doğrusal veya doğrusal olmayan Zaman Tanım Alanı Analiz Yöntemleri ile gerçekleştirebilmektedir (Reinhorn vd., 2010). Program, FORTRAN programlama dili ile kodlanmış olup, tek bir üstyapı ve tek bir izolasyon sistemi için kullanıcı tarafından hazırlanan bilgileri 3DBASIS.DAT data dosyasından okurken; yapının maruz kalacağı yine bir yer hareketi veya yer hareketi çiftine ait ivme datalarını WAVEX.DAT ve WAVEY.DAT dosyalarından okumakta ve bu bilgiler doğrultusunda doğrusal veya doğrusal olmayan üç boyutlu dinamik analizler gerçekleştirilerek, analiz sonuçlarını 3DBASIS.OUT sonuç dosyasına yazdırmaktadır. Programın ana hatlarıyla akış diyagramı, Şekil 3.12’de verildiği gibidir.



Şekil 3.12: 3D-BASIS programının (Nagarajaiah vd., 1991) ana hatlarıyla akış diyagramı

3D-BASIS programı (Nagarajaiah vd., 1991) herhangi bir belirsizlik etkisini dikkate almaksızın bir yer hareketi etkisinde ve bir izolasyon sistemine sahip bir taban izolasyonlu yapı için Zaman Tanım Alanı analizleri gerçekleştirebilmektedir. Bu program, Gazi (2015) doktora tezi çalışmasında izolasyon sistemi ve yer hareketi parametrelerindeki belirsizlikleri göz önünde bulundurarak, sismik izolasyonlu binaların Monte Carlo simülasyonları dahilinde hem tarihi yer hareketleri hem de kendi bünyesinde ürettiği puls içeren sentetik yakın-fay yer hareketleri etkisinde tekrarlı dinamik analizlerini yapabilir hale getirilmiştir. Programın Gazi (2015) çalışmasında modifiye edilmiş bu hali 3D-BASIS-MONTEQ olarak isimlendirilmiş; 3D-BASIS (Nagarajaiah vd., 1991) ve SAP2000 (CSI, 2016) programları ile karşılaştırmalı olarak doğrulanmıştır.



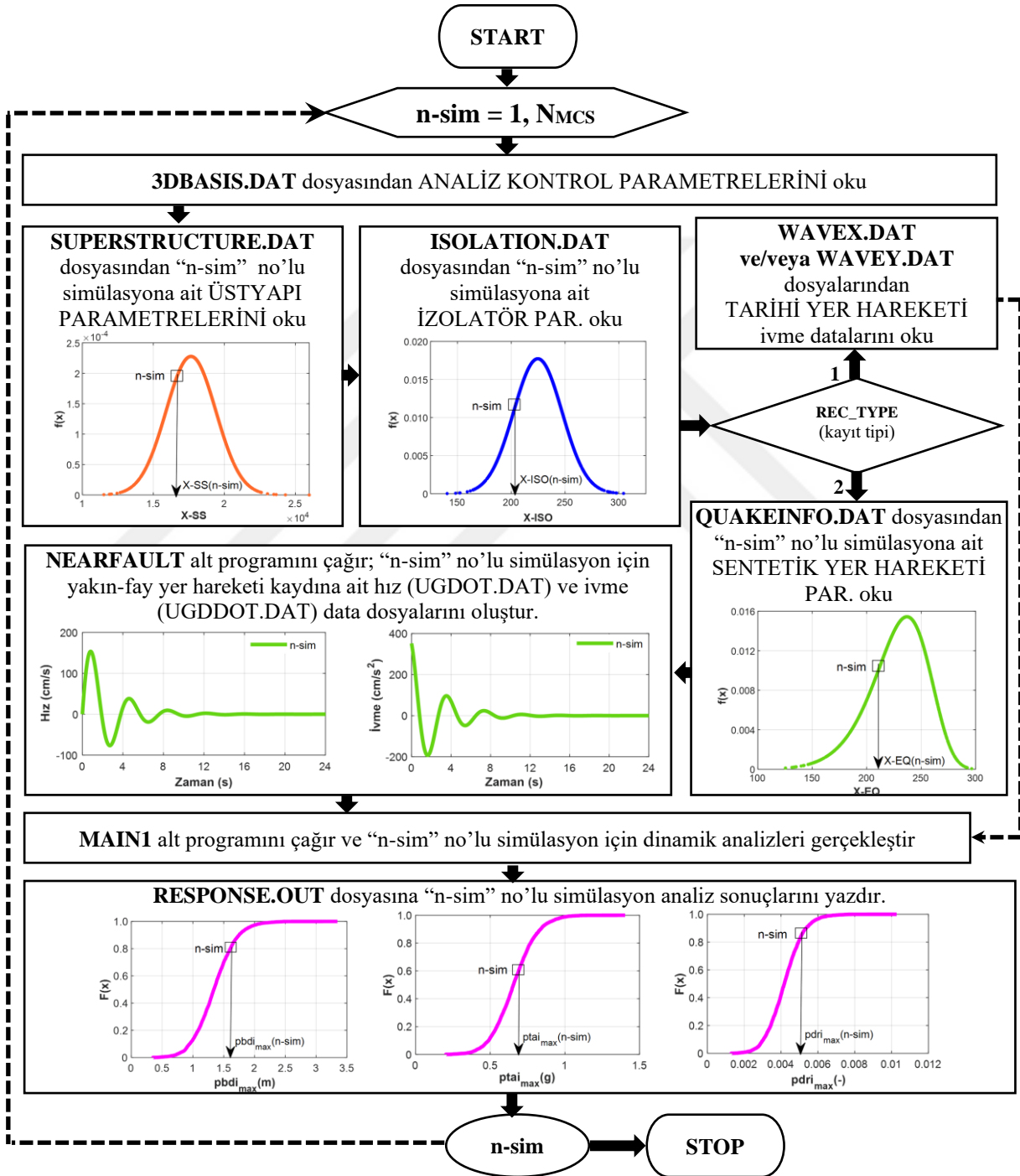
Ayrıca, bu tez çalışma kapsamında da orijinal 3D-BASIS programının SAP 2000 programı ile verifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu verifikasyon çalışmasında taban izolasyonlu 4, 8 ve 12 katlı binaların, 1999 - ChiChi (TCU068\_E) tarihi deprem kaydı altında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Her iki program da her zaman adımında yapısal cevap parametrelerinde aynı değerleri vermiştir. Örnek teşkil etmesi amacıyla, taban izolasyonlu 4 katlı bir binanın SAP 2000 ve 3D-BASIS programlarından elde edilen en üst kat toplam kat ivmeleri ve taban deplasmanları EK 1’de verilmiştir.

Bu tez çalışmasının bağlı olduğu 119M804 no’lu TÜBİTAK projesi (Gazi vd., 2021) kapsamında, 3D-BASIS-MONTEQ programı (Gazi, 2015), izolasyon sistemi ve yer hareketi parametrelerindeki belirsizliklerin yanı sıra *üstyapı belirsizliklerini de dikkate alacak şekilde modifiye edilmiş olup*; programın proje kapsamındaki bu son hali 3DBASIS-MC-3U olarak isimlendirilmiştir. 3DBASIS-MC-3U programının ana hatlarıyla akış diyagramı, Şekil 3.13’de verildiği gibidir.

Orijinal 3D-BASIS programından (Nagarajaiah vd., 1991) farklı olarak, 3DBASIS-MC-3U analiz edilen taban izolasyonlu bina ve yer hareketi için bir kez çalıştırılması halinde toplam  $N_{MCS}^*$  adet (Bkz. Bölüm 3.6) çevrim ile  $N_{MCS}$  adet Monte Carlo simülasyonu ve dolayısıyla  $N_{MCS}$  adet doğrusal olmayan üç boyutlu dinamik analizi gerçekleştirebilmektedir. Şekil 3.13’deki genel akış diyagramından görüldüğü üzere; 3DBASIS-MC-3U, gerçekleştirdiği bu  $N_{MCS}$  adet çevrimin her birinde “n-sim” no’lu simülasyon için öncelikle, 3DBASIS.DAT, SUPERSTRUCTURE.DAT ve ISOLATION.DAT data dosyalarından sırasıyla analiz kontrol, üstyapı ve izolasyon sistemi parametrelerini okumaktadır.

3DBASIS-MC-3U, yine 3D-BASIS’den farklı olarak hem tarihi hem de yakın-fay yer hareketleri etkisinde analiz yapabilmekte olup; tarihi yer hareketlerinin kullanılması halinde WAVEX.DAT ve/veya WAVEY.DAT dosyalarından, sentetik yakın-fay yer hareketleri kullanılması halinde ise her bir simülasyona ait yer hareketi parametrelerini QUAKEINFO.DAT dosyasından okumaktadır. 3DBASIS-MC-3U’nun 3D-BASIS’den bir diğer farklılığı, yine yer hareketleri ile ilgili olup; sentetik yakın-fay yer hareketlerinin kullanılması halinde, program bünyesine eklenen NEARFAULT alt programını çağırmakta ve bu alt programda Agrawal ve He (2002) puls modelini (Bölüm 3.3) kullanarak söz konusu n-sim no’lu simülasyon için ivme ve hız data dosyalarını kendi bünyesinde oluşturmaktadır.

Programda bu adımın ardından MAIN1 altprogramı çağrılarak, ilgili simülasyona ait doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilmekte ve elde edilen yapısal cevap parametreleri, RESPONSE.OUT dosyasına kaydedilmektedir. Bu işlemler, tüm simülasyonlar için aynı şekilde tekrar edilmekte olup; tüm simülasyonların gerçekleştirilmesinin ardından program sonlanmaktadır.



Şekil 3.13: 3DBASIS-MC-3U programının (Gazi vd., 2021) ana hatlarıyla akış diyagramı

### 3.5.1. 3DBASIS-MC-3U Programının Verifikasyonu

3DBASIS-MC-3U programının kontrolü için bir verifikasyon çalışması yapılmış olup; bu çalışma kapsamında üstyapı ve izolasyon sistemindeki belirsizlikler birlikte dikkate alınarak; 4, 8 ve 12 katlı üstyapılara ve farklı nominal izolasyon periyodu ( $T_{0,nom} = 3s$  ve  $4s$ ) ile farklı nominal izolasyon karakteristik kuvvet oranına ( $(Q/W)_{nom} = \%5$  ve  $\%10$ ) sahip olan örnek üç taban izolasyonlu bina modeli (4K-T3QW05, 8K-T3QW10 ve 12K-T4QW05) oluşturulmuştur (Detay için Bkz. Tablo 3.4). Bununla birlikte, yer hareketleri parametrelerindeki belirsizlikleri de göz önünde bulundurmak suretiyle, farklı nominal deprem moment magnitudü ( $M_{w,nom} = 6.50, 7.00$  ve  $7.25$ ) ile farklı nominal fay mesafesi ( $r_{nom} = 3, 6$  ve  $9$  km) seviyeleri için örnek üç yakın-fay yer hareketi ( $Mw6.50r3, Mw7.00r6$  ve  $Mw7.25r9$ ) dikkate alınmıştır (Detay için Bkz. Tablo 3.4).

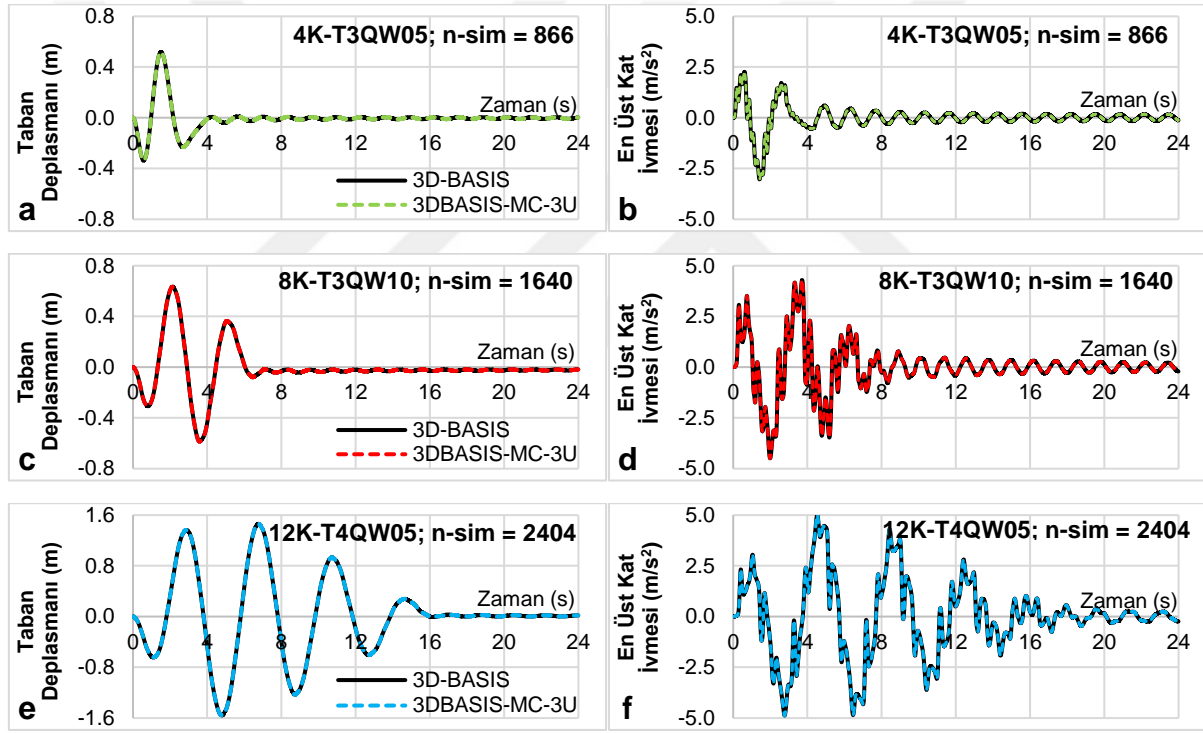
Bu verifikasyon çalışması kapsamında, örnek teşkil etmek amacıyla oluşturulan söz konusu üç binanın her birine ait üstyapı ve izolasyon sistemi parametrelerinin her biri (Bkz Tablo 3.4) ile yine örnek teşkil etmek amacıyla oluşturulan üç yer hareketi durumunun her birine ait parametrelerin her biri (Bkz Tablo 3.4) için 10.000 adet Monte Carlo simülasyonunda kullanılmak üzere, 10.000'er adet değer üretilmiş / hesaplanmıştır. Programın kontrolü için gerçekleştirilen söz konusu verifikasyon simülasyonlarının sayısı, modifiye programın orijinal program ile aynı sonuçları elde ettiğinden emin olmak amacıyla, bu derecede yüksek alınmış olup; Bölüm 4'de gerçekleştirilen nihai simülasyonlar için gerekli ve yeterli simülasyon sayılarının ( $N_{MCS}$ ) tespiti, Bölüm 3.6'da sunulmuştur.

Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketi parametrelerine ait değer üretimi / hesabının gerçekleştirilmesinin ardından, söz konusu 4K-T3QW05, 8K-T3QW10 ve 12K-T4QW05 binaları sırasıyla  $Mw6.50r3, Mw7.00r6$  ve  $Mw7.25r9$  yer hareketlerine maruz bırakılarak; her bir bina ve yer hareketi eşleşmesi için 3DBASIS-MC-3U programı ile 10.000 adet simülasyon kapsamında 10.000 adet doğrusal olmayan üç boyutlu dinamik analiz gerçekleştirilmiştir.

Bunun akabinde, söz konusu bina ve yer hareketi eşleşmelerinin her biri için gerçekleştirilen tüm simülasyonların arasından çok sayıda rastgele simülasyonlar seçilerek; bu simülasyonlarda kullanılan üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketi parametreleri, 3DBASIS-MC-3U programının ilgili data dosyalarından tespit edilmiştir. Ardından seçilen her bir simülasyona ait dinamik analizler, ayrı ayrı ve tek tek olmak üzere orijinal 3D-BASIS programı (Nagarajaiah vd., 1991) vasıtasıyla da gerçekleştirilmiştir.

Bu doğrultuda, söz konusu bina ve yer hareketi eşleşmelerinin her biri için 3DBASIS-MC-3U programının bir kez çalıştırılması ile gerçekleştirilen 10.000 adet simülasyon arasından örnek teşkil etmek amacıyla seçilmiş n-sim = 866., 1640. ve 2044. simülasyonlar için elde edilen taban deplasmanları ve en üst kat ivmeleri ile aynı simülasyonlara ait aynı cevap parametreleri için 3D-BASIS programıyla elde edilen sonuçların karşılaştırılması, Şekil 3.14'deki grafiklerde sunulmuştur.

Şekil 3.14'deki grafiklerde görüldüğü üzere; belirtilen yer hareketleri etkisindeki söz konusu binaların orijinal 3D-BASIS ve modifiye 3DBASIS-MC-3U programları ile analizi sonucunda aynı simülasyonlar için her zaman adımında tamamıyla aynı sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.14: 3DBASIS-MC-3U programının (Gazi vd., 2021) verifikasyonu için gerçekleştirilen örnek simülasyon sonuçları

### 3.6. YETERLİ MONTE CARLO SİMÜLASYON SAYISININ ( $N_{MCS}$ ) TESPİTİ

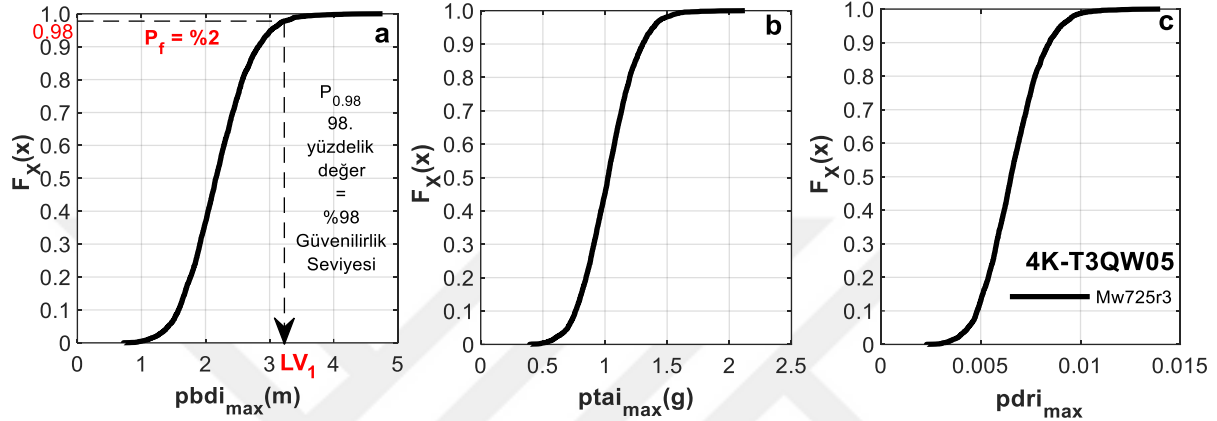
Çalışma kapsamındaki yakın-fay yer hareketlerine maruz taban izolasyonlu binaların güvenilirliklerinin Monte Carlo Simülasyon Metodu ile *kabul edilebilir bir yaklaşıklıkla ve gerçekçi bir şekilde* hesaplanabilmesi için gerçekleştirilmesi gereken ve yeterli simülasyon sayısı ( $N_{MCS}$ ) bir ön simülasyon çalışması ile tespit edilmiştir.

Söz konusu yeterli simülasyon sayısının gerçekçi bir şekilde hesaplanabilmesi için gerçekleştirilen ön simülasyon çalışmasında, üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizlikler yine birlikte göz önünde bulundurulmuş; ve tez çalışması kapsamında modellenen 12 taban izolasyonlu bina (Bkz. Tablo 3.4) dikkate alınmıştır. Diğer taraftan, bu ön çalışmada -tez çalışması kapsamında ele alınan yer hareketleri arasından- en büyük nominal pik yer hızına ve en büyük nominal pik yer ivmesine sahip olan, dolayısıyla parametrelerindeki belirsizlikler vasıtasıyla yapısal cevap parametrelerinin değişimi üzerinde daha etkili olabilecek olan, bu nedenlerden ötürü de daha yüksek yeterli simülasyon sayısına sebep olabilecek Mw7.25r3 yer hareketi kullanılmıştır.

Alhan ve Gavin (2005) çalışmasında tarif edildiği gibi gerçekleştirilen ön simülasyon çalışmasının ilk adımında, üstyapı ve izolasyon sistemi belirsizliklerinin yanı sıra yer hareketlerindeki belirsizliklerin de yeterli simülasyon sayısı üzerindeki etkisi hesaba katılarak; -Bölüm 3.5.1’de detayı verilen 3DBASIS-MC-3U programının kontrolü için gerçekleştirilen verifikasyon çalışmasına benzer şekilde- yine 10.000 gibi yüksek değerde bir simülasyon sayısı dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, söz konusu 12 binanın her biri için ayrı ayrı gerçekleştirilen 10.000 simülasyonda kullanılmak üzere; bu binaların her birinin tüm bağımsız ve bağımlı üstyapı ile izolasyon sistemi parametrelerinin her birine (Bkz. Tablo 3.4) ait 10.000’er adet değer üretilmiş/hesaplanmıştır. Benzer şekilde, aynı simülasyonlarda kullanılmak üzere; Mw7.25r3 yer hareketi için de tüm bağımsız ve bağımlı yer hareketi parametrelerinin her birine (Bkz. Tablo 3.4) ait 10.000’er adet değer üretilmiş/ hesaplanmıştır.

Ön simülasyon çalışmasının bir sonraki aşamasında ise, 12 bina modelinin her biri Mw7.25r3 yer hareketine maruz bırakılmış ve 3DBASIS-MC-3U (Gazi vd., 2021) programı ile her bir bina için 10.000 adet olmak üzere, toplam 120.000 doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Ardından, 12 binanın her biri için söz konusu Mw7.25r3 yer hareketi etkisinde gerçekleştirilen 10.000 simülasyondan her i. simülasyon için elde edilen *pik izolatör deplasmanlarının maksimumu* ( $p_{bdi_{max}}$ : i. simülasyona ait izolasyon sistemi içerisindeki 49 izolatörün her biri için elde edilen pik deplasmanların maksimumu), *pik kat ivmelerinin*

*maksimumu* ( $ptai_{max}$ : i. simülasyona ait binanın tüm kat seviyelerindeki pik toplam kat ivmelerinin maksimumu) ve *pik görel kat ötelemelerinin maksimumu* ( $pdri_{max}$ : i. simülasyona ait binanın tüm katları dikkate alınarak hesaplanan pik görel kat ötelemelerinin maksimumu) yapısal cevap parametreleri elde edilmiştir. Örnek teşkil etmesi amacıyla, 4K-T3QW05 binası için gerçekleştirilen tüm simülasyonlarla elde edilen  $pbd_{i,max}$ ,  $ptai_{max}$  ve  $pdri_{max}$  cevap parametrelerine ait CDF grafikleri, sırasıyla Şekil 3.15-a, b ve c’de verilmiştir.



Şekil 3.15: 4K-T3QW05 binası ön simülasyon çalışması sonuçları; (a):  $pbd_{i,max}$ , (b):  $ptai_{max}$  (c):  $pdri_{max}$

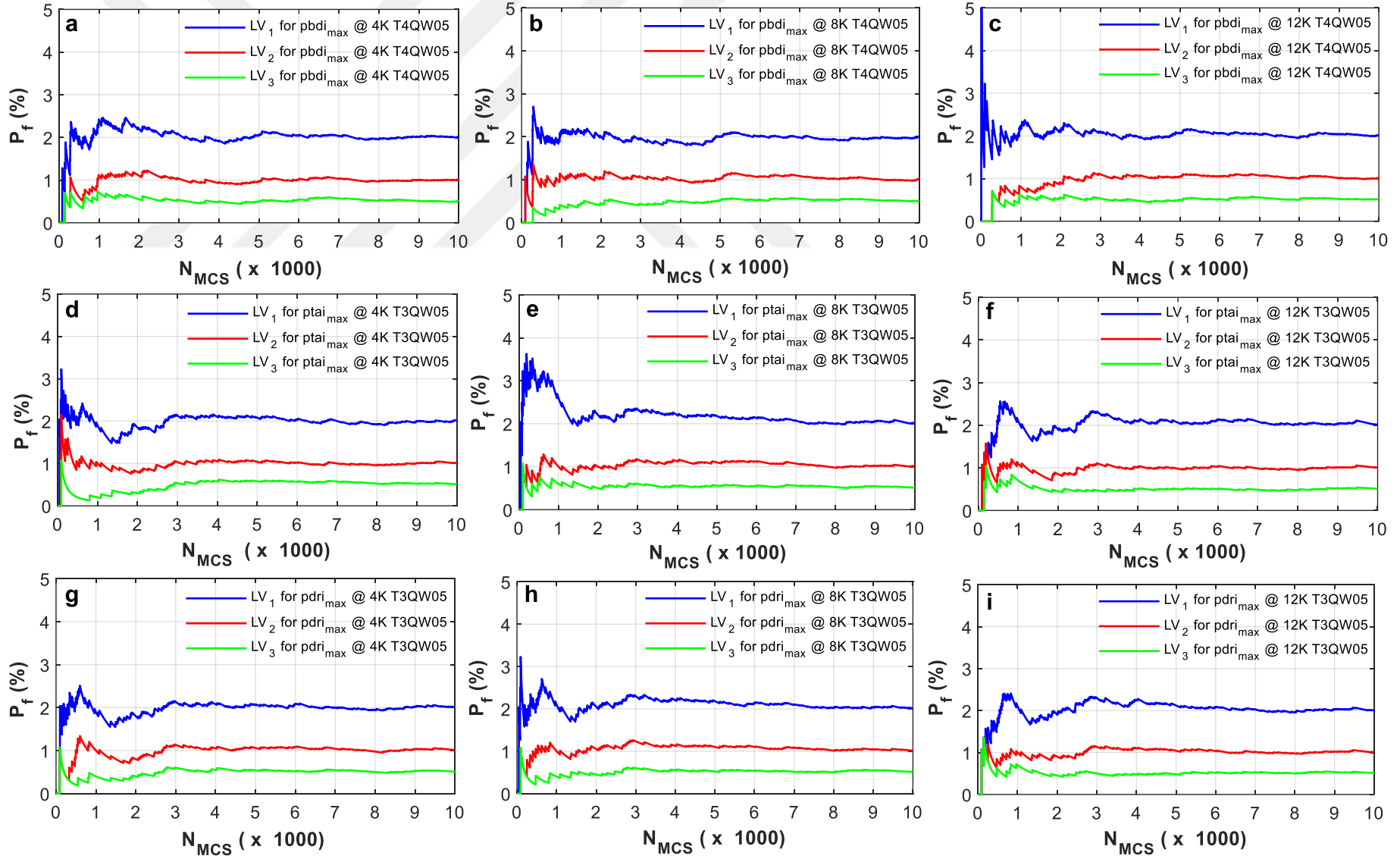
Çalışma kapsamındaki her bina için yapısal cevap parametrelerine ait tüm simülasyon sonuçlarının benzer şekilde elde edilmesinin ardından; bir sonraki aşamada yine her bina ve her cevap parametresi için  $CDF = F_X = \%98, \%99$  ve  $\%99.5$  gibi üç yüksek yüksek güvenilirlik seviyesine ya da bir başka deyişle, sırasıyla  $P_f = \%2, \%1$  ve  $\%0.5$  gibi düşük başarısızlık olasılığı seviyelerine karşılık gelen değerler (98. 99. ve 99,5. yüzdellik değerleri) tespit edilmiştir. 10.000 simülasyon için  $P_f = \%2, \%1$  ve  $\%0.5$  başarısızlık seviyelerine tekabül eden bu değerler, ilgili bina ve ilgili cevap parametresi için limit değerler (sırasıyla  $LV_1, LV_2$  ve  $LV_3$ ) olarak kabul edilmiştir. Söz konusu başarısızlık / güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen limit değerlerin tespiti, Şekil 3.15’deki 4K-T3QW05 binasının  $pbd_{i,max}$  parametresine ait CDF grafiği üzerinde gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde örnek teşkil etmesi amacıyla sadece  $P_f = \%2$  başarısızlık seviyesine (yani  $F_X = \%98$  güvenilirlik seviyesine) karşılık gelen limit değer (LV<sub>1</sub>) tespiti gösterilmiştir. Her binanın her yapısal cevap parametresinin  $P_f = \%2, \%1$  ve  $\%0.5$  başarısızlık seviyelerine karşılık gelen tüm  $LV_1, LV_2$  ve  $LV_3$  limit değerleri benzer şekilde elde edilmiştir.

Ön simülasyon çalışmasının son aşamasında ise, göz önünde bulundurulmuş binanın ilgili cevap parametresi için 10.000 simülasyona göre tespit edilen  $LV_1, LV_2$  ve  $LV_3$  limit değerlerinin, söz konusu bina analizi için daha az sayıda (1 ~ 9.999) simülasyon gerçekleştirilmesi halinde hangi

başarısızlık olasılığı ( $P_f$ ) seviyelerine karşılık geldiği hesaplanmış ve bu limit değerler için yaklaşık olarak aynı ( $P_f = \%2, \%1$  ve  $\%0.5$ ) başarısızlık/güvenilirlik seviyelerini verebilen en az simülasyon sayısı, yeterli Monte Carlo simülasyon sayısı ( $N_{MCS}$ ) olarak tespit edilmiştir.

Bu ön çalışma kapsamında analiz edilen 12 bina modeli arasından, en yüksek pik izolatör deplasmanlarının elde edildiği 4K-T4QW05, 8K-T4QW05 ve 12K-T4QW05 binaları ile en yüksek pik kat ivmelerinin ve en yüksek pik görelî kat öteleme oranlarının elde edildiği 4K-T3QW05, 8K-T3QW05 ve 12K-T3QW05 binaları örnek teşkil etmeleri amacıyla seçilmiş olup;  $pbdi_{max}$  parametresine ait  $LV_1, LV_2$  ve  $LV_3$  limit değerlerinin (10.000 simülasyonla tespit edilen) daha düşük simülasyon sayıları (1 ~ 9.999) için karşılık geldiği  $P_f$  değerlerinin değişimini gösteren grafikler, 4K-T4QW05, 8K-T4QW05 ve 12K-T4QW05 binaları için sırasıyla Şekil 3.16 – a, b, c’de verildiği gibi elde edilmiştir. Benzer şekilde,  $ptai_{max}$  parametresi için 4K-T3QW05, 8K-T3QW05 ve 12K-T3QW05 binalarından elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 3.16 – d, e, f’de verilirken;  $pdri_{max}$  parametresi için yine 4K-T3QW05, 8K-T3QW05 ve 12K-T3QW05 binalarından elde edilen grafikler, sırasıyla Şekil 3.16 – g, h, i’de verilmiştir. Bu grafikler, çalışma kapsamındaki 12 bina modelinin her bir yapısal cevap parametresi için ayrı ayrı elde edilmiş olup; burada yer kısıtı sebebiyle, örnek teşkil etmek amacıyla 4K-T3QW05, 8K-T3QW05 ve 12K-T3QW05 binalarına ait grafiklere yer verilmiştir.

Şekil 3.16’da verilen tüm grafiklerden görüldüğü üzere, tüm binaların ilgili yapısal cevap parametrelerine ( $pbdi_{max}, ptai_{max}$  ve  $pdri_{max}$ ) ait  $P_f$  yaklaşım grafiklerinde 2.000 simülasyona kadar ani sayılabilecek değişiklikler meydana gelmekte; ancak simülasyon sayısının artışına paralel olarak bu değişiklikler azalmaktadır. Simülasyon sayısının 3.000 ~ 10.000 aralığında olması halinde ise, önemli değişiklikler olmamakta ve 3.000 simülasyonun üzerinde  $P_f$  yaklaşım grafikleri neredeyse sabitlenmektedir. Dolayısıyla, tüm binalara ait ilgili yapısal cevap parametreleri için 10000 simülasyon gerçekleştirilerek tespit edilen  $LV_1, LV_2$  ve  $LV_3$  limit değerlerine karşılık gelen sırasıyla  $P_f = \%2, \%1$  ve  $\%0.5$  başarısızlık olasılığı seviyelerinin, simülasyon sayısının 3.000 alınması halinde yine aynı limit değerleri için ve yine aynı (ya da çok yakın) başarısızlık olasılıkları ile elde edilebildiği görülmüştür. Bu nedenle, bilgisayar analiz süreleri de göz önünde bulundurularak;  $N_{MCS} = 3.000$  alınması yeterli görülmüştür.



Şekil 3.16:  $N_{MCS}$  tespit için gerçekleştirilen ön simülasyon çalışması sonuçları; (a-c)  $p b d i_{max}$  için, (d-f):  $p t a i_{max}$  için, (g-i):  $p d r i_{max}$  için



## 4. BULGULAR

Çalışma kapsamında oluşturulan bina modelleri (Bkz. Bölüm 3.1, Bölüm 3.2 ve Tablo 3.4) için yine bu çalışma kapsamında üretilen yakın-fay yer hareketleri (Bkz. Bölüm 3.3 ve Tablo 3.4) etkisinde Monte Carlo simülasyonları dâhilinde gerçekleştirilen dinamik analizler ve bulguları ile ilgili detaylar, Bölüm 4.1’de verilmiştir. Bu dinamik analiz simülasyonlarıyla elde edilen yapısal cevap parametrelerini kullanılarak, söz konusu binaların izolasyon sistemi, titreşime duyarlı ekipman ve yapısal sistem bütünlüklerinin güvenilirlikleri açısından iki aşamalı olarak gerçekleştirilen güvenilirlik analizlerinden Birinci Aşama güvenilirlik analizlerine ait detaylar ve bulgular Bölüm 4.2.1’de; İkinci Aşama güvenilirlik analizlerine ait detaylar ve bulgular ise Bölüm 4.2.2’de verilmiştir.

### 4.1. DİNAMİK ANALİZLER

Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketi parametrelerindeki belirsizliklerin *birlikte* göz önünde bulundurulduğu bu çalışmada, Bölüm 3.1’de tarif edildiği gibi modellenen 4, 8 ve 12 katlı üstyapı modelleri ile bu üstyapı modellerinin her biri için ayrı ayrı olmak üzere Bölüm 3.2’de tarif edildiği gibi modellenen T3QW05, T3QW10, T4QW05, T4QW10 izolasyon sistemlerinden oluşan toplam 12 farklı taban izolasyonlu bina modelinin (4K-T3QW05, 4K-T3QW10, 4K-T4QW05, 4K-T4QW10; 8K-T3QW05, 8K-T3QW10, 8K-T4QW05, 8K-T4QW10; 12K-T3QW05, 12K-T3QW10, 12K-T4QW05, 12K-T4QW10) dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde Bölüm 3.3’de tarif edildiği gibi dört farklı nominal moment magnitüd seviyesi ( $M_{w,nom} = 6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$ ) ve üç farklı nominal fay mesafesi ( $r_{nom} = 3$  km,  $6$  km ve  $9$  km) için üretilen 12 farklı puls içeren yakın-fay yer hareketi durumu ( $M_{w6.50r3}, M_{w6.50r6}, M_{w6.50r9}; M_{w6.75r3}, M_{w6.75r6}, M_{w6.75r9}; M_{w7.00r3}, M_{w7.00r6}, M_{w7.00r9}; M_{w7.25r3}, M_{w7.25r6}, M_{w7.25r9}$ ) dikkate alınmıştır. Söz konusu dinamik analizler, 3DBASIS-MC-3U programı (Gazi vd., 2021, Bkz. Bölüm 3.5) vasıtasıyla Monte Carlo simülasyonları dâhilinde ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemi ile gerçekleştirilmiş olup; bu analizlerde yukarıda belirtilen 12 bina modelinin her biri, 12 yer hareketi durumunun her birine ayrı ayrı maruz bırakılmıştır. Bölüm 3.6’da yeterli Monte Carlo simülasyonu sayısının  $N_{MCS}=3.000$  olarak tespit edilmesi sebebiyle; bir yer hareketi etkisindeki bir bina modeli için 3.000 simülasyon kapsamında 3.000 doğrusal olmayan dinamik analiz

gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, çalışma kapsamındaki toplam 144 bina ve yer hareketi eşleşmesi için toplam 432.000 doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda, her bir bina modeli için her bir yer hareketi altında gerçekleştirilen 3.000 simülasyondan her i. simülasyon için elde edilen *pik izolatör deplasmanlarının maksimumu* ( $pbdi_{max}$ : i. simülasyona ait izolasyon sistemi içerisindeki 49 izolatöre ait pik deplasmanların maksimumu), *pik kat ivmelerinin maksimumu* ( $ptai_{max}$ : i. simülasyona ait binanın tüm kat seviyelerindeki pik toplam kat ivmelerinin maksimumu) ve *pik görelî kat ötelemelerinin maksimumu* ( $pdri_{max}$ : i. simülasyona ait binanın tüm katları dikkate alınarak hesaplanan pik görelî kat ötelemelerinin maksimumu) cevap parametreleri olarak elde edilmiştir. Üç farklı üstyapı esneklik seviyesine sahip 12 taban izolasyonlu bina için 12 yakın-fay yer hareketi durumu etkisinde elde edilen tüm  $pbdi_{max}$ ,  $pdri_{max}$  ve  $ptai_{max}$  parametrelerine ait grafikler ve bulgular, üstyapı esneklik seviyesi, izolasyon periyodu seviyesi ve izolasyon karakteristik kuvvet oranı seviyeleri ile deprem moment magnitüdü ve fay mesafesi seviyelerine göre karşılaştırmalı olarak, sırasıyla Bölüm 4.1.1, 4.1.2 ve 4.1.3’de verilmiş ve değerlendirilmiştir.

#### 4.1.1. Pik İzolatör Deplasmanlarının Maksimumları ( $pbdi_{max}$ )

Çalışma kapsamındaki izolasyon katı hariç 4 katlı (4K-T3QW05, 4K-T3QW10, 4K-T4QW05, 4K-T4QW10), 8 katlı (8K-T3QW05, 8K-T3QW10, 8K-T4QW05, 8K-T4QW10) ve 12 katlı (12K-T3QW05, 12K-T3QW10, 12K-T4QW05, 12K-T4QW10) bina modellerinin her biri için  $M_w=6.50$  depremleri ( $M_w6.50r3$ ,  $M_w6.50r6$ ,  $M_w6.50r9$ ) ile  $M_w=7.25$  depremlerinin ( $M_w7.25r3$ ,  $M_w7.25r6$ ,  $M_w7.25r9$ ) her biri altında gerçekleştirilen 3000 dinamik analiz simülasyonundan elde edilen *pik izolatör deplasmanlarının maksimumları*,  $pbdi_{max}$  (i. simülasyona ait izolasyon sistemi içerisindeki 49 izolatöre ait pik deplasmanların maksimumu) parametresine ait kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) grafikleri sırasıyla Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Öncelikle şunu belirtmek gerekir ki;  $M_w$ ,  $r$  ve  $Q/W$  değişimine bağlı olarak  $M_w=6.75$  ve  $7.00$  depremleri seviyelerindeki  $pbdi_{max}$  deplasman davranışlarının da benzer olması sebebiyle, burada en düşük ( $M_w = 6.50$ ) ve en yüksek ( $M_w = 7.25$ ) nominal moment magnitüdü depremlere ait CDF grafiklerine yer verilmiştir. Ancak, CDF grafikleriyle ilgili değerlendirmeler, %100 güvenilirlik seviyeleri ve maksimumu pozitif / negatif sapma yüzdeleriyle ilgili bulgular ve değerlendirmeler, aşağıda tüm deprem seviyeleri için sunulmuştur.

Şekil 4.1 ve 4.2’deki CDF grafiklerinden herhangi bir güvenilirlik seviyesine (Bkz. Şekil 3.15-a) karşılık gelen  $pbdi_{max}$  deplasmanlarını tespit etmek mümkündür. Söz konusu CDF

grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere;  $M_w$  seviyesinin artması,  $r$  seviyesinin azalması ve  $Q/W$  seviyesinin azalması halinde, her iki izolasyon periyodu seviyesi ( $T_{0,nom} = 3s$  ve  $4s$ ) ve her üç üstyapı esneklik seviyesi (4, 8 ve 12 katlı üstyapılar için sırasıyla düşük, orta ve yüksek) dahil olmak üzere, tüm bina modelleri için tüm güvenilirlik seviyelerindeki  $pbd_{max}$  talepleri artmaktadır.

Yine aynı CDF grafiklerinden görüldüğü üzere; tüm bina modelleri için  $T_{0,nom}$  seviyesinin artması halinde,  $M_w=6.50$  depremleri için  $pbd_{max}$  talepleri sınırlı düzeyde de olsa azalırken;  $M_w = 7.25$  depremleri için  $pbd_{max}$  talepleri,  $-(Q/W)_{nom} = \%5$  olan binalarda daha fazla olmak üzere- tüm binaların tüm güvenilirlik seviyeleri için artmaktadır. Diğer taraftan,  $M_w = 6.75$  ve  $7.00$  depremleri için  $pbd_{max}$  talepleri,  $T_{0,nom}$  seviyesine bağlı olarak tamamıyla aynı yönde belirli bir eğilimi olmayıp; artma veya azalma gösterdiği durumlar mevcuttur.

Ayrıca, söz konusu CDF grafiklerinden görüldüğü üzere; üstyapı esnekliğinin değişmesi halinde  $pbd_{max}$  taleplerinde önemli bir değişiklik olmamakta; aynı  $T_{0,nom}$  ve aynı  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip 4, 8 ve 12 katlı binaların aynı deprem seviyelerindeki  $pbd_{max}$  talepleri (birkaç simülasyon nedeniyle  $\%100$  güvenilirlik seviyelerindeki bazı ani değişimler hariç olmak üzere) tüm güvenilirlik seviyelerinde birbirlerine oldukça yakındırlar. Örneğin, tüm deprem seviyeleri ve tüm binalar göz önünde bulundurulduğunda;  $\%100$  güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen  $pbd_{max}$  talepleri, üstyapı kat sayısının 4'den 8'e çıkması halinde  $0.89\sim 1.12$  kat aralığında değişim gösterirken; kat sayısının 4'den 12'ye çıkması halinde  $0.84\sim 1.19$  kat aralığında değişim göstermektedir. Söz konusu üst sınır oranları, daha düşük güvenilirlik seviyeleri için daha düşük değerler almaktadır.

Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının incelenen binalarda sebep olabileceği en büyük  $pbd_{max}$  deplasman taleplerini görebilmek amacıyla, çalışma kapsamındaki 12 yer hareketi durumu etkisindeki 12 taban izolasyonlu bina modelinin  $\%100$  güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen  $pbd_{max}$  talepleri (diğer bir deyişle  $F_x = 1.0$ 'a karşılık gelen  $100$ . Yüzdelerlik\*  $pbd_{max}$  değerleri; \*P. yüzdelerlik değer tarifi için Bkz. Şekil 3.15 - a), hesaplanmış ve Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.3'deki tüm grafiklerden görüldüğü üzere, tüm bina modelleri için -kat sayısı ve izolasyon sistemi ayırt etmeksizin-  $\%100$  güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $pbd_{max}$  taleplerinin değerleri;  $M_w6.50r3$ ,  $M_w6.50r6$  ve  $M_w6.50r9$  depremleri için sırasıyla  $66\sim 95$  cm,  $37\sim 57$  cm,  $30\sim 44$  cm aralıklarında;  $M_w6.75r3$ ,  $M_w6.75r6$  ve  $M_w6.75r9$  depremleri için sırasıyla  $112\sim 165$  cm,  $66\sim 116$  cm,  $46\sim 78$  cm aralıklarında;  $M_w7.00r3$ ,  $M_w7.00r6$  ve  $M_w7.00r9$  depremleri için sırasıyla  $191\sim 299$  cm,

108~200 cm, 81~144 cm aralıklarında iken; Mw7.25r3, Mw7.25r6 ve Mw7.25r9 depremleri için ise, yine sırasıyla 348~591 cm, 193~405 cm, 119~276 cm aralıklarındadır.

Görüldüğü üzere; tüm binaların tüm  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  depremleri için % 100 güvenilirlik seviyelerindeki  $pbd_{i_{max}}$  izolator deplasman talepleri, uygulamada yaygın olarak kullanılan izolatorlerin (Örn.  $\phi 80$  cm) burkulma/yırtılma durumlarına karşılık gelen azami deformasyon seviyelerindeki deplasman kapasitelerini (55~80 cm, Pan vd. , 2005) tamamıyla aşmaktadır. Özellikle  $(Q/W)_{nom} = \%5$  olan binaların tüm  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  depremlerine maruz kalmaları halinde,  $(Q/W)_{nom} = \%10$  olan binaların ise, Mw7.00r9 hariç diğer tüm  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  depremlerine maruz kalmaları halinde, % 100 güvenilirlik seviyesi için izolator deplasman talepleri, yukarıda belirtilen azami deformasyon seviyelerindeki deplasman kapasitelerinin oldukça üzerindedir. Bu nedenle, üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumunda,  $r = 3, 6, 9$  km olmak üzere  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  depremlerine maruz kalabilecek  $T_{0,nom} = 3$  s ve  $4$  s olan taban izolasyonlu bina modellerinde  $(Q/W)_{nom} = \%10$  olması halinde dahi, izolator deplasmanları açısından %100 güvenilirlik seviyelerinin yaygın kullanılan izolatorler aracılığıyla karşılanması mümkün görünmemektedir.

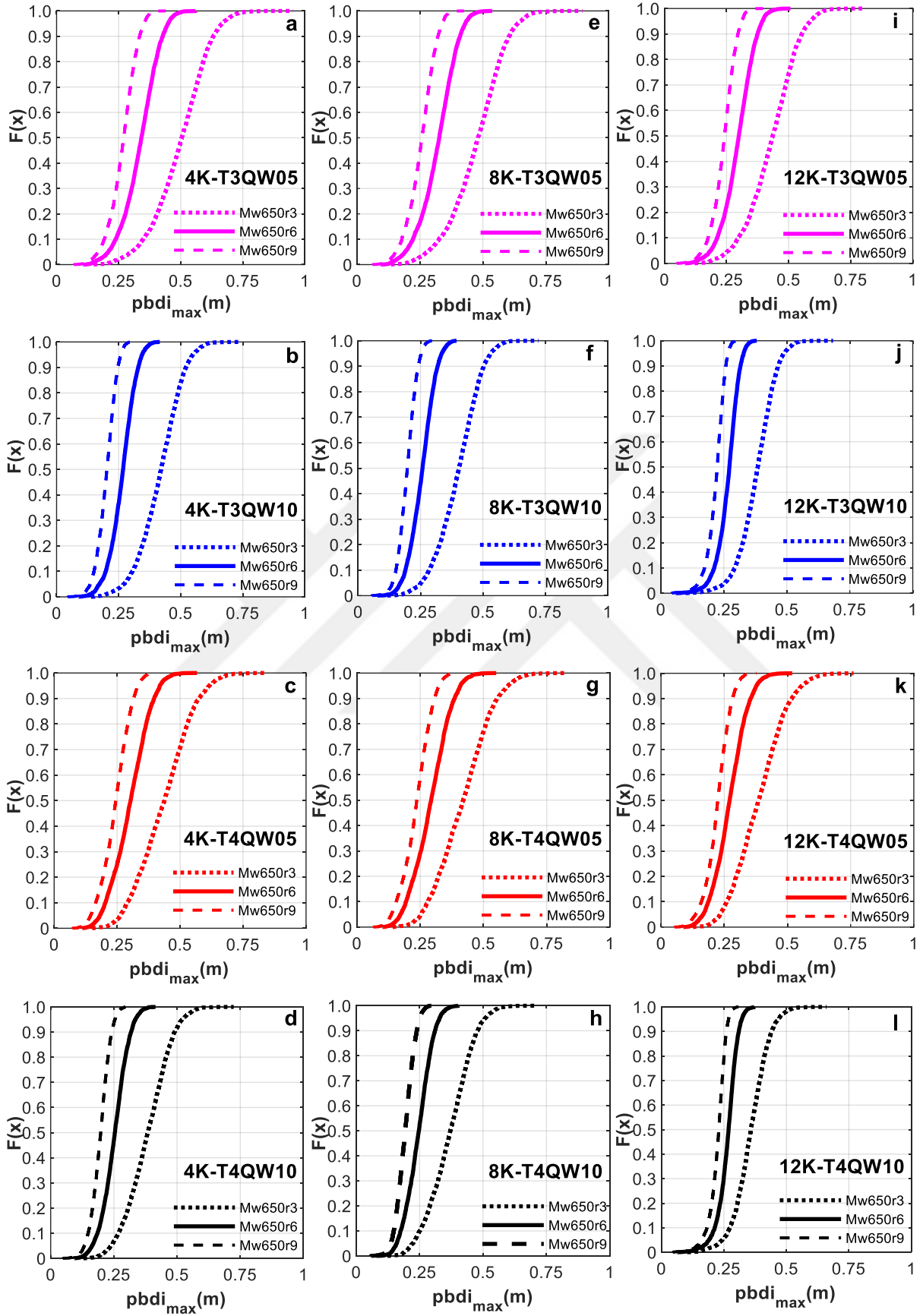
Ayrıca şunu da belirtmek gerekir ki, Şekil 4.2'den görüldüğü üzere; %80 güvenilirlik seviyelerine karşılık  $pbd_{i_{max}}$  talepleri, en düşük izolator deplasmanlarının meydana geldiği T3QW10 izolasyon sistemli binalarda dahi Mw7.25r3, Mw7.25r6 depremleri için sırasıyla yaklaşık 1 m ve 2 m seviyelerindedir.

Diğer taraftan, tüm  $M_w = 6.50$  ve  $6.75$  depremleri (Mw6.75r3 hariç) etkisinde  $(Q/W)_{nom} = \%10$  olan binalarda %100 güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen izolator deplasman talepleri, yaygın kullanılan izolatorle karşılanabilmekte iken;  $(Q/W)_{nom} = \%5$  olan binalarda söz konusu deplasman taleplerinin Mw6.50r6, Mw6.50r9 ve Mw6.75r9 deplasmanları haricinde 80 cm seviyesini aştığı görülmektedir.

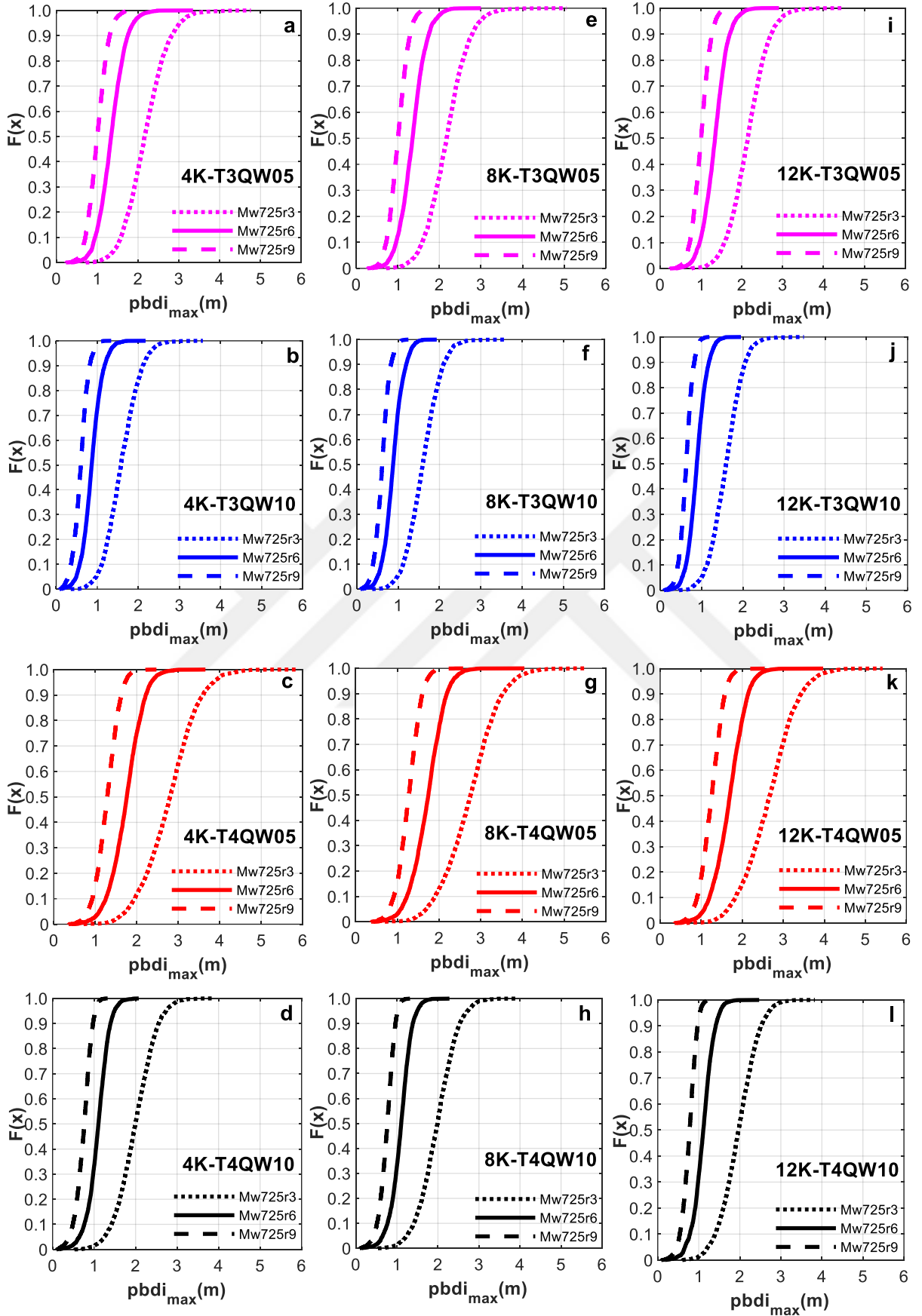
Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının  $pbd_{i_{max}}$  deplasman talepleri üzerinde pozitif ve negatif yöndeki en büyük etkilerini oransal olarak görebilmek amacıyla; çalışma kapsamındaki her taban izolasyonlu bina modeli için her yer hareketi etkisinde gerçekleştirilen  $N_{MCS}=3.000$  simülasyonla elde edilen  $pbd_{i_{max}}$  deplasmanlarının, nominal değerlerine (üç belirsizlik kaynağının hiç birinin dikkate alınmaması durumundaki değerleri) göre maksimum pozitif ve negatif sapma yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu

sapma yüzdeleri, 12 deprem seviyesi için ayrı ayrı olmak üzere T3QW05, T3QW10, T4QW05 ve T4QW10 izolasyon sistemlerine sahip tüm binalar için sırasıyla, Şekil 4.4 – a, b, c ve d’de verilmiştir.

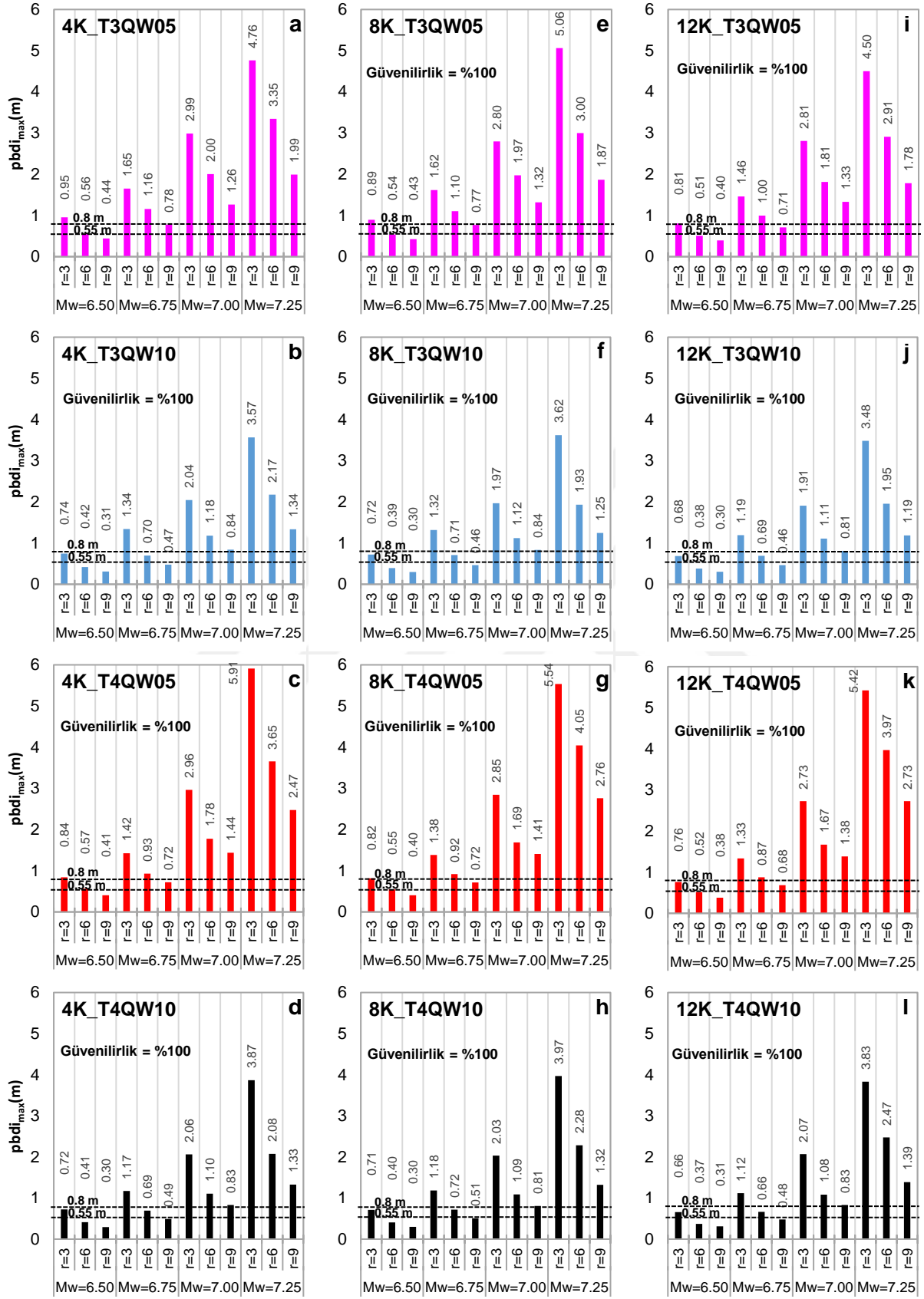
Şekil 4.4’deki grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere; aynı  $T_{0,nom}$  ve  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip 4, 8 ve 12 katlı binaların aynı deprem seviyesindeki  $pbd_{max}$  deplasmanlarının nominal değerlerine göre maksimum pozitif ve negatif sapma yüzdeleri, -özellikle  $M_w = 6.50, 6.75$  ve  $7.00$  depremleri için- birbirlerine oldukça yakındırlar. Yani, üstyapı esnekliğinin  $pbd_{max}$  deplasmanlarının nominal değerlerine göre maksimum pozitif ve negatif sapma yüzdeleri üzerindeki etkileri, -özellikle  $M_w = 6.50, 6.75$  ve  $7.00$  depremleri için- sınırlı düzeydedir. Yine Şekil 4.4’den görüldüğü üzere, üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu;  $T_{0,nom} = 3$  s ve  $4$  s,  $(Q/W)_{nom} = \%5$  ve  $\%10$  olan taban izolasyonlu binaların  $pbd_{max}$  deplasmanlarının nominal değerlerine göre -üstyapı esnekliği ve izolasyon sistemi ayırımı yapmaksızın-  $M_w = 6.50, 6.75, 7.00, 7.25$  deprem seviyelerinde sırasıyla  $\%27\sim\%74$ ,  $\%43\sim\%82$ ,  $\%42\sim\%84$  ve  $\%66\sim\%149$  aralığında değişen maksimum pozitif sapmalar yapmasına sebep olurken; -üstyapı esnekliği, izolasyon sistemi ve ayrıca deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın-  $-\%65 \sim -\%90$  aralığında değişen maksimum negatif sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.1:  $M_w = 6.50$  depremleri için pik izolator deplasmanlarının maksimumlarına ( $pbdi_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda

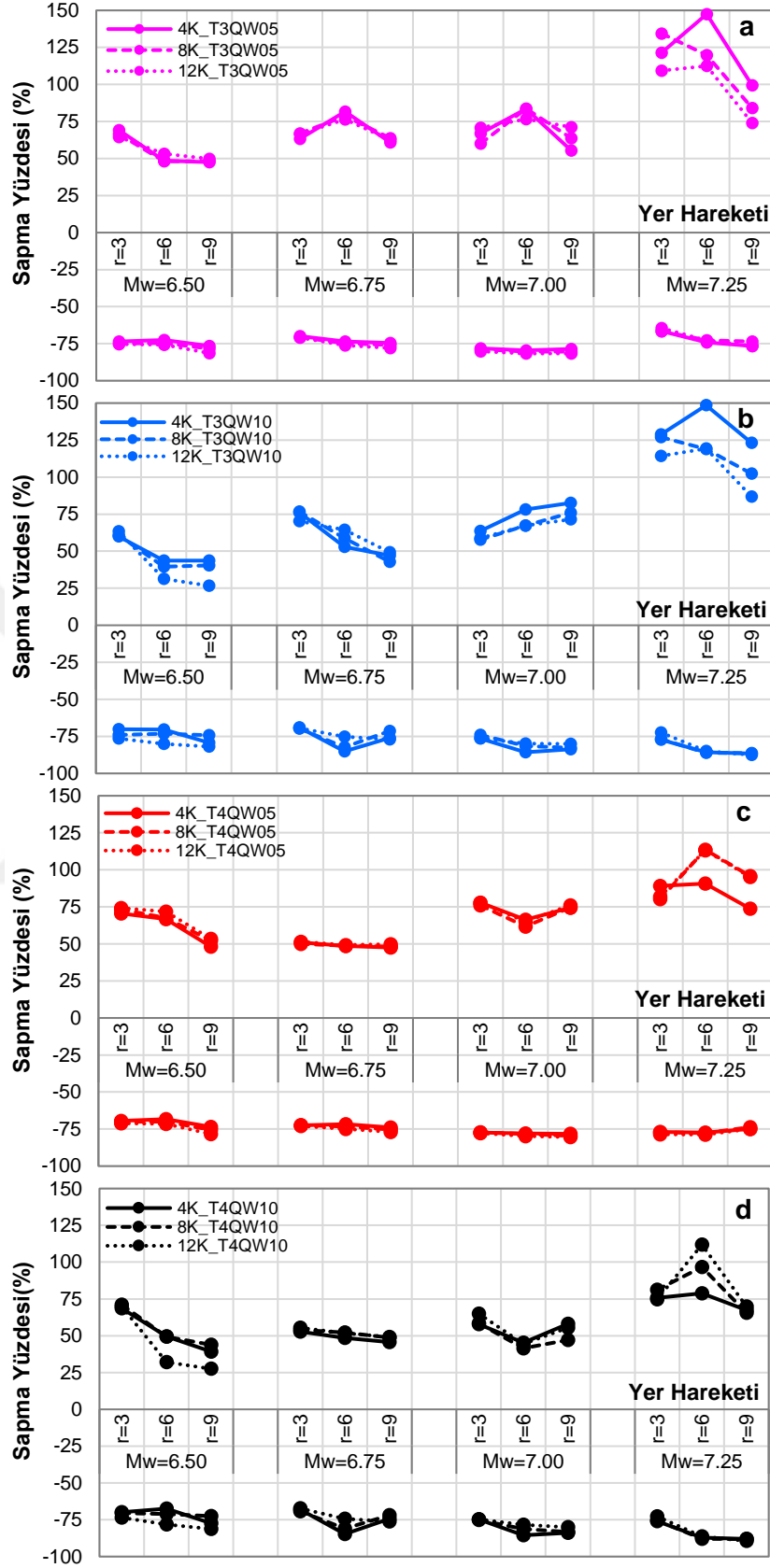


Şekil 4.2:  $M_w = 7.25$  depremleri için pik izolatör deplasmanlarının maksimumlarına ( $pbdi_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda



Şekil 4.3: Pik izolatör deplasmanlarının maksimumlarına ( $pbdi_{max}$ ) ait 100. yüzdelik değer grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda (uygulamada yaygın kullanılan izolatör deplasman kapasiteleri ile karşılaştırmalı olarak)





Şekil 4.4: Pik izolatör deplasmanlarının maksimumları ( $pbd_{i_{max}}$ ) için maksimum pozitif sapma ve maksimum negatif sapma yüzdeleri; (a): T3QW05, (b): T3QW10, (c): T4QW05, (d): T4QW10 izolasyon sistemli binalarda

#### 4.1.2. Pik Görelî Kat Öteleme Oranlarının Maksimumları ( $pdri_{max}$ )

Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumunda modellenen 4 katlı, 8 katlı ve 12 katlı üstyapılara sahip taban izolasyonlu binalar için tüm  $M_w=6.50$  ve  $M_w=7.25$  depremleri etkisinde gerçekleştirilen dinamik analiz simülasyonlarından elde edilen *pik görelî kat öteleme oranlarının maksimumları*,  $pdri_{max}$  (i. simülasyona ait binanın tüm katları göz önünde bulundurularak hesaplanan pik görelî kat öteleme oranlarının maksimumu) parametresine ait CDF grafikleri sırasıyla Şekil 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.  $M_w$ ,  $r$  ve  $T_{0,nom}$  değişimine bağılı olarak  $M_w = 6.75$  ve  $7.00$  deprem seviyelerindeki  $pdri_{max}$  görelî kat öteleme oranlarının davranışlarının da benzer olması sebebiyle, burada en düşük ( $M_w = 6.50$ ) ve en yüksek ( $M_w = 7.25$ ) nominal moment magnitüdü depremlere ait CDF grafiklerine yer verilmiştir. Ancak, Bölüm 4.1.1’de olduğu gibi, CDF grafikleriyle ilgili değerlendirmeler, %100 güvenilirlik seviyeleri ve maksimum pozitif / negatif sapma yüzdeleriyle ilgili bulgular ve değerlendirmeler yine tüm deprem seviyeleri için aşağıda sunulmuştur.

Şekil 4.5 ve 4.6’daki tüm grafiklerden herhangi bir güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $pdri_{max}$  görelî kat öteleme oranlarını, tespit etmek mümkündür. Söz konusu CDF grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere;  $M_w$  seviyesinin artması,  $r$  seviyesinin azalması ve  $T_{0,nom}$  seviyesinin azalması halinde, her iki nominal izolasyon sistemi karakteristik dayanım seviyesi ( $(Q/W)_{nom} = \%5$  ve  $\%10$ ) ve her üç üstyapı esneklik seviyesi (4, 8 ve 12 katlı üstyapılar için sırasıyla düşük, orta ve yüksek) dahil olmak üzere, tüm bina modelleri için tüm güvenilirlik seviyelerindeki  $pdri_{max}$  talepleri artmaktadır.

Ayrıca, yine bu CDF grafiklerinden görüldüğü üzere; aynı  $T_{0,nom}$  ve aynı  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip binalar için üstyapı esnekliğinin artması halinde, aynı deprem seviyeleri için tüm güvenilirlik seviyelerindeki  $pdri_{max}$  talepleri, izolatör deplasman taleplerinin (Bölüm 4.1.1) aksine büyük oranda artmaktadır. Örneğin, tüm deprem seviyeleri ve tüm binalar göz önünde bulundurulduğunda; %100 güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen  $pdri_{max}$  talepleri, üstyapı kat sayısının 4’den 8’e çıkması halinde 1.97~2.51 kat aralığında artış gösterirken; kat sayısının 4’den 12’ye çıkması halinde 3.04~3.98 kat aralığında artış göstermektedir.

Çalışma kapsamında göz önünde bulundurulan üç belirsizlik kaynağının birlikte dikkate alınmasının incelenen binalarda sebep olabileceği en büyük  $pdri_{max}$  görelî kat öteleme oranlarını tespit edebilmek amacıyla, ele alınan 12 yer hareketi etkisindeki 12 taban izolasyonlu bina

modelinin %100 güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen  $pdri_{max}$  talepleri hesaplanmış ve Şekil 4.7'de sunulmuştur. Şekil 4.7- (a-d)'deki grafiklerden görüldüğü üzere, %100 güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $pdri_{max}$  talepleri,  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$  depremleri etkisindeki 4 katlı binalar için sırasıyla  $0.0010\sim 0.0031, 0.0015\sim 0.0052, 0.0021\sim 0.0095$  ve  $0.0029\sim 0.0140$  aralıklarında yer almakta iken; 8 katlı binalar (Şekil 4.7- (e-f)) için sırasıyla  $0.0023\sim 0.0067, 0.0033\sim 0.0116, 0.0045\sim 0.0191$  ve  $0.0063\sim 0.0336$  aralıklarında olup; 12 katlı binalarda (Şekil 4.7-(i-l)) yine aynı depremler için  $0.0035\sim 0.0094, 0.0050\sim 0.0162, 0.0072\sim 0.0301$  ve  $0.0103\sim 0.0470$  aralıklarında yer almaktadır.

Şekil 4.7- (a-d)'den görüldüğü üzere; 4 katlı binaların %100 güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $pdri_{max}$  talepleri, neredeyse tüm  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$  depremleri etkisinde  $0.01$ 'ten düşük değerler almaktadır ( $M_w7.25r3$  depremi etkisindeki  $T_{0,nom} = 3$  s olan 4 katlı binalar hariç). Yani neredeyse tüm ele alınan depremler etkisinde 4 katlı binalarda taşıyıcı elemanlar için sınırlı hasar performans seviyesi (Bkz. Bölüm 4.2.1.2) %100 güvenilirlikle sağlanabilmektedir.

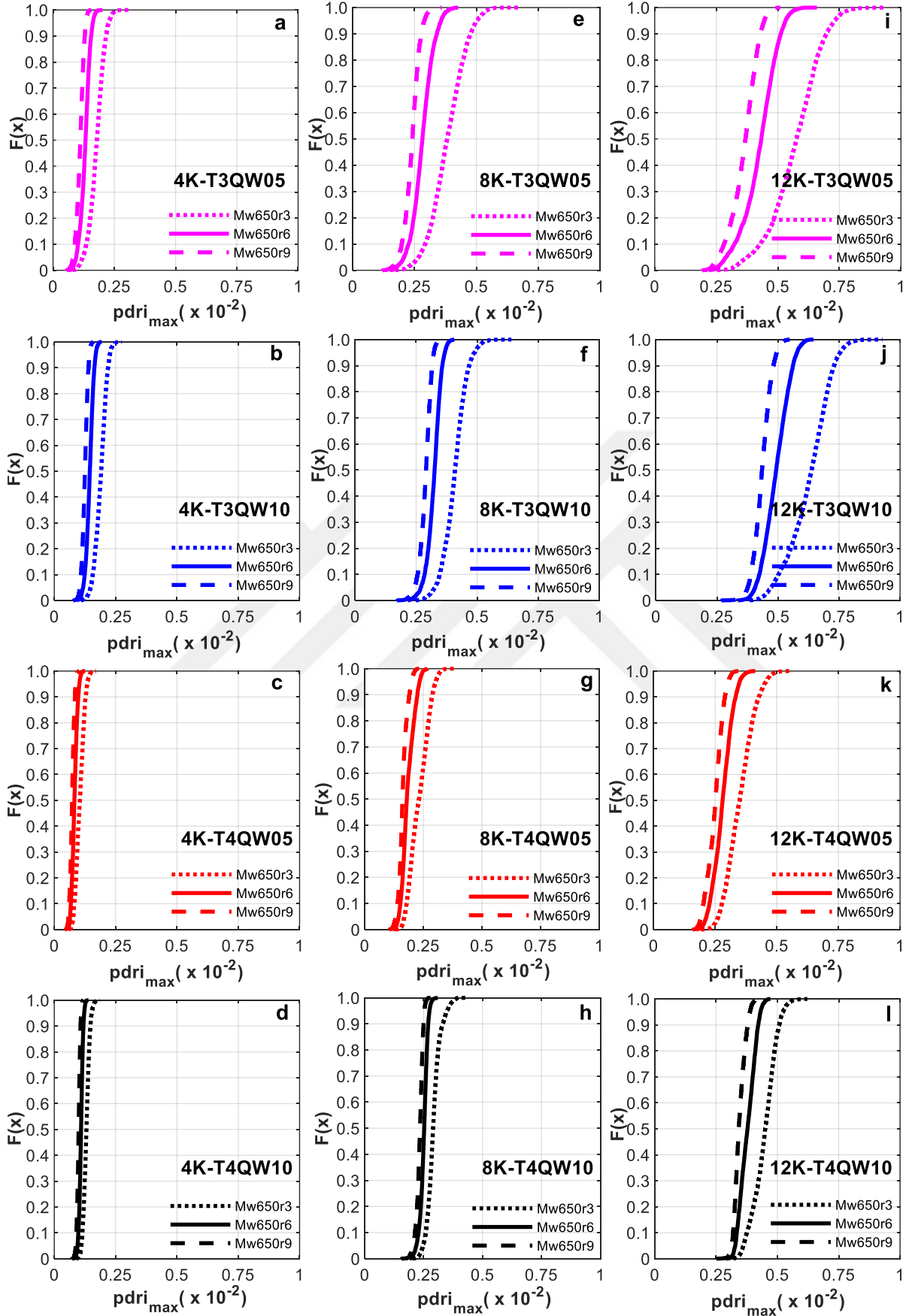
Şekil 4.7- (e-h)'den görüldüğü üzere; 8 katlı binaların %100 güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $pdri_{max}$  talepleri, neredeyse tüm  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri etkisinde  $0.01$  altında değerler almaktadır ( $M_w6.75r3$  depremi etkisindeki  $T_{0,nom} = 3$  s olan 8 katlı binalar hariç). Diğer taraftan, neredeyse tüm 8 katlı binalarda  $M_w=7.25$  depremleri etkisinde  $0.01$  değeri de aşılmaktadır ( $M_w7.25r9$  etkisindeki  $(Q/W)_{nom} = \%10$  olan binalar hariç).

Şekil 4.7- (i-l)'den görüldüğü üzere; 12 katlı binaların %100 güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $pdri_{max}$  talepleri, neredeyse tüm  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri etkisinde  $0.01$  altında değerler almaktadır ( $M_w6.75r3$  depremi etkisindeki  $T_{0,nom} = 3$  s olan 12 katlı binalar hariç). Diğer taraftan, tüm 12 katlı binalarda tüm  $M_w=7.25$  depremleri etkisinde  $0.01$  tamamıyla aşılmakta olup; neredeyse tüm 12 katlı binalarda  $M_w=7.25$  depremleri etkisinde kontrollü hasar performans seviyesi olan  $0.015$  de (Bkz. Bölüm 4.2.1.2) aşılmaktadır ( $M_w7.25r9$  etkisindeki  $(Q/W)_{nom} = \%10$  olan binalar hariç).

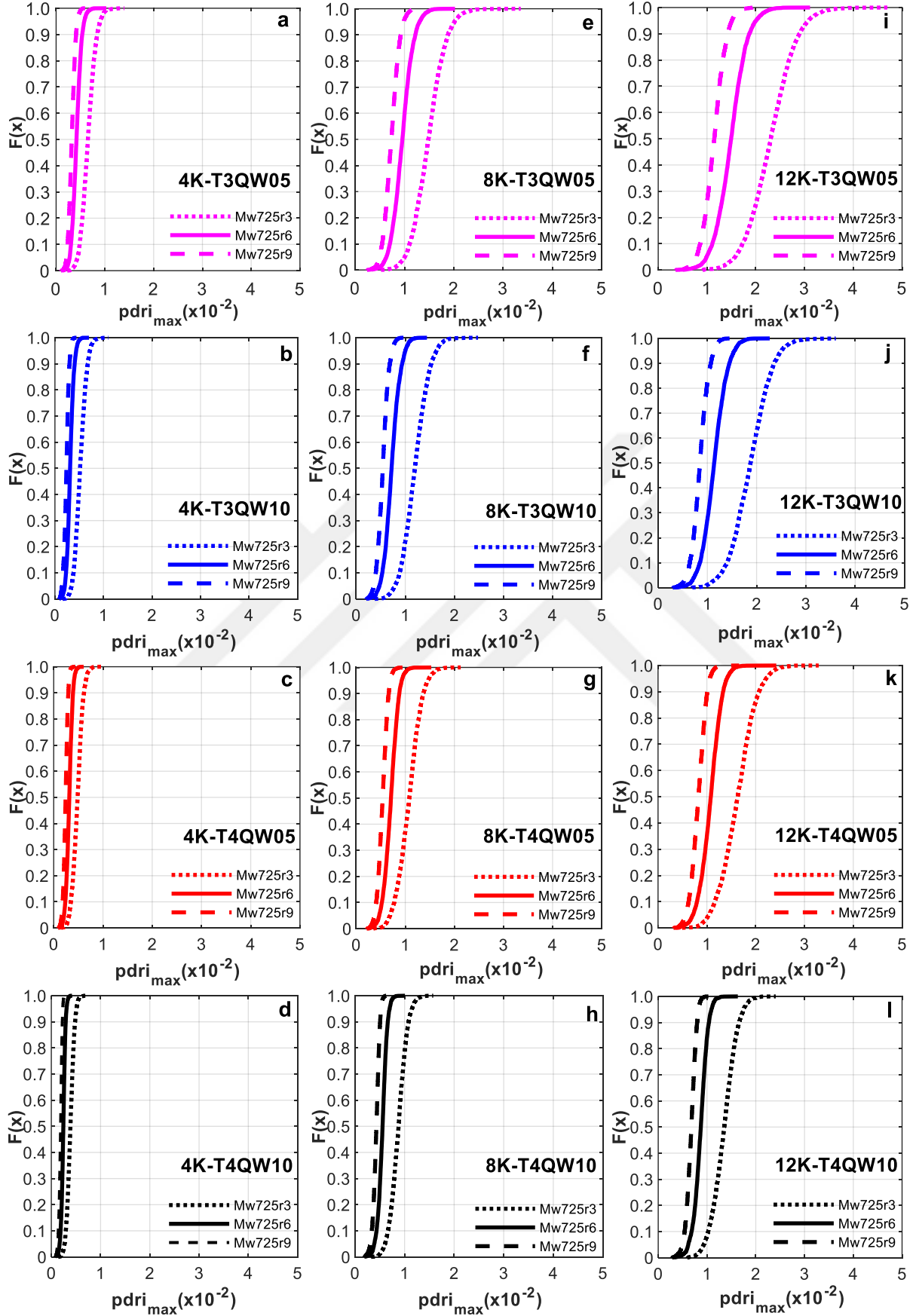
Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının  $pdri_{max}$  talepleri üzerinde pozitif ve negatif yöndeki en büyük etkilerini oransal olarak görebilmek amacıyla; çalışma kapsamındaki her taban izolasyonlu bina modeli için her yer hareketi etkisinde gerçekleştirilen  $N_{MCS}=3.000$  simülasyonla elde edilen  $pdri_{max}$  göreceli kat öteleme oranlarının da nominal değerlerine göre maksimum pozitif ve negatif sapma yüzdeleri

hesaplanmıştır. Bu sapma yüzdeleri, 12 deprem seviyesi için ayrı ayrı olmak üzere T3QW05, T3QW10, T4QW05 ve T4QW10 izolasyon sistemlerine sahip binalar için sırasıyla, Şekil 4.8 – a, b, c ve d’de verilmiştir.

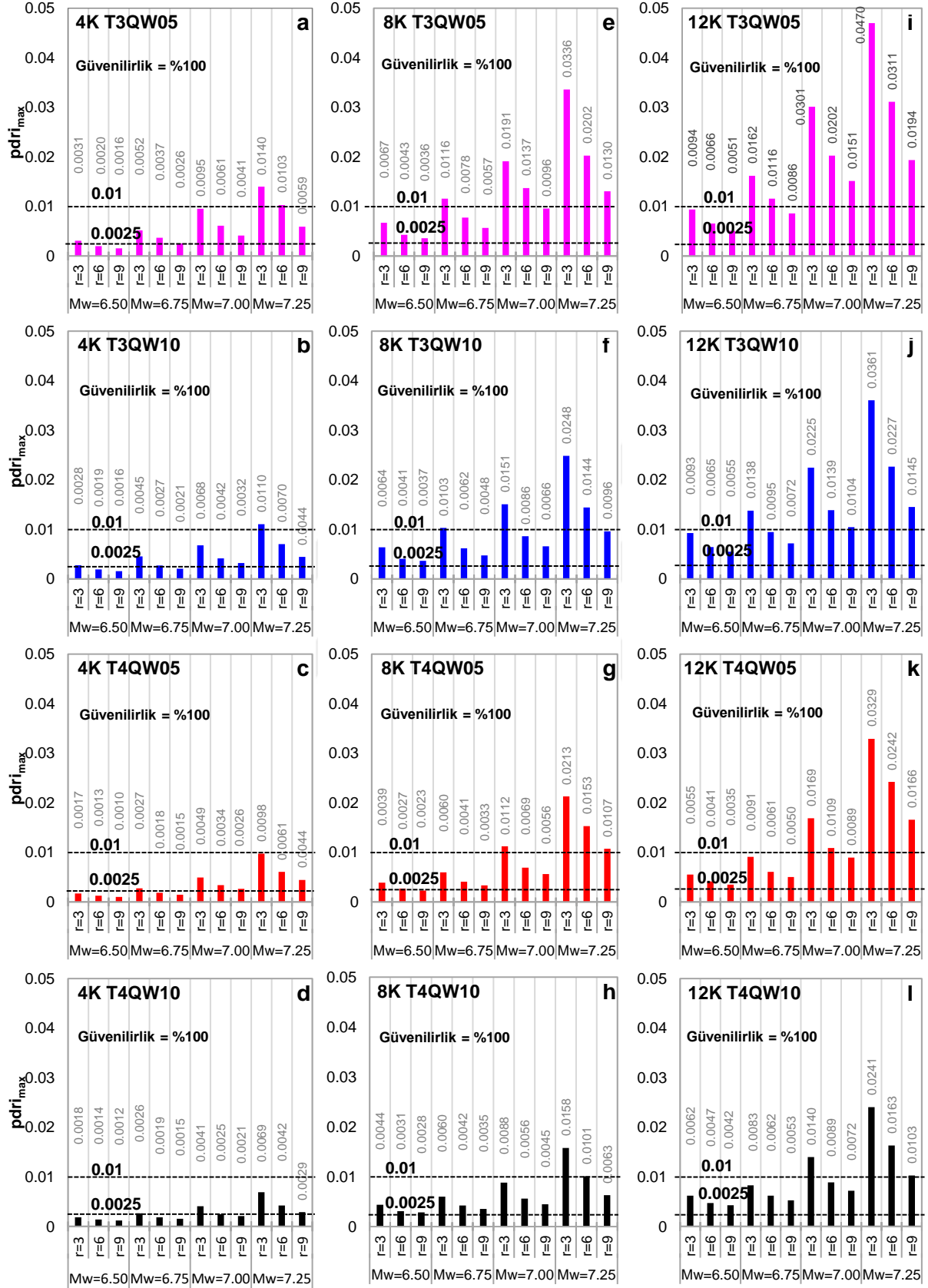
Şekil 4.8’deki grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere; aynı  $T_{0,nom}$  ve  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip 4, 8 ve 12 katlı binaların aynı deprem seviyesindeki  $pdri_{max}$  taleplerinin nominal değerlerine göre maksimum pozitif ve negatif sapma yüzdeleri,  $pbdi_{max}$  deplasmanlarının (Şekil 4.4) davranışına benzer şekilde, -özellikle  $M_w = 6.50, 6.75$  ve  $7.00$  depremleri için- birbirlerine oldukça yakındırlar. Yani, Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7’den görüldüğü üzere üstyapı esnekliği  $pdri_{max}$  talepleri üzerinde etkili olmasına rağmen, söz konusu  $pdri_{max}$  taleplerinin nominal değerlerine göre maksimum pozitif ve negatif sapma yüzdeleri üzerindeki etkileri, -özellikle  $M_w = 6.50, 6.75$  ve  $7.00$  depremleri için- sınırlı düzeydedir. Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu;  $T_{0,nom} = 3$  ve  $4$  s,  $(Q/W)_{nom} = \%5$  ve  $10$  olan taban izolasyonlu binaların  $pdri_{max}$  taleplerinin nominal değerlerine göre -üstyapı esnekliği ve izolasyon sistemi ayırımı yapmaksızın-  $M_w = 6.50, 6.75, 7.00, 7.25$  deprem seviyelerinde sırasıyla  $\%17 \sim \%60, \%21 \sim \%70, \%30 \sim \%77, \%41 \sim \%144$  aralığında değişen maksimum pozitif sapmalar yapmasına sebep olurken; -üstyapı esnekliği, izolasyon sistemi ve ayrıca deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın-  $-\%27 \sim -\%75$  aralığında değişen maksimum negatif sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.



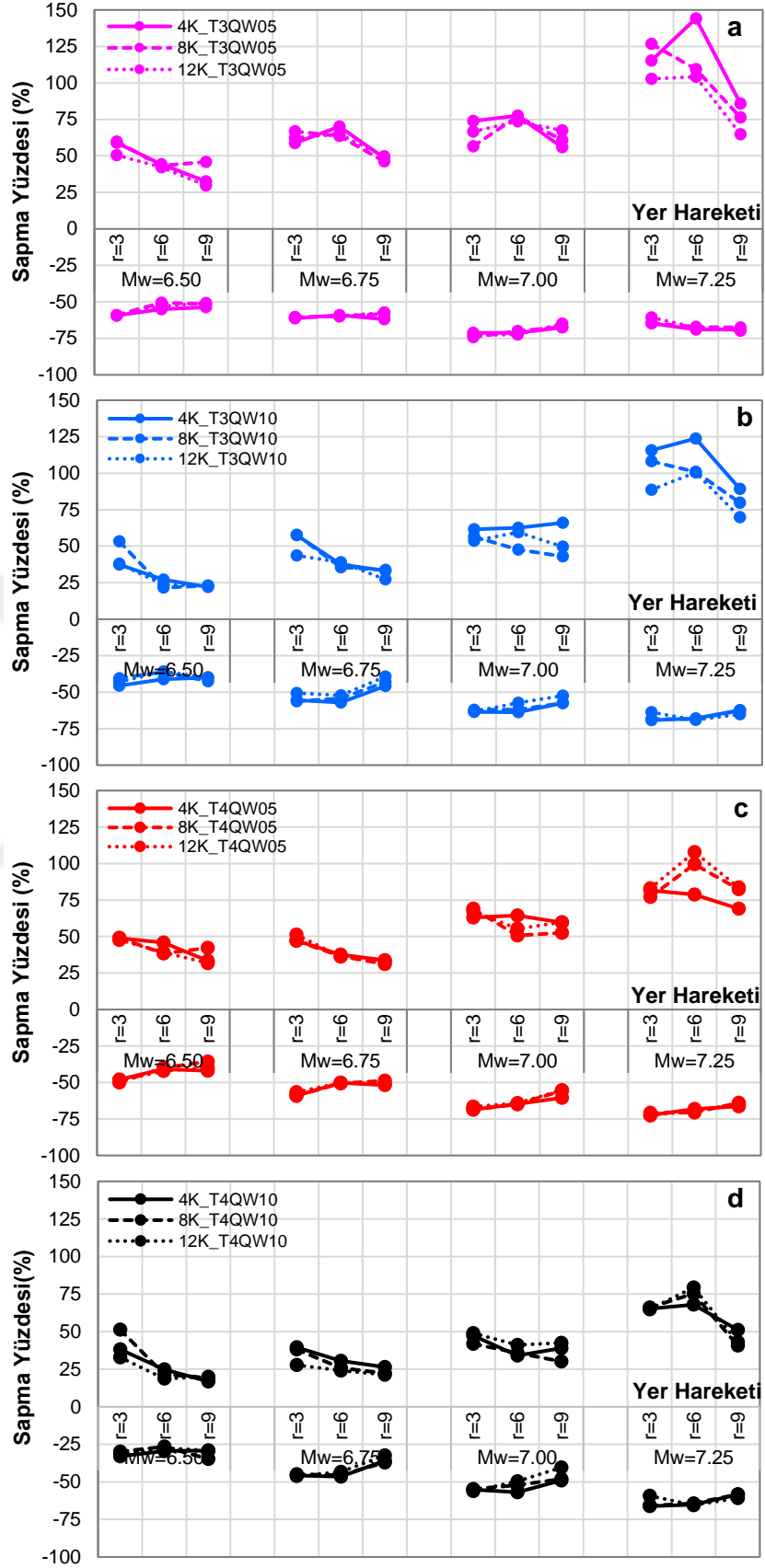
Şekil 4.5:  $M_w = 6.50$  depremleri için pik görece kat öteleme oranlarının maksimumlarına ( $pdri_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda



Şekil 4.6:  $M_w = 7.25$  depremleri için pik görelî kat öteleme oranlarının maksimumlarına ( $pdri_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda



Şekil 4.7: Pik görel kat öteleme oranlarının maksimumlarına ( $pdri_{max}$ ) ait 100. yüzdeler değeri grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda



Şekil 4.8: Pik görel kat öteleme oranlarının maksimumları ( $pdri_{max}$ ) için maksimum pozitif sapma ve maksimum negatif sapma yüzdeleri; (a): T3QW05, (b): T3QW10, (c): T4QW05, (d): T4QW10 izolasyon sistemli binalarda



### 4.1.3. Pik Toplam Kat İvmelerinin Maksimumları ( $ptai_{max}$ )

Çalışma kapsamında modellenen izolasyon katı hariç 4 katlı, 8 katlı ve 12 katlı binaların her biri için  $M_w=6.50$  ve  $M_w=7.25$  depremlerinin her biri etkisinde gerçekleştirilen 3000 dinamik analiz simülasyonundan elde edilen *pik toplam kat ivmelerinin maksimumları*,  $ptai_{max}$  (i. simülasyona ait binanın tüm kat seviyelerindeki pik toplam kat ivmelerinin maksimumu) parametresine ait CDF grafikleri sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10'da verilmiştir.  $M_w$ ,  $r$  ve  $T_{0,nom}$  değişimine bağlı olarak  $M_w = 6.75$  ve  $7.00$  deprem seviyelerindeki  $ptai_{max}$  kat ivmelerinin davranışlarının da benzer olması sebebiyle, burada en düşük ( $M_w = 6.50$ ) ve en yüksek ( $M_w = 7.25$ ) nominal moment magnitudü depremlere ait CDF grafiklerine yer verilmiştir. Ancak, Bölüm 4.1.1 ve 4.1.2'de olduğu gibi, söz konusu CDF grafikleriyle ilgili değerlendirmeler, %100 güvenilirlik seviyeleri ve maksimum pozitif / negatif sapma yüzdeleriyle ilgili bulgular ve değerlendirmeler tüm deprem seviyeleri için sunulmuştur.

Şekil 4.9 ve 4.10'daki grafiklerden herhangi bir güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $ptai_{max}$  kat ivmelerini tespit etmek mümkündür. Söz konusu grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere;  $M_w$  seviyesinin artması,  $r$  seviyesinin azalması ve  $T_{0,nom}$  seviyesinin azalması halinde, her iki nominal karakteristik dayanım seviyesi ( $(Q/W)_{nom} = \%5$  ve  $\%10$ ) ve her üç üstyapı esneklik seviyesi (4, 8 ve 12 katlı üstyapılar için sırasıyla düşük, orta ve yüksek) dahil olmak üzere, ele alınan tüm bina modelleri için tüm güvenilirlik seviyelerindeki  $ptai_{max}$  kat ivmeleri,  $pdri_{max}$  görelî kat öteleme oranlarına (Bkz. Şekil 4.5 ve 4.6) benzer şekilde artmaktadır.

Yine,  $ptai_{max}$  kat ivmelerine ait CDF grafiklerinden görüldüğü üzere; aynı  $T_{0,nom}$  değerlerine sahip binalar için  $(Q/W)_{nom}$  seviyesinin artması halinde,  $ptai_{max}$  kat ivmeleri  $M_w=6.50$  depremleri etkisinde artarken;  $M_w=7.25$  depremleri etkisinde azalmaktadır. Diğer taraftan,  $M_w=6.75$  ve  $7.00$  depremleri etkisinde elde edilen  $ptai_{max}$  kat ivmelerinin  $(Q/W)_{nom}$  seviyesine bağlı olarak tamamıyla aynı yönde belirli bir eğilimi olmayıp; artma veya azalma gösterdiği durumlar mevcuttur.

Ayrıca, yine Şekil 4.9 ve 4.10'daki CDF grafiklerinden görüldüğü üzere; aynı  $T_{0,nom}$  ve aynı  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip binalar için üstyapı esnekliğinin artması halinde, aynı deprem seviyeleri için tüm güvenilirlik seviyelerindeki  $ptai_{max}$  kat ivmeleri,  $-pdri_{max}$  görelî kat öteleme oranlarına (Bkz. Şekil 4.5 ve 4.6) nispeten daha az olmakla birlikte- artmaktadır. Örneğin, tüm deprem seviyeleri ve tüm binalar göz önünde bulundurulduğunda; %100 güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen  $ptai_{max}$  kat ivmeleri, üstyapı kat sayısının 4'den 8'e çıkması halinde

1.00~2.11 kat aralığında artış gösterirken; 4' den 12'ye çıkması halinde 1.01~2.82 kat aralığında artış göstermektedir. Bunlardan  $M_w=7.00$  depremleri etkisinde elde edilenler, en yüksek artışlar iken;  $M_w=7.25$  depremleri etkisinde meydana gelenler ise en düşükleridir. Diğer taraftan, %100 güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen  $ptai_{max}$  kat ivmeleri,  $M_w=7.25$  depremleri etkisindeki birçok durumda üstyapı esnekliğinden neredeyse hiç etkilenmemektedir.

İncelenen binalarda üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının sebep olabileceği en büyük  $ptai_{max}$  kat ivmelerini tespit edebilmek amacıyla, çalışma kapsamındaki 12 yer hareketi durumu etkisindeki 12 taban izolasyonlu bina modelinin %100 güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen  $ptai_{max}$  kat ivmeleri hesaplanmış ve Şekil 4.11'de sunulmuştur.

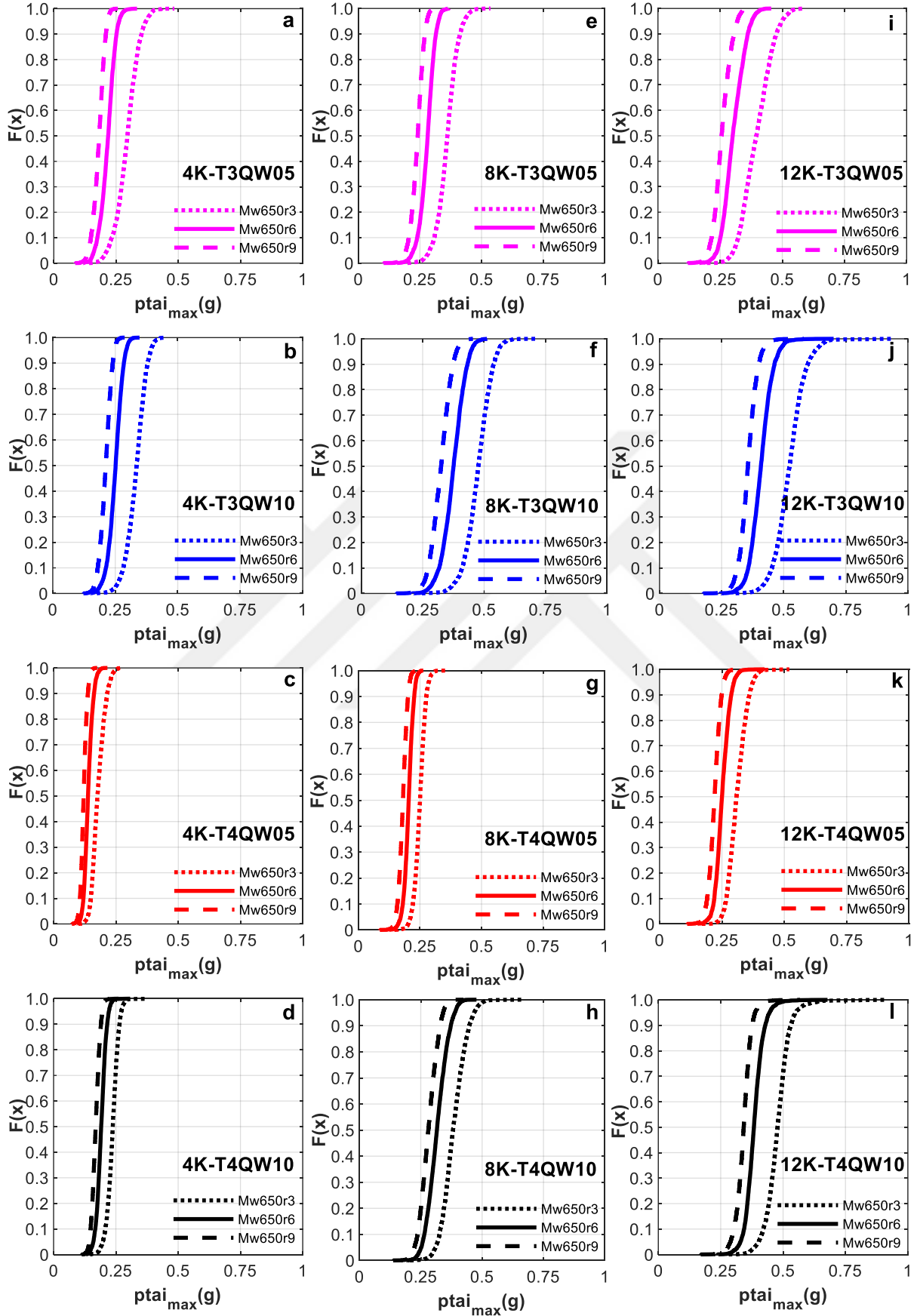
Şekil 4.11'deki grafiklerden görüldüğü üzere, %100 güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $ptai_{max}$  kat ivmeleri,  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$  depremleri etkisindeki 4 katlı binalar için (Şekil 4.11-(a-d)) sırasıyla  $0.17g\sim 0.48g, 0.24g\sim 0.85g, 0.32g\sim 1.37g$  ve  $0.44g\sim 2.13g$  aralıklarında yer almakta iken; 8 katlı binalar (Şekil 4.11- (e-f)) için sırasıyla,  $0.24g\sim 0.72g, 0.29g\sim 0.87g, 0.41g\sim 1.50g$  ve  $0.56g\sim 2.17g$  aralıklarında olup; 12 katlı binalarda (Şekil 4.11-(i-l)) yine aynı deprem sırası için  $0.34g\sim 0.94g, 0.41g\sim 0.96g, 0.51g\sim 1.52g, 0.73g\sim 2.20g$  aralıklarında yer almaktadır.

Görüldüğü üzere; üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte alınması durumunda %100 güvenilirlik seviyesine karşılık gelen  $ptai_{max}$  kat ivmeleri, tüm deprem seviyeleri için neredeyse tüm binalarda ( $M_w 6.50r9$  depremi etkisindeki 4K-T4QW05 binası hariç)  $0.2g$  değerini aşmaktadır. Tüm  $M_w = 6.50$  ve  $6.75$  deprem seviyeleri için ise, tüm binalarda  $1.0g$  altında değerler almakta iken;  $M_w = 7.00$  ve  $M_w = 7.25$  deprem seviyelerinde ise, neredeyse tüm binalarda  $0.50g$  değerini aşmaktadır. Ayrıca, %100 güvenilirlik seviyesine karşılık gelen söz konusu  $ptai_{max}$  kat ivmeleri,  $T_{0,nom} = 3s$  olan binalarda  $M_w 7.00r3$  depremi etkisinde  $1.0 g$  değerini de aşmakta iken; çalışma kapsamında ele alınan tüm binalarda  $M_w 7.25r3$  depremi etkisinde de  $1.0g$  değerini aşmaktadır. Bununla birlikte,  $T_{0,nom} = 4 s$  ve  $(Q/W)_{nom} = \%10$  olan binalar haricindeki tüm binalarda ise,  $M_w 7.25r6$  depremi etkisinde de yine  $1.0g$  değerini aşmaktadır.

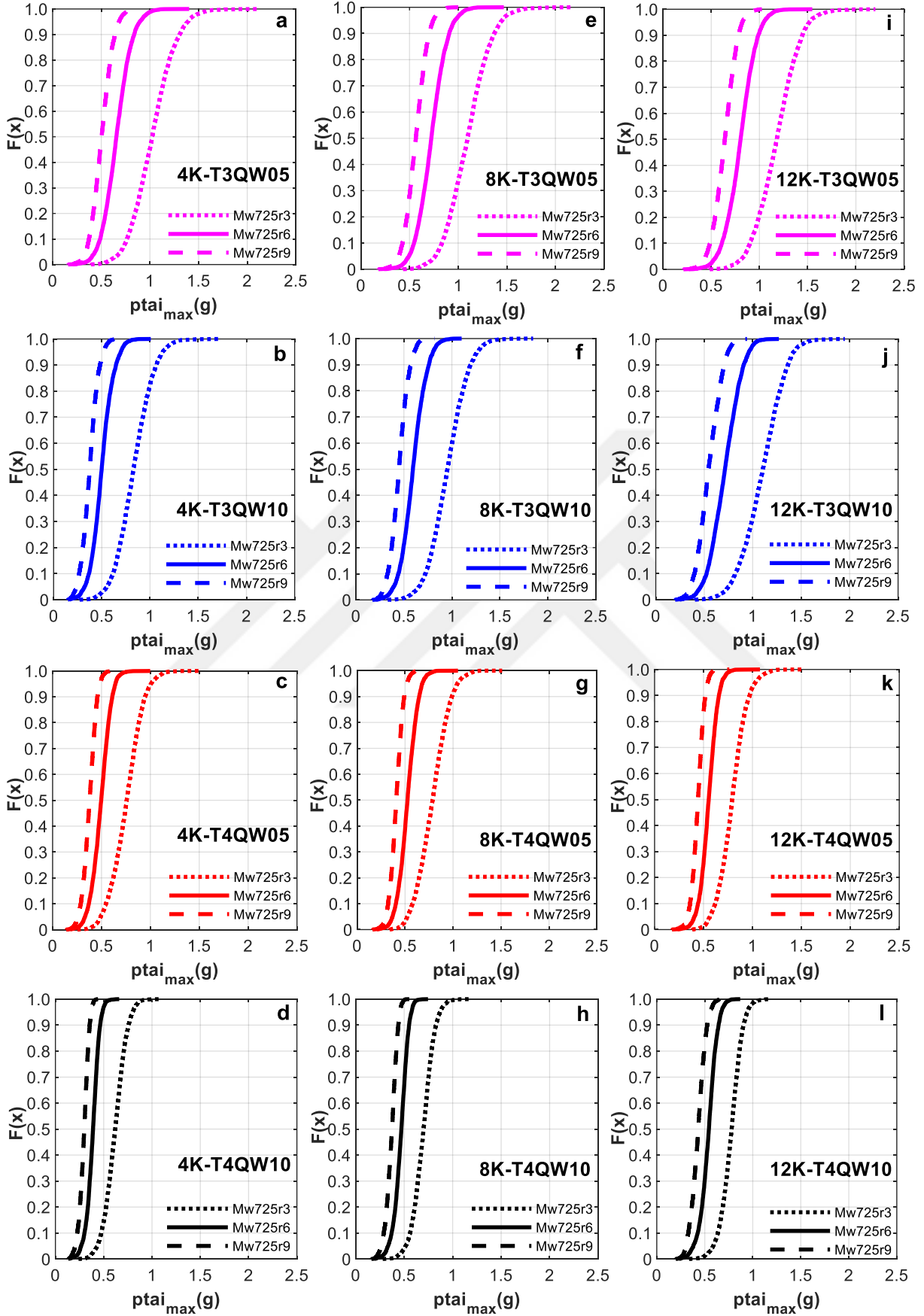
Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının  $ptai_{max}$  kat ivmeleri üzerinde pozitif ve negatif yöndeki en büyük etkilerini oransal olarak görebilmek amacıyla; çalışma kapsamındaki her taban izolasyonlu bina modeli için her yer

hareketi etkisinde gerçekleştirilen  $N_{MCS}=3.000$  simülasyonla elde edilen  $ptai_{max}$  kat ivmelerinin de nominal değerlerine göre maksimum pozitif ve negatif sapma yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu sapma yüzdeleri, 12 deprem seviyesi için ayrı ayrı olmak üzere T3QW05, T3QW10, T4QW05 ve T4QW10 izolasyon sistemlerine sahip binalar için sırasıyla, Şekil 4.12 – a, b, c ve d’de verilmiştir.

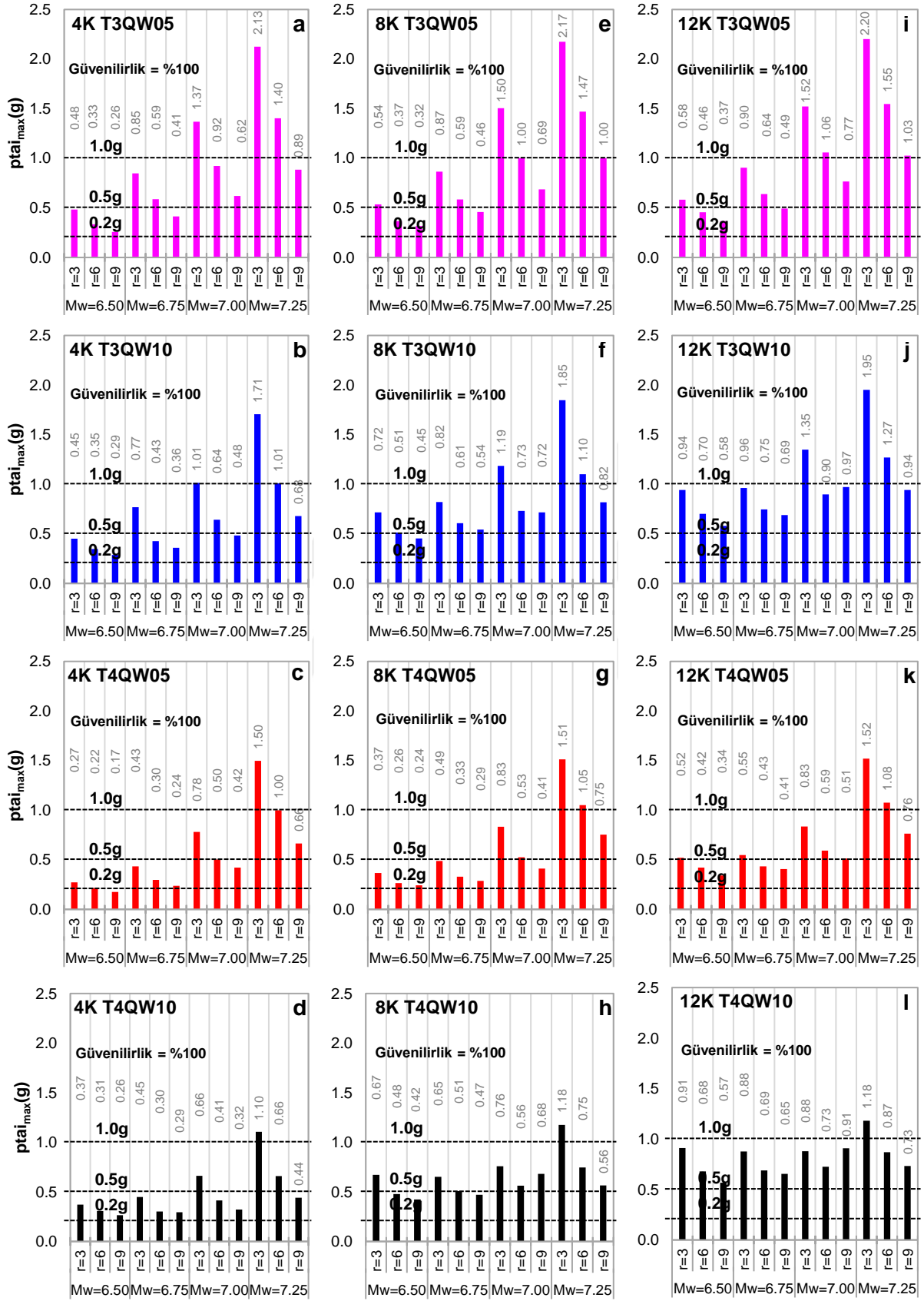
Şekil 4.12’deki grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere; aynı  $T_{0,nom}$  ve  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip 4, 8 ve 12 katlı binaların aynı deprem seviyesindeki  $ptai_{max}$  kat ivmelerini nominal değerlerine göre maksimum pozitif sapma yüzdeleri,  $pbdi_{max}$  deplasmanları ve  $pdri_{max}$  görelî kat öteleme oranları için hesaplanan sapma yüzdelerinde olduğu gibi farklı üstyapı esneklik seviyeleri için birbirlerine çok yakın değîldirler; kat sayısına göre özellikle maksimum pozitif sapma yüzdeleri değîşkenlik göstermektedir. Ancak yine de üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu;  $T_{0,nom}= 3$  ve  $4$  s,  $(Q/W)_{nom}= \%5$  ve  $10$  olan taban izolasyonlu binaların  $ptai_{max}$  kat ivmelerinin nominal değerlerine göre - üstyapı esnekliği ve izolasyon sistemi ayırımı yapmaksızın-  $M_w = 6.50, 6.75, 7.00, 7.25$  deprem seviyelerinde sırasıyla  $\%28\sim\%84$ ,  $\%25\sim\%76$ ,  $\%34\sim\%141$ ,  $\%44\sim\%110$  aralığında değîşen maksimum pozitif sapmalar yapmasına sebep olurken; -üstyapı esnekliği, izolasyon sistemi ve ayrıca deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın-  $\%34\sim\%70$  aralığında değîşen maksimum negatif sapmalar yapmasına sebep olduğu görülmektedir.



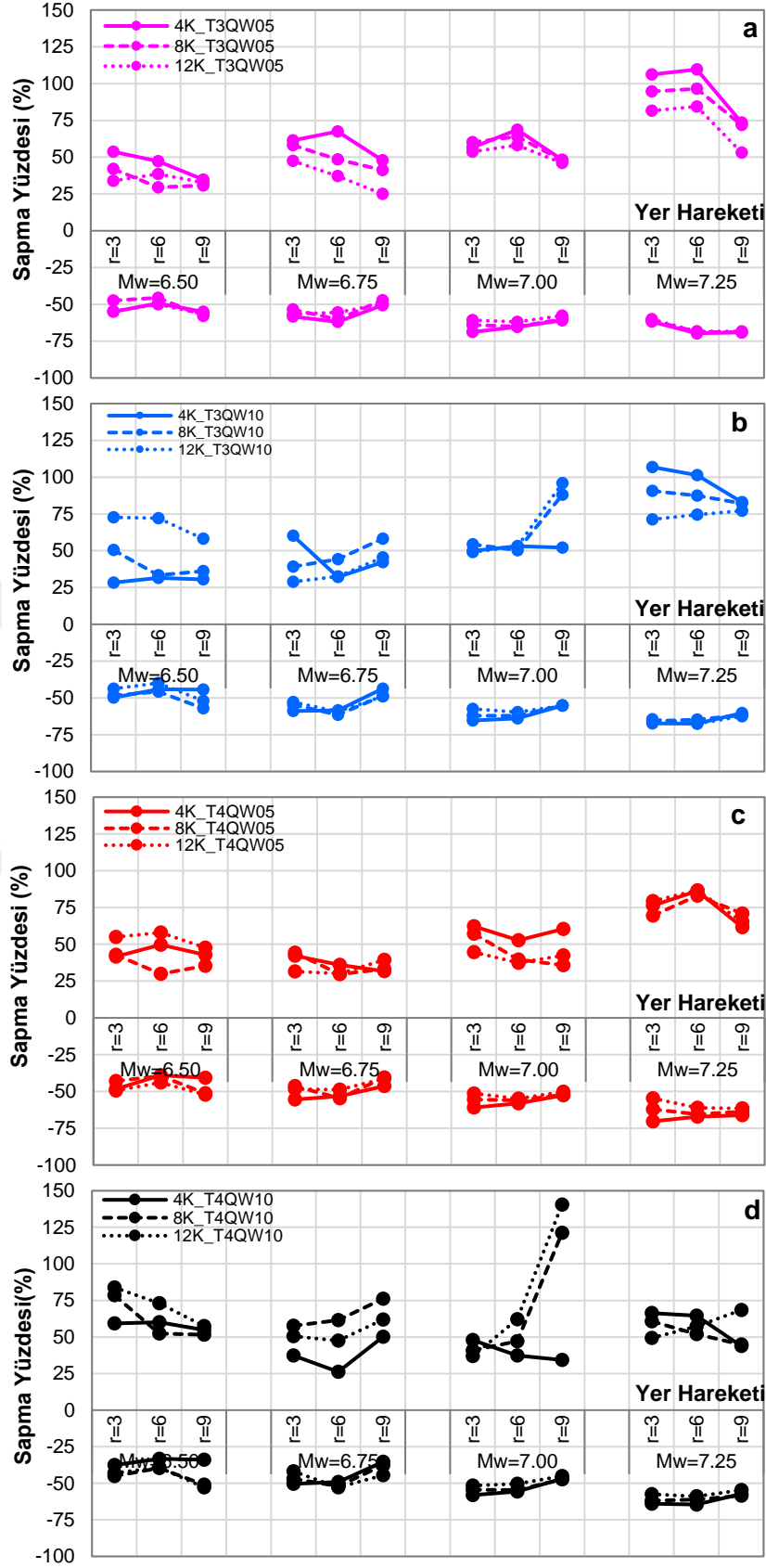
Şekil 4.9:  $M_w = 6.50$  depremleri için pik toplam kat ivmelerinin maksimumlarına ( $ptai_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda



Şekil 4.10:  $M_w = 7.25$  depremleri için pik toplam kat ivmelerinin maksimumlarına ( $ptai_{max}$ ) ait CDF grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda



Şekil 4.11: Pik toplam kat ivmelerinin maksimumlarına ( $ptai_{max}$ ) ait 100. yüzdelik değer grafikleri; (a-d): 4 Katlı binalarda, (e-h): 8 Katlı binalarda, (i-l): 12 Katlı binalarda



**Şekil 4.12:** Pik toplam kat ivmelerinin maksimumları ( $ptai_{max}$ ) için maksimum pozitif sapma ve maksimum negatif sapma yüzdeleri; (a): T3QW05, (b): T3QW10, (c): T4QW05, (d): T4QW10 izolasyon sistemli binalarda

## 4.2. GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİ

4, 8 ve 12 katlı üstyapılara sahip toplam 12 taban izolasyonlu bina modelinin her biri (Bkz. Bölüm 3.1 ve 3.2) için 12 puls içeren yakın-fay yer hareketinin her biri (Bkz. Bölüm 3.3) etkisinde Bölüm 4.1’de tarif edildiği gibi gerçekleştirilen üç boyutlu doğrusal olmayan zaman tanım alanı analiz simülasyonlarının ardından; çalışma kapsamında bu binaların söz konusu yakın-fay yer hareketleri etkisindeki güvenilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, göz önünde bulundurulmuş binaların belirli yapısal performans kriterlerini sağlama olasılıkları hesaplanmış olup; söz konusu performans kriterleri, ilgili binanın bu kriter ile ilgili yapısal cevap parametresinin/parametrelerinin belirli limit değeri/değerleri aşmaması olarak tanımlanmıştır. Bu doğrultuda, çalışma kapsamındaki tüm taban izolasyonlu binalar için *iki aşamalı güvenilirlik analizleri* gerçekleştirilmiştir. Bunlardan *Birinci Aşama güvenilirlik analizleri* ile ilgili detaylar ve bulgular, Bölüm 4.2.1’de; *İkinci Aşama güvenilirlik analizleri (performans testleri)* ile ilgili detaylar ve bulgular ise, Bölüm 4.2.2’de verilmiş ve değerlendirilmiştir.

### 4.2.1. Birinci Aşama Güvenilirlik Analizleri

Birinci Aşama güvenilirlik analizlerinde, taban izolasyonlu binaların izolasyon sistemleri, yapısal sistem bütünlükleri ve titreşime duyarlı ekipmanları açısından güvenilirlikleri analiz edilmiştir. Bu analizlerde söz konusu güvenilirlikler *ayrı ayrı* göz önünde bulundurulmuş ve dolayısıyla bu güvenilirliklerle ilgili yapısal performans kriterlerinin *ayrı ayrı* sağlanma olasılıkları hesaplanmıştır. Söz konusu yapısal performans kriterleri, binaların izolasyon sistemi, yapısal sistem bütünlüğü ve titreşime duyarlı ekipman açısından güvenilirliklerinin analizinde sırasıyla pik izolatör deplasmanlarının maksimumları ( $pbd_{i,max}$ , Bkz. Bölüm 4.1.1), pik görelî kat öteleme oranlarının maksimumları ( $pdri_{max}$ , Bkz. Bölüm 4.1.2) ve pik toplam kat ivmelerinin maksimumları ( $ptai_{max}$ , Bkz. Bölüm 4.1.3) için oluşturulmuştur. Birinci Aşama güvenilirlik analizleri için bu yapısal cevap parametrelerinin sağlanması gereken yapısal performans kriterleri, Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

İncelenen bir binanın Tablo 4.1’deki bir yapısal performans kriterini sağlama olasılığı, yani bu kriter açısından güvenilirliği ise, Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır. Bu denklemde “rp” performans kriteri ile ilgili yapısal cevap parametresini ( $pbd_{i,max}$ ,  $pdri_{max}$ ,  $ptai_{max}$ ) göstermekte olup; “Limit” söz konusu performans kriterinin sağlanabilmesi için bu “rp” cevap parametresinin aşmaması gereken limit değerlerini ( $Limit_d = 0.4m, 0.7m, 1.0m$ ;  $Limit_{dr} = 0.0025, 0.005, 0.01$ ;  $Limit_a = 0.2g, 0.5g, 1.0g$ ) göstermektedir. Diğer taraftan, “rp <



Limit” yapısal performans kriterini gösterirken; “ $N_{MCS}$ ” bu bina için bir yer hareketi etkisinde gerçekleştirilen toplam Monte Carlo simülasyonu sayısını, “ $N_{(rp < Limit)}$ ” ise göz önünde bulundurulan performans kriterinin sağlandığı simülasyonların sayısını göstermektedir.

**Tablo 4.1:** Birinci Aşama Güvenilirlik Analizleri için kullanılan yapısal performans kriterleri

Kriter No	İzolasyon Sistemi Güvenilirlikleri için	Yapısal Sistem Bütünlüğü Güvenilirlikleri için	Titreşime Duyarlı Ekipman Güvenilirlikleri için
1	$pbd_{i_{max}} < 0.4 \text{ m}^*$	$pdri_{max} < 0.0025^{**}$	$ptai_{max} < 0.2 \text{ g}^{***}$
2	$pbd_{i_{max}} < 0.7 \text{ m}^*$	$pdri_{max} < 0.005^{**}$	$ptai_{max} < 0.5 \text{ g}^{***}$
3	$pbd_{i_{max}} < 1.0 \text{ m}^*$	$pdri_{max} < 0.01^{**}$	$ptai_{max} < 1.0 \text{ g}^{***}$

Yapısal cevap parametresi ve Limit değer seçim nedenleri için: \* Bkz. Bölüm 4.2.1.1, \*\* Bkz. Bölüm 4.2.1.2, \*\*\* Bkz. Bölüm 4.2.1.3

$$\text{Güvenilirlik} = \frac{N_{(rp < Limit)}}{N_{MCS}} \times 100 \text{ (\%)} \quad (4.1)$$

Bu doğrultuda çalışma kapsamındaki binaların izolasyon sistemleri, yapısal sistem bütünlükleri ve titreşime duyarlı ekipmanları açısından gerçekleştirilen güvenilirlik analizleri ile ilgili detaylar ve bulgular, sırasıyla Bölüm 4.2.1.1, 4.2.1.2 ve 4.2.1.3’de sunulmuştur.

#### 4.2.1.1. İzolasyon Sistemi Güvenilirlikleri Açısından

Sismik izolasyonlu yapıların yüksek hızlı ve uzun periyotlu pulslar içeren yakın-fay yer hareketlerine maruz kalmaları halinde, yapısal cevap parametreleri artabilmektedir (Mazza vd. 2018). Bu tür yer hareketleri etkisinde izolatörlerde meydana gelebilecek büyük deplasmanlar, bu elemanların deplasman kapasitesini aşarak izolatörlerin burkulması, yırtılması ve bina çevresindeki sismik boşluk mesafesinin aşılması gibi sorunlara sebep olabilir (Nagarajaiah ve Ferrell, 1999; Alhan ve Hışman, 2016) ve hatta izolasyon sistemini tamamıyla göçmeye götürebilir (Cardone vd., 2019). Bu nedenle, çalışma kapsamında ele alınan her bir binanın her bir yer hareketi etkisinde izolasyon sistemlerinin güvenilirlikleri açısından gerçekleştirilen güvenilirlik analizlerinde üst başlıkta da belirtildiği üzere, bu bina için ilgili yer hareketi etkisinde gerçekleştirilen  $N_{MCS} = 3000$  simülasyonu kapsamında her i. simülasyon ( $i=1,2,3,.., 3000$ ) için elde edilen pik izolatör deplasmanlarının maksimumları ( $pbd_{i_{max}}$ ) yapısal cevap parametresi olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Güvenilirlik analizlerinde  $pbd_{i_{max}}$  deplasmanlarının sağlanması gereken yapısal performans kriterleri, Tablo 4.1’de verilmiş olup; bu kriterlerdeki deplasman limitleri ( $Limit_d$ ), uygulamadaki mevcut izolatör kapasitelerine göre belirlenmiştir. Pan vd. (2005) tarafından rapor edildiği üzere; maksimum tasarım deplasmanı ile burkulma/yırtılma durumlarına karşılık gelen azami deformasyon seviyesindeki deplasman değerleri, proje uygulamalarında yaygın

olarak kullanılan 0.80m çapındaki doğal kauçuk izolatörler için sırasıyla 0.45m~0.55m ve 0.60m~0.80m seviyelerindedir. Söz konusu maksimum tasarım ve azami deformasyon seviyelerindeki deplasman değerleri, 0.80m çapındaki HDRB tipi izolatörler için ise, sırasıyla 0.45m~0.55m ve 0.55m~0.80m seviyelerinde iken; yine 0.80 m çapındaki LRB tipi izolatörler için sırasıyla 0.40m~0.50m ve 0.60m~0.70m seviyelerindedir. Diğer taraftan izolatör üretici firmalarına ait kataloglara bakıldığında; örneğin Dynamic Isolation Systems (2007)'e ait kurşun çekirdekli izolatör katalogunda izolatör çapları, 0.305m~1.550m aralığında değişmekte olup; bu izolatörler için maksimum deplasman kapasitelerinin ise, 0.15m~0.90m aralığında değiştiği görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, mevcut çalışma kapsamında  $pbd_{i_{max}}$  parametresi için limit değerleri  $Limit_d = 0.4m, 0.7m$  ve  $1.0m$  olarak alınmıştır.

Belirlenen bu izolatör deplasman limit değerlerine göre, çalışma kapsamındaki 12 bina modelinin her birinin izolasyon sistemleri açısından güvenilirlikleri, 12 yer hareketi durumunun her biri için ayrı ayrı olmak üzere Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır.  $T_{0,nom} = 3s$  nominal izolasyon periyotlu tüm 4, 8, 12 katlı binaların her bir deprem seviyesindeki izolasyon sistemi açısından güvenilirlikleri, Şekil 4.13'deki gibi elde edilirken;  $T_{0,nom} = 4s$  nominal izolasyon periyotlu tüm binaların izolasyon sistemleri açısından güvenilirlikleri, Şekil 4.14'deki gibi elde edilmiştir.

Şekil 4.13 ve 4.14'deki grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere; aynı  $T_{0,nom}$  ve  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip 4, 8 ve 12 katlı binalardaki izolasyon sistemi güvenilirlikleri -tüm deprem seviyeleri için geçerli olmak üzere- aynı deprem seviyelerinde ve aynı deplasman limitleri ( $Limit_d = 0.4m, 0.7m, 1.0m$ ) için de birbirlerine çok yakın değerlere sahiptirler. Dolayısıyla, üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate bu alındığı çalışma kapsamındaki aynı  $T_{0,nom}$  ve  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip binalarda üstyapı esneklik seviyesinin izolasyon sistemi güvenilirlikleri üzerindeki etkisi, yok denecek kadar azdır. Bu durum, Bölüm 4.1.1 bulgularıyla uyumludur.

Diğer taraftan, Şekil 4.13 ve 4.14'deki tüm grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere;  $M_w$  seviyesinin artması,  $r$  seviyesinin azalması halinde, izolasyon sistemi güvenilirlikleri genel olarak azalmaktadır. Yine söz konusu grafiklerden görüldüğü üzere, her iki nominal izolasyon periyot seviyesi ( $T_{0,nom} = 3s$  ve  $4s$ ) için de  $(Q/W)_{nom}$  seviyesinin artırılması halinde, genel olarak izolasyon sistemi güvenilirlikleri artmaktadır.  $M_w, r$  ve  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine bağlı bu davranışlar, özellikle  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  depremleri için elde edilen güvenilirlik değerlerinde daha net görülmektedir.

Yine Şekil 4.13 ve 4.14'deki tüm grafiklerden görüldüğü üzere; 12 bina modelinin hepsi, tüm  $M_w=6.50$  depremleri etkisinde  $Limit_d = 0.7m$  ve dolayısıyla  $1.0m$  limitine göre tamamen güvenilir iken;  $M_w=6.50r3$  depremi etkisinde tüm binaların  $Limit_d = 0.4m$  limitine göre güvenilirlikleri %60'ın altına inmektedir.

Bununla birlikte,  $r = 6$  ve  $9$  km olmak üzere  $M_w=6.75$  depremlerinde yine  $Limit_d = 0.7m$  ve dolayısıyla  $1.0m$  için tüm bina güvenilirlikleri %70'in üzerinde iken; yine tüm binalarda  $M_w=6.75r3$  depremi etkisinde tüm binaların  $Limit_d = 0.4m$  limitine göre güvenilirlikler %0'a inmektedir.

Diğer taraftan,  $-(Q/W)_{nom}=\%5$  olan binalarda daha fazla olmak üzere- tüm binalarda  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerinde, neredeyse tüm deplasman limitleri için hesaplanan güvenilirliklerde  $-M_w=6.50$  ve  $6.75$  deprem seviyelerine göre- büyük düşüşler meydana gelmektedir.  $M_w=7.00r9$  için tüm binalardaki güvenilirlikler,  $Limit_d = 1.0m$ 'ye göre %95'in üzerindeyken; yine aynı deprem seviyesi için tüm bina güvenilirlikleri  $Limit_d = 0.4m$ 'ye göre %40'ın altına inmektedir. Yine tüm binalar için geçerli olmak üzere;  $M_w=7.00r3$  depremi için tüm izolasyon sistemlerinin tüm deplasman limitlerindeki güvenilirlikleri %30'un altında elde edilmektedir.

Ayrıca,  $(Q/W)_{nom}=\%5$  olan binalarda  $M_w = 7.25$  depremleri etkisindeki izolasyon sistemi güvenilirlikleri, tüm deplasman limitleri için genel olarak %50'nin altında değerler almaktadır.  $(Q/W)_{nom}=\%10$  olan binalarda ise,  $M_w=7.25r9$  depremi etkisinde  $Limit_d = 1.0m$ 'ye göre güvenilirlikler %90'ın üzerindeyken; yine aynı deprem seviyesi için  $Limit_d = 0.4m$ 'ye göre %15'in altına inmektedir.  $M_w=7.25r3$  depremi için tüm binalara ait tüm izolasyon sistemlerinin tüm deplasman limitlerindeki güvenilirlikleri ise; neredeyse tamamen %0 olarak elde edilmektedir.

➤ **Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının binaların izolasyon sistemlerinin güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları**

Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumunun farklı üstyapı esnekliğine sahip taban izolasyonlu binaların izolasyon sistemlerinin güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları, söz konusu binaların izolasyon sistemleri açısından –uygulamada tercih edilen- önemli güvenilirlik seviyelerinde (%90 ve %98) bu belirsizlik kaynakları nedeniyle meydana gelen sapma yüzdeleri olarak hesaplanmıştır. Belirsizlik kaynaklarının izolasyon sistemlerinin %90 ve %98 güvenilirlik seviyeleri üzerindeki söz konusu etki oranları, tüm 4, 8 ve 12 katlı binalar için tüm yer hareketi seviyelerinde ayrı ayrı olmak üzere, sırasıyla Şekil 4.15 ve 4.16’da verildiği gibi elde edilmiştir.

Şekil 4.15 ve 4.16’dan görüldüğü üzere; söz konusu etki oranları (sapma yüzdeleri), güvenilirlik seviyesinin %90’dan %98’e çıkması halinde artmaktadır. Ayrıca, yine bu şekillerdeki grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere; üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının, farklı üstyapı esnekliğine sahip taban izolasyonlu binaların izolasyon sistemlerinin güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları, üstyapı esneklik seviyesinden etkilenmemektedir. Bu etki oranları, aynı  $T_{0,nom}$  ve  $(Q/W)_{nom}$  seviyesine sahip izolasyon sistemli 4, 8 ve 12 katlı binalarda aynı deprem seviyesinde birbirlerine yakın değerler almaktadır.

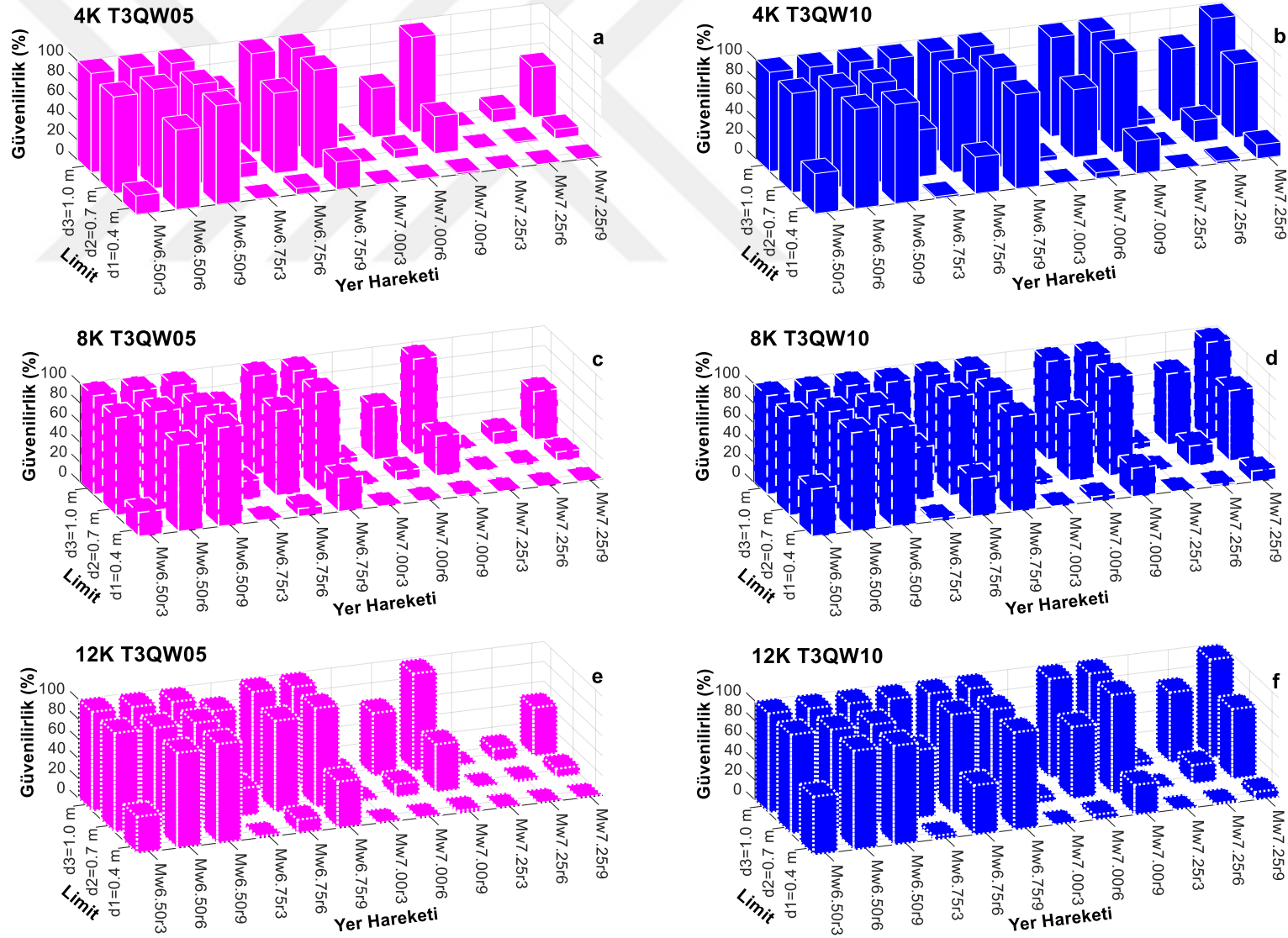
Şekil 4.15-(a, e, i) ve Şekil 4.16-(a, e, i)’den görüldüğü üzere; söz konusu üç belirsizlik kaynağının analizlerde birlikte dikkate alınması durumu, T3QW05 izolasyon sistemine sahip binaların  $M_w < 7.25$  deprem seviyelerinde izolasyon sistemleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %12~%21 ve %22~%40 aralıklarında sapmalar yapmasına sebep olmaktadır. Bu durum, aynı binaların  $M_w = 7.25$  deprem seviyelerinde ise, yine izolasyon sistemleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %24~%31 ve %42~%53 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

Benzer şekilde, Şekil 4.15-(b, f, j) ve Şekil 4.16-(b, f, j)’den görüldüğü üzere; üç belirsizlik kaynağının analizlerde birlikte dikkate alınması durumu, T3QW10 izolasyon sistemine sahip binaların  $M_w < 7.25$  deprem seviyelerinde izolasyon sistemleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %8~%24 ve %16~%41 aralıklarında sapmalar yapmasına sebep olmaktadır. Bu durum, aynı binaların  $M_w = 7.25$  deprem seviyelerinde ise, yine izolasyon

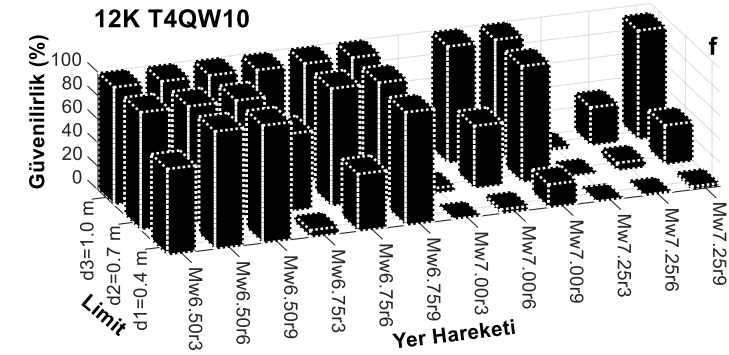
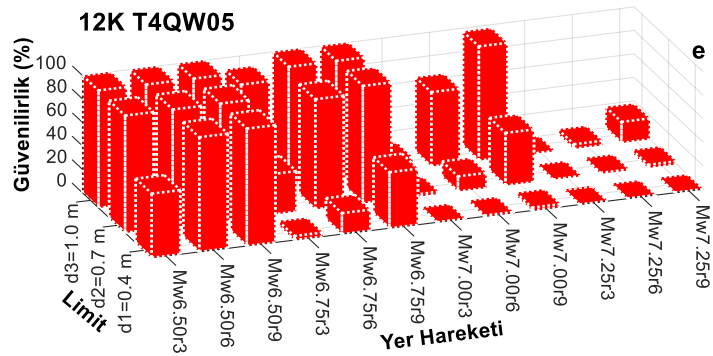
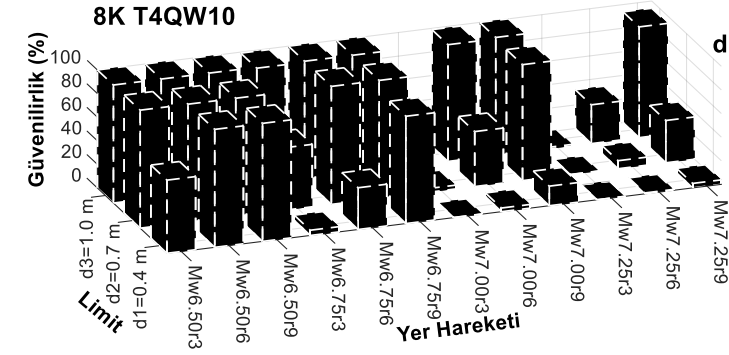
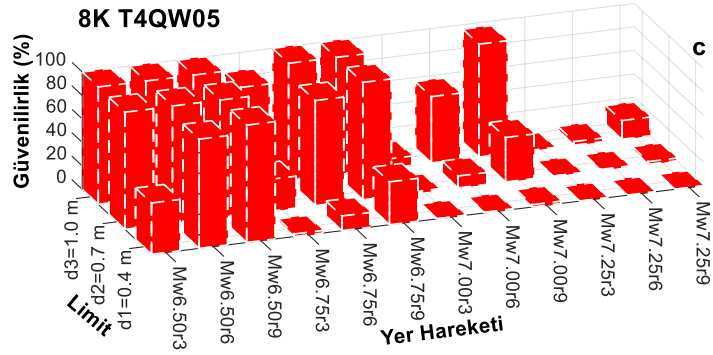
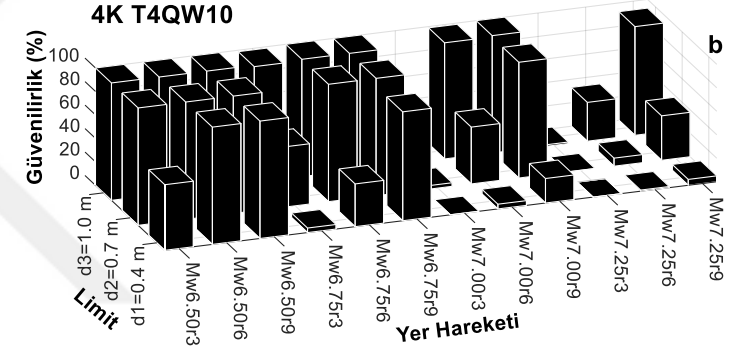
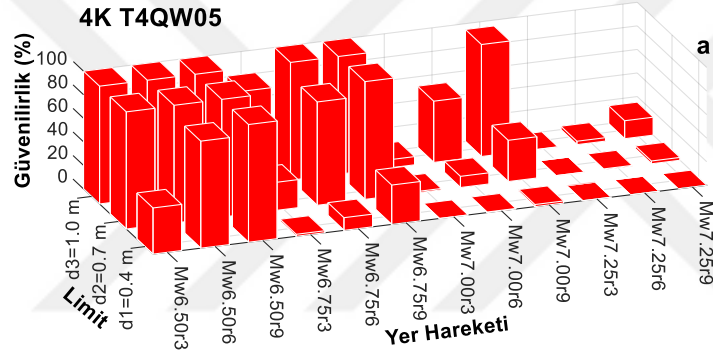
sistemleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %27~%36 ve %46~%64 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

Diğer taraftan, Şekil 4.15-(c, g, k) ve Şekil 4.16-(c, g, k)'den görüldüğü üzere; üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu; T4QW05 izolasyon sistemine sahip binaların izolasyon sistemleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin -deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın- %13~%21 ve %27~%39 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

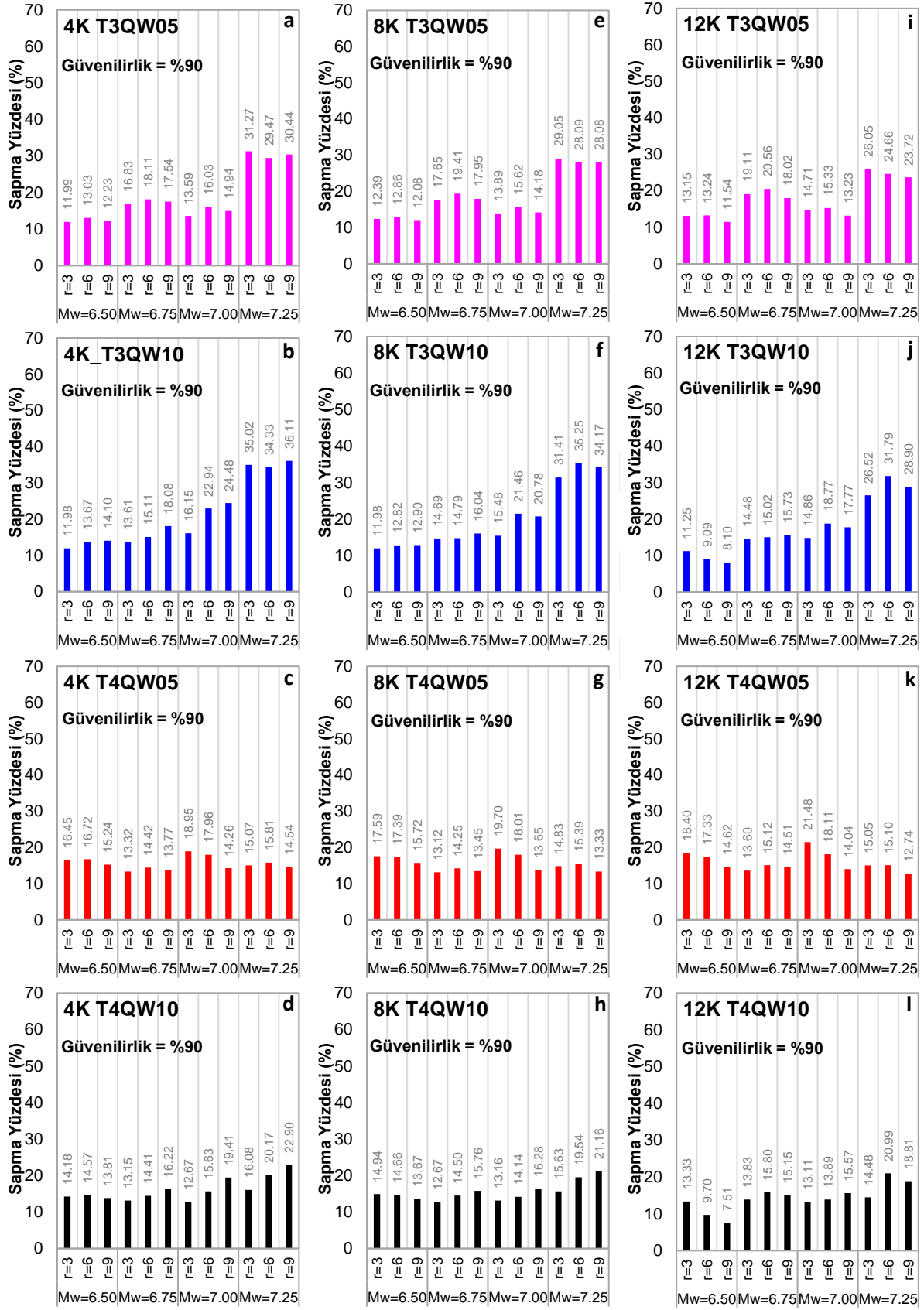
Bununla birlikte, Şekil 4.15-(d, h, l) ve Şekil 4.16-(d, h, l)'den görüldüğü üzere; söz konusu belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu; T4QW10 izolasyon sistemine sahip binaların izolasyon sistemleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin yine -deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın- %8~%23 ve %15~%39 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.13: Binaların izolasyon sistemi güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T3QW05 izolasyon sistemli binalar, (b, d, f): T3QW10 izolasyon sistemli binalar için

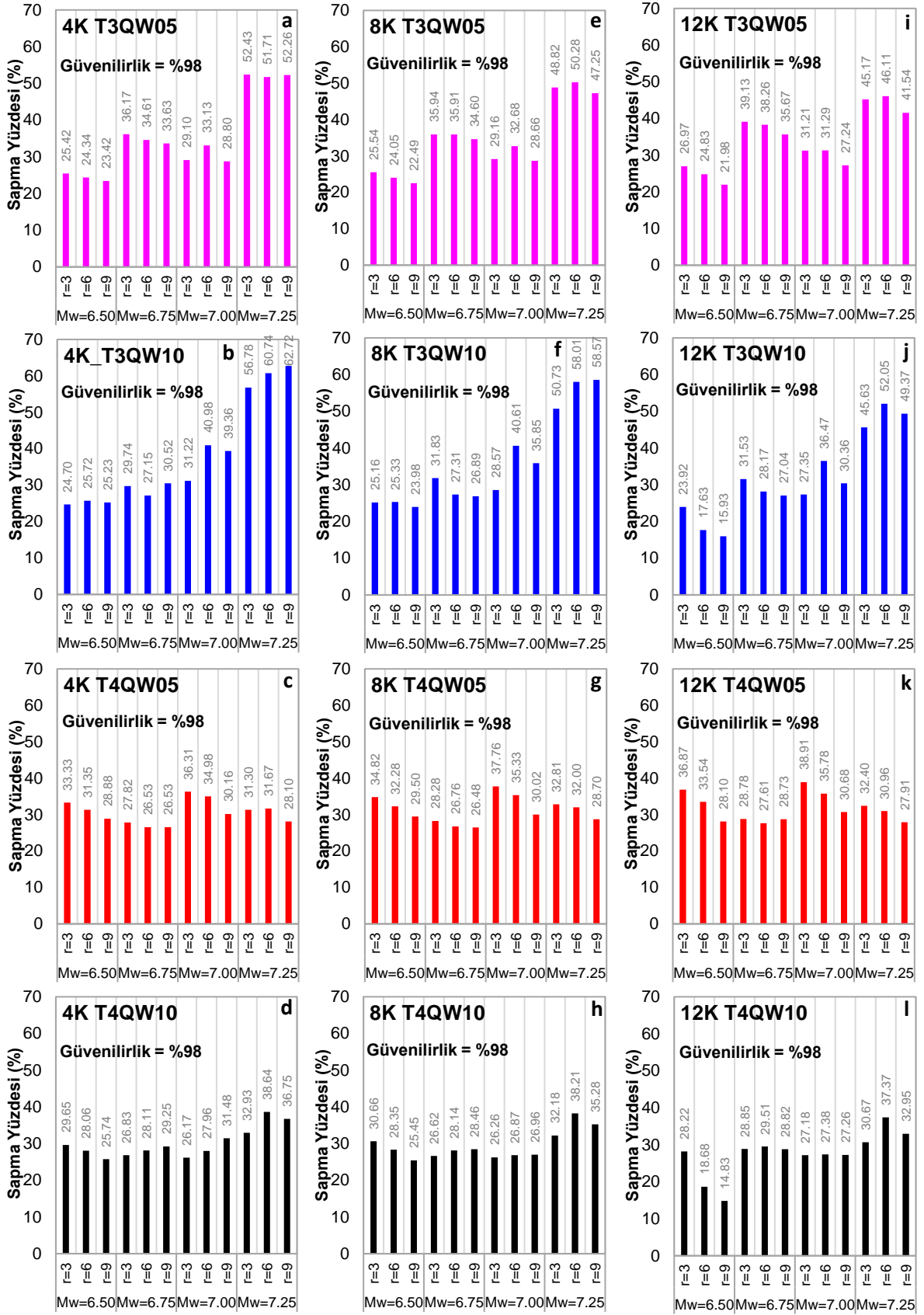


**Şekil 4.14:** Binaların izolasyon sistemi güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T4QW05 izolasyon sistemli binalar, (b, d, f): T4QW10 izolasyon sistemli binalar için



Şekil 4.15: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının izolasyon sistemlerinin güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %90); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda





Şekil 4.16: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının izolasyon sistemlerinin güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %98); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda

#### 4.2.1.2. Yapısal Sistem Bütünlüğü Güvenilirlikleri Açısından

Bina performans seviyeleri, taşıyıcı / taşıyıcı olmayan yapısal elemanlar ile yapısal olmayan elemanların performanslarının bir bileşimidir. Betonarme / çelik çerçeve, betonarme perde gibi taşıyıcı yapısal elemanlar ile tuğla duvar, ahşap panel gibi taşıyıcı olmayan yapısal elemanların performans seviyeleri görelî deplasmanlara göre belirlenirken; merdiven, kapı, pencere ve tesisat boruları gibi yapısal olmayan elemanların performans seviyeleri genellikle çatlak genişliklerine göre sınıflandırılmıştır (FEMA 273, 1997). Dolayısıyla, bina performans seviyesi ve dâhilinde yapısal sistem bütünlüğünün tespitinde, görelî kat öteleme oranları bir kontrol parametresi olarak kullanılabilir. Bu nedenle, çalışma kapsamında her bir binanın her bir yer hareketi etkisinde yapısal sistem bütünlüğü açısından gerçekleştirilen güvenilirlik analizlerinde, Bölüm 4.2.1’de de belirtildiği üzere; bu bina için ilgili yer hareketi etkisinde gerçekleştirilen  $N_{MCS} = 3000$  simülasyonu kapsamında her  $i$ . simülasyon ( $i=1,2,3,.., 3000$ ) için elde edilen pik görelî kat öteleme oranlarının maksimumları ( $pdri_{max}$ ) yapısal cevap parametresi olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Güvenilirlik analizlerinde  $pdri_{max}$  cevap parametresinin sağlaması gereken yapısal performans kriterleri, Tablo 4.1’de verilmiş olup; bu kriterlerdeki limitler ( $Limit_{dr}$ ), sismik izolasyonlu binalar için yönetmeliklerde müsaade edilen sınırlara göre belirlenmiştir. ASCE/SEI 7-16 (2017) Madde 17.6.4.4’de belirtildiği üzere; zaman tanım alanında analiz yönteminin kullanılması halinde, izolasyon sistemi üzerindeki üstyapıda maksimum görelî kat öteleme oranları 0.02’yi aşmamalıdır. Yine aynı maddede belirtildiği üzere; ikincil mertebe etkilerin ihmal edilebilmesi için görelî kat öteleme oranlarının 0.01/RI değerini aşmaması gerekmektedir. Burada, RI üstyapının taşıyıcı sistem davranış katsayısına bağlı bir katsayı (ASCE/SEI 7-16, 2017; Madde 17.5.4.2) olup; sismik izolasyonlu binalarda üstyapının doğrusal-elastik davranış sergilemesi durumu için 1.0 alınabilir. Dolayısıyla ASCE/SEI 7-16 (2017)’ye göre sismik izolasyonlu binalarda ikincil mertebe etkilerin ihmal edilmesi halinde görelî kat öteleme oranları, 0.01 değerini aşmamalıdır. Bununla birlikte, Türk Bina Deprem Yönetmeliği (2019) Madde 14.14.5’de belirtildiği üzere, yalıtımlı binaların üstyapılarındaki görelî kat öteleme oranları; kesintisiz kullanım, sınırlı hasar ve kontrollü hasar performans seviyeleri için sırasıyla, 0.005, 0.01 ve 0.015 değerlerini aşmamalıdır. Ayrıca, FEMA 273 - Tablo 2.4’de belirtildiği üzere; taşıyıcı olmayan yapısal elemanlar olan yığma tuğla duvarlarda sınırlı hasar performans seviyesi için görelî kat öteleme oranları 0.003 ile sınırlandırılabilir. Bu bilgiler doğrultusunda, çalışma kapsamında taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapısal elemanlar için *kesintisiz kullanım ve sınırlı hasar performans seviyeleri hedeflenerek; ilgili görelî kat öteleme*

oranları göz önünde bulundurulmuş ve yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirlik analizlerinde  $p_{dri_{max}}$  parametresi için limit değerleri,  $Limit_{dr} = 0.0025, 0.005$  ve  $0.01$  olarak alınmıştır.

Belirlenen bu görelî kat öteleme oranı limit değerlerine göre, 12 bina modelinin her birinin yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirlikleri, 12 yer hareketi durumunun her biri için ayrı ayrı olmak üzere Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır.  $T_{0,nom}=3s$  ve  $T_{0,nom}=4s$  nominal izolasyon periyotlu tüm 4, 8, 12 katlı binaların her bir deprem seviyesindeki yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirlikleri, sırasıyla Şekil 4.17 ve 4.18'deki gibi elde edilmiştir.

Şekil 4.17 ve 4.18'deki grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere; aynı  $T_{0,nom}$  ve aynı  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip binalar için kat sayısının artması halinde, aynı deprem seviyelerinde yapısal sistem bütünlüğü açısından elde edilen güvenilirlikler genel olarak azalmaktadır. Yani, belirsizlik kaynaklarının birlikte dikkate alınması durumunda, üstyapı esnekliğinin artışı, taban izolasyonlu binaların yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca, kat sayısına / üstyapı esnekliğine bağlı olarak güvenilirliklerde meydana gelen azalma miktarlarının  $T_{0,nom} = 3s$  olan binalarda daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, Bölüm 4.1.2 bulgularıyla uyumludur.

Şekil 4.17-(a,b) ve 4.18-(a,b)'deki grafiklerden görüldüğü üzere;  $T_{0,nom} = 3 s$  olan 4 katlı binaların  $-M_w6.75r3$  depremi hariç- tüm  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri için tüm görelî kat ötelemesi limitlerine göre güvenilirlikleri, %90'ın üzerindedir.  $T_{0,nom} = 4 s$  olan 4 katlı binaların tüm  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri için tüm görelî kat ötelemesi limitlerine göre güvenilirlikleri ise, %100'dür. Dolayısıyla, 4 katlı binalar, neredeyse tüm  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri için ( $M_w6.75r3$  depremi hariç)  $Limit_{dr} = 0.0025$  limitine göre dahi yüksek güvenilirliklere sahiptir; taşıyıcı olmayan yapısal elemanlar için sınırlı hasar performans seviyesini dahi yüksek güvenilirliklerle sağlamaktadırlar.

Yine Şekil 4.17-(a,b) ve 4.18-(a,b)'deki grafiklerden görüldüğü üzere; tüm 4 katlı binalar, tüm  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  depremleri için de  $Limit_{dr} = 0.01$  limitine göre %100 güvenilirdir. Dolayısıyla tüm 4 katlı binalar, tüm deprem seviyelerinde taşıyıcı yapısal elemanlar için sınırlı hasar performans seviyesini %100 güvenilirlikle sağlamaktadırlar. Ayrıca,  $T_{0,nom} = 4 s$  olan 4 katlı binalar  $M_w7.25r3$  depremi hariç tüm  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  depremleri için  $Limit_{dr} = 0.005$  limitine göre de %100 güvenilirdir. Yani bu binalar söz konusu depremlerde taşıyıcı yapısal elemanlar için kesintisiz kullanım performans seviyesini de %100 güvenilirlikle sağlamaktadırlar. Ancak,

$M_w = 7.0$  ve  $7.25$  depremleri etkisindeki 4 katlı binaların  $Limit_{dr} = 0.0025$  limitine göre güvenilirlikleri, %0'a kadar inmektedir.

Şekil 4.17-(c,d) ve 4.18-(c,d)'deki grafiklerden görüldüğü üzere; tüm 8 katlı binalar, tüm  $M_w=6.50$  depremleri etkisinde  $Limit_{dr} = 0.005$  ve dolayısıyla  $Limit_{dr} = 0.01$  limitlerine göre %100 güvenilirdir. Ancak, bu binalarda  $M_w = 6.50$  depremleri etkisinde  $Limit_{dr} = 0.0025$  limitine göre güvenilirlikler, %0'a kadar inmektedir. Diğer taraftan,  $T_{0,nom} = 4$  s olan 8 katlı binalar, tüm  $M_w=6.75$  depremleri etkisinde de yine  $Limit_{dr} = 0.005$  ve dolayısıyla  $Limit_{dr} = 0.01$  limitlerine göre %100 güvenilirdir.  $M_w=6.75$  depremleri etkisindeki  $T_{0,nom} = 3$ s ve 4s olan 8 katlı binaların  $Limit_{dr} = 0.0025$  limitine göre güvenilirlikleri ise, sırasıyla %0'a ve %50'nin altına inmektedir.

Yine Şekil 4.17-(c,d) ve 4.18-(c,d)'deki grafiklerden görüldüğü üzere; tüm 8 katlı binaların tüm  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  depremleri için  $Limit_{dr} = 0.0025$  limitine göre güvenilirlikleri, %0'dır. Diğer taraftan,  $T_{0,nom} = 3$  s olan 8 katlı binaların  $M_w7.00r3$  ve  $M_w7.25r3$  depremleri hariç tüm depremler için 0.01 limitine göre güvenilirlikleri %60'ın üzerindedir.  $T_{0,nom} = 4$  s olan 8 katlı binaların ise,  $M_w7.25r3$  depremi hariç tüm depremler için 0.01 limitine göre güvenilirlikleri %100'dür.

Şekil 4.17-(e,f) ve 4.18-(e,f)'deki grafiklerden görüldüğü üzere; 12K-T3QW05 binası hariç diğer tüm 12 katlı binaların tüm deprem seviyelerinde, 12K-T3QW05 binasının ise  $M_w6.50r6$  ve  $M_w6.50r9$  hariç diğer tüm deprem seviyelerinde  $Limit_{dr} = 0.0025$  limitine göre güvenilirlikleri, %0'dır. Dolayısıyla, tüm 12 katlı binalar neredeyse tüm deprem seviyelerinde taşıyıcı olmayan elemanlar için sınırlı hasar performans seviyesini ( $Limit_{dr} = 0.0025$ ) aşmaktadırlar.

Şekil 4.17-(e,f) ve 4.18-(e,f)'deki grafiklerden görüldüğü üzere;  $T_{0,nom} = 3$ s olan 12 katlı binaların  $M_w > 6.50$  üzerindeki tüm depremlerde ( $M_w6.75r9$  hariç)  $Limit_{dr}=0.005$  limitine göre güvenilirlikleri de neredeyse tamamen %0'dır.  $T_{0,nom} = 4$ s olan 12 katlı binalarda da,  $M_w \geq 7.00$  üzerindeki tüm depremlerde ( $M_w7.00r9$  hariç)  $Limit_{dr} = 0.005$  limitine göre güvenilirlikler neredeyse tamamen %0'dır.

Yine Şekil 4.17-(e,f) ve 4.18-(e,f)'deki grafiklerden görüldüğü üzere; tüm 12 katlı binaların  $M_w6.75r3$  hariç diğer  $M_w = 6.50$  ve  $6.75$  depremleri için  $Limit_{dr} = 0.01$  limitine göre güvenilirlikleri %100'dür. Diğer taraftan,  $T_{0,nom} = 3$  s olan 12 katlı binalar  $M_w7.00r3$  ve

Mw7.25r3 depremleri etkisinde,  $T_{0,nom} = 4s$  olan 12 katlı binalar ise Mw7.25r3 depremi etkisinde  $Limit_{dr} = 0.01$  limitini dahi tamamıyla aşmaktadırlar; ve dolayısıyla taşıyıcı elemanlar için sınırlı hasar performans seviyesini de sağlayamamaktadırlar.

➤ **Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının binaların yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları**

Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin analizlerde birlikte dikkate alınması durumunun, farklı üstyapı esnekliğine sahip taban izolasyonlu binaların yapısal sistem bütünlükleri açısından güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları, söz konusu binaların yapısal sistem bütünlükleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinde bu belirsizlik kaynakları nedeniyle meydana gelen sapma yüzdeleri olarak hesaplanmıştır. Yapısal sistem bütünlüklerinin %90 ve %98 güvenilirlik seviyeleri üzerindeki söz konusu etki oranları, tüm 4, 8 ve 12 katlı binalar için tüm yer hareketi seviyelerinde ayrı ayrı olmak üzere sırasıyla Şekil 4.19 ve 4.20’de verildiği gibi elde edilmiştir.

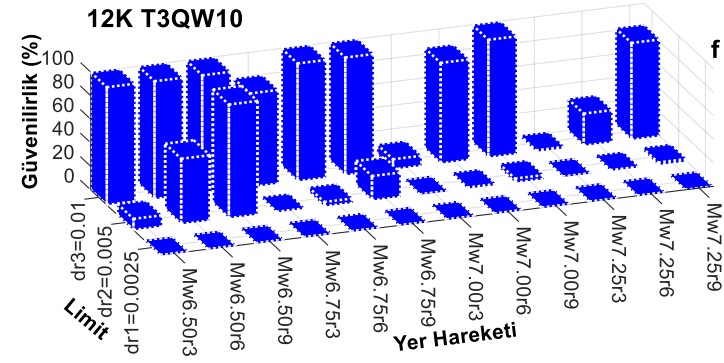
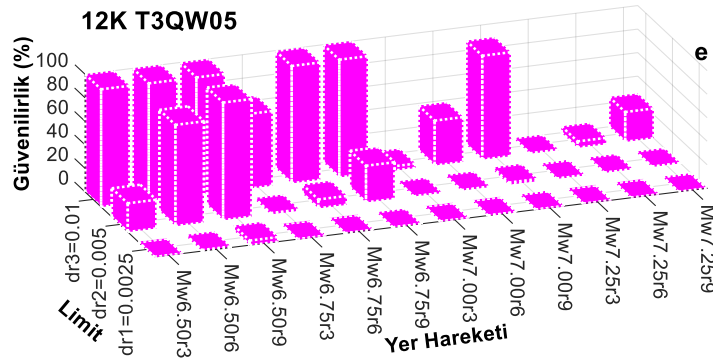
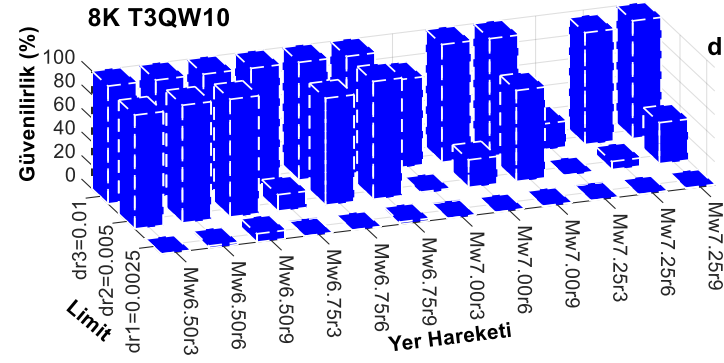
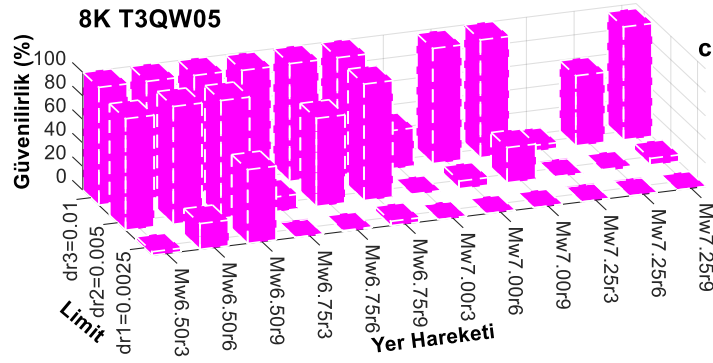
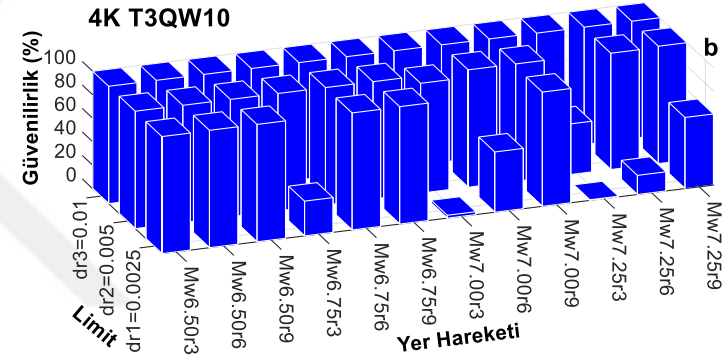
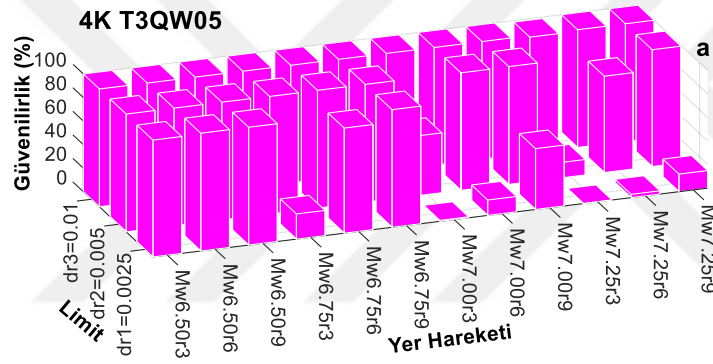
Şekil 4.19 ve 4.20’den görüldüğü üzere; söz konusu etki oranları (sapma yüzdeleri), güvenilirlik seviyesinin %90’dan %98’e çıkması halinde artmaktadır. Ayrıca, yine bu şekillerden genel olarak görüldüğü üzere; üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının, farklı üstyapı esnekliğine sahip taban izolasyonlu binaların yapısal sistem bütünlükleri açısından güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları, üstyapı esneklik seviyesinden etkilenmemektedir. Bu etki oranları, aynı  $T_{0,nom}$  ve  $(Q/W)_{nom}$  seviyesine sahip izolasyon sistemli 4, 8 ve 12 katlı binalarda aynı deprem seviyesinde birbirlerine yakın değerler almaktadır.

Şekil 4.19-(a, e, i) ve Şekil 4.20-(a, e, i)’den görüldüğü üzere; söz konusu üç belirsizlik kaynağının analizlerde birlikte dikkate alınması durumu, T3QW05 izolasyon sistemine sahip binaların  $M_w < 7.25$  deprem seviyelerinde yapısal sistem bütünlükleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %9~%18 ve %18~%37 aralıklarında sapmalar yapmasına sebep olmaktadır. Bu durum, aynı binaların  $M_w = 7.25$  deprem seviyelerinde ise, yine yapısal sistem bütünlükleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %21~%30 ve %37~%49 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

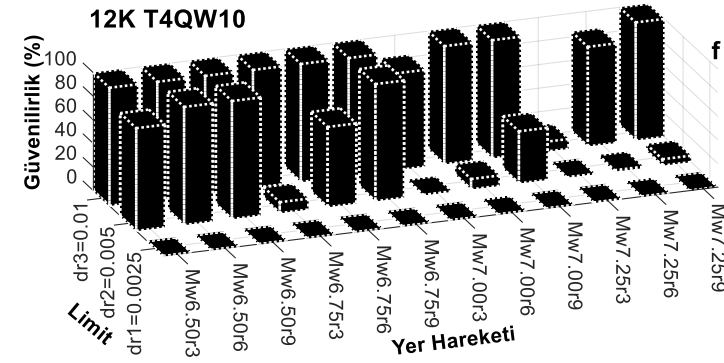
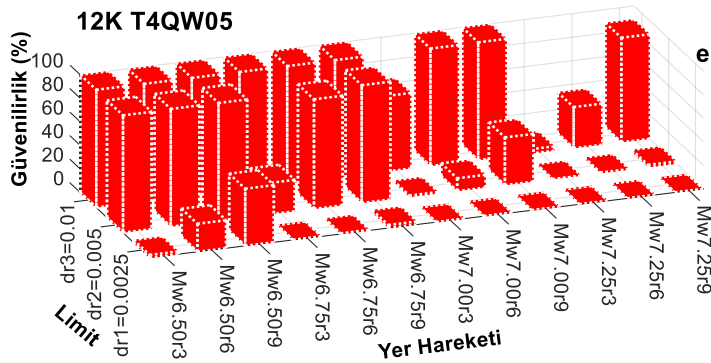
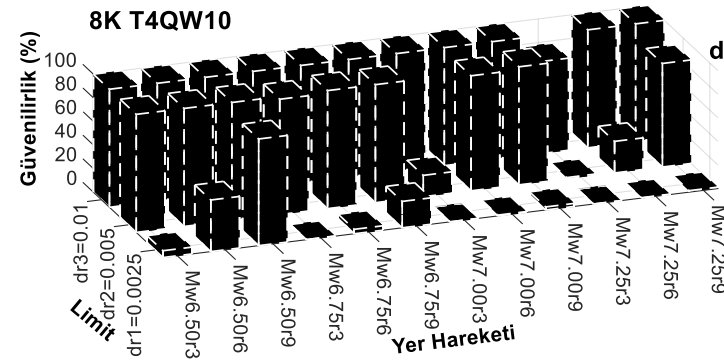
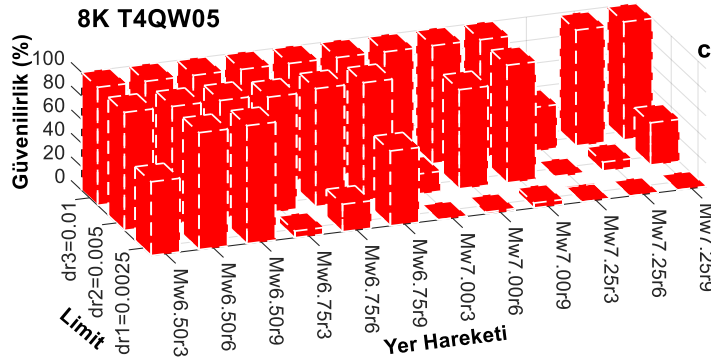
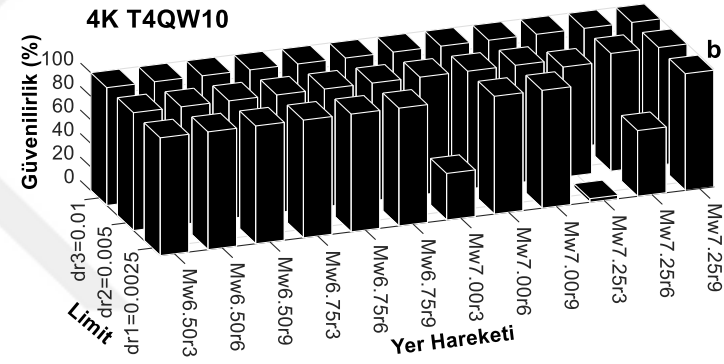
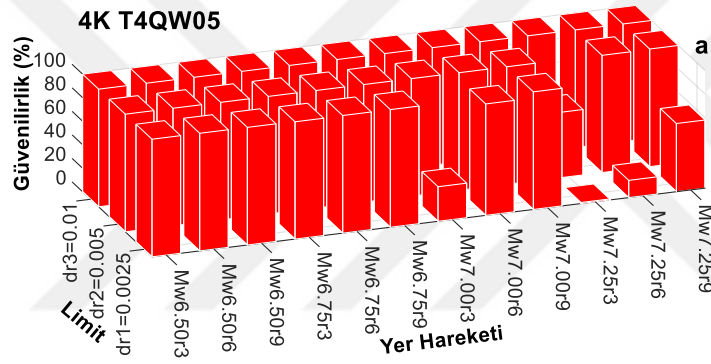
Benzer şekilde, Şekil 4.19-(b, f, j) ve Şekil 4.20-(b, f, j)'den görüldüğü üzere; üç belirsizlik kaynağının analizlerde birlikte dikkate alınması durumu, T3QW10 izolasyon sistemine sahip binaların  $M_w < 7.25$  deprem seviyelerinde yapısal sistem bütünlükleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %6~%19 ve %11~%32 aralıklarında sapmalar yapmasına sebep olmaktadır. Bu durum, aynı binaların  $M_w = 7.25$  deprem seviyelerinde ise, yine yapısal sistem bütünlükleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %23~%32 ve %40~%52 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

Diğer taraftan, Şekil 4.19-(c, g, k) ve Şekil 4.20-(c, g, k)'den görüldüğü üzere; üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu; T4QW05 izolasyon sistemine sahip binaların yapısal sistem bütünlükleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin -deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın- %9~%18 ve %16~%34 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

Bununla birlikte, Şekil 4.19-(d, h, l) ve Şekil 4.20-(d, h, l)'den görüldüğü üzere; söz konusu belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu; T4QW10 izolasyon sistemine sahip binaların yapısal sistem bütünlükleri açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin yine -deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın- %5~%16 ve %9~%32 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

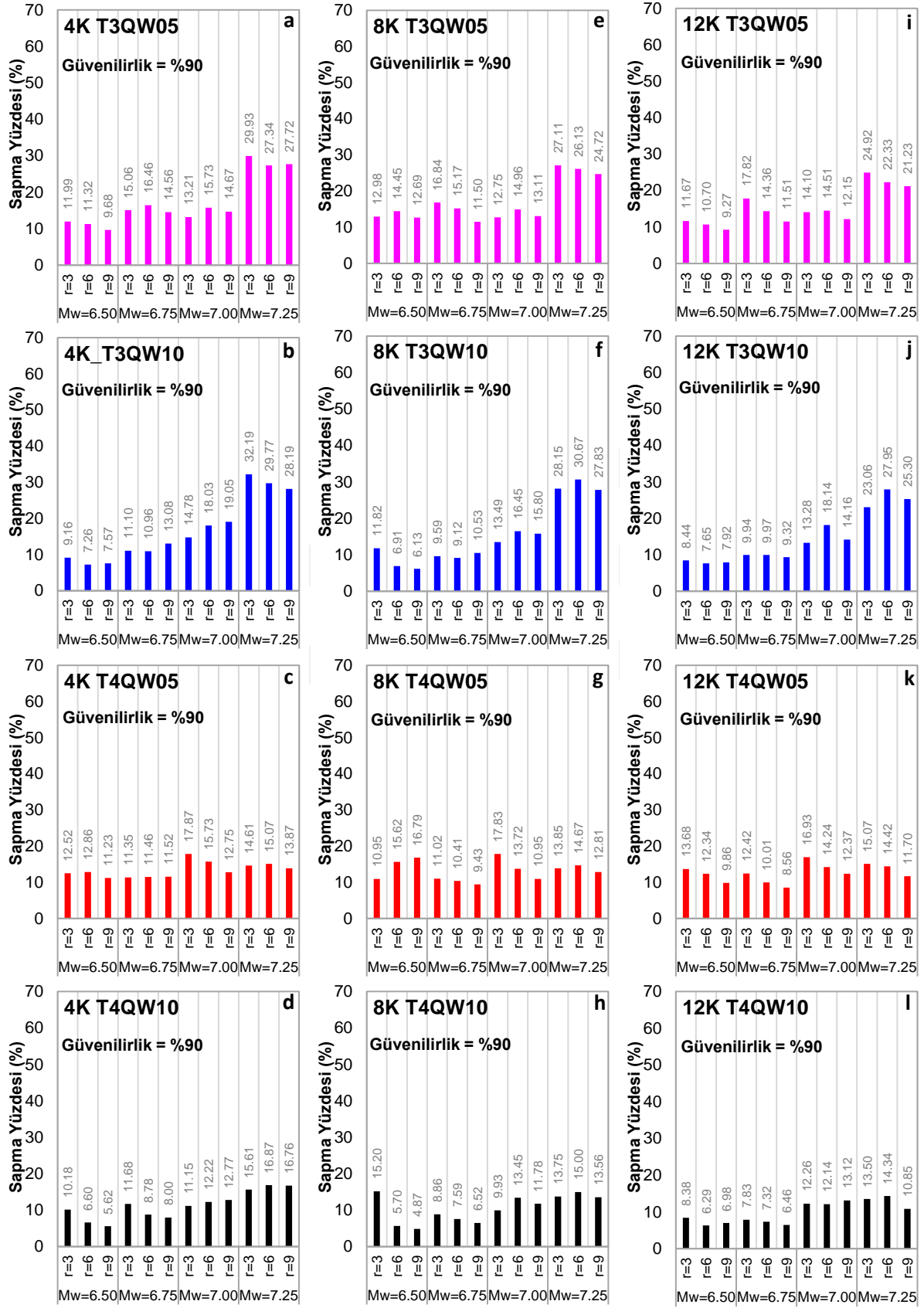


Şekil 4.17: Binaların yapısal sistem bütünlüğü güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T3QW05, (b, d, f): T3QW10 izolasyon sistemli binalar için

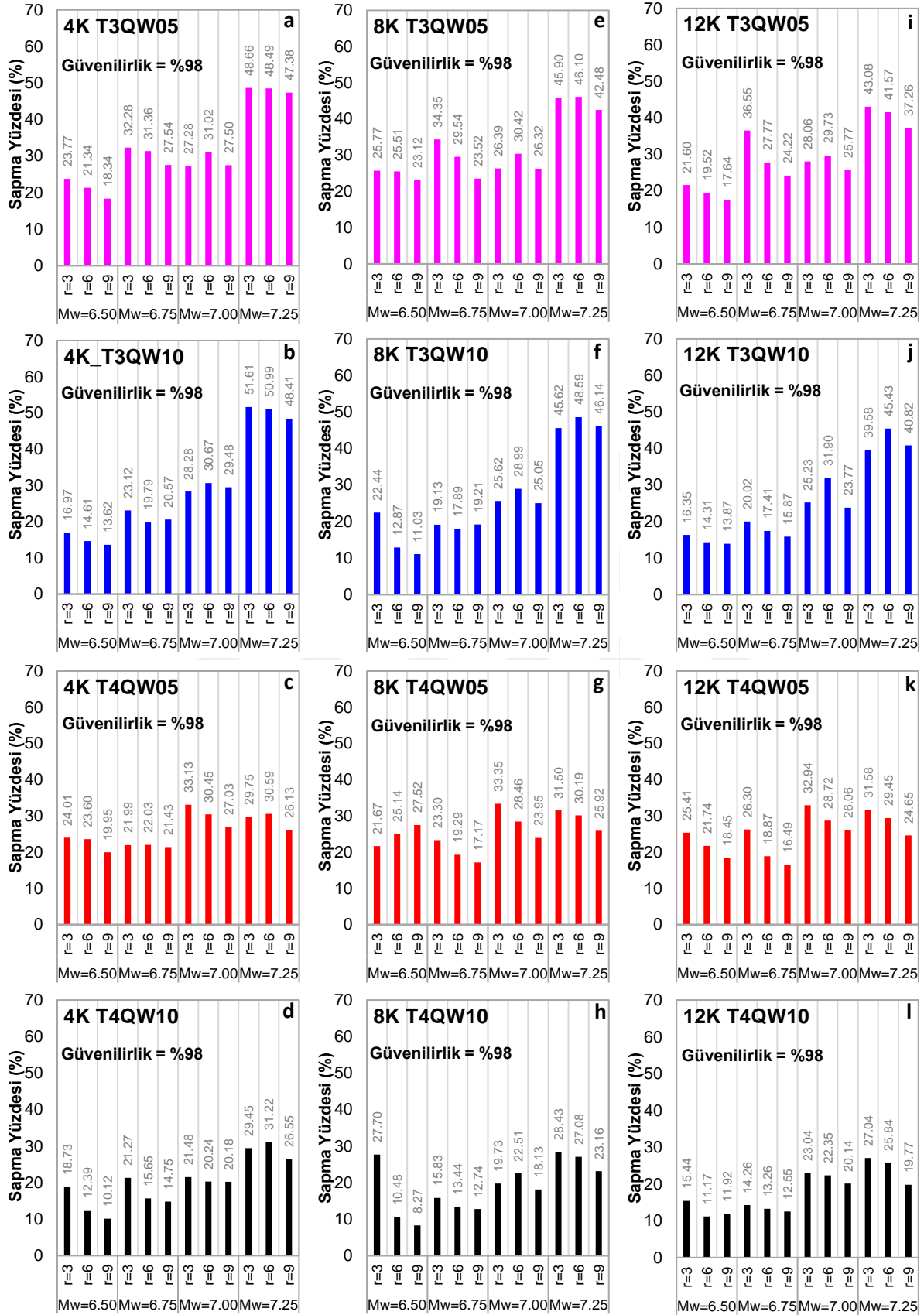


**Şekil 4.18:** Binaların yapısal sistem bütünlüğü güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T4QW05, (b, d, f): T4QW10 izolasyon sistemli binalar için





**Şekil 4.19:** Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının yapısal sistem bütünlüğü güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %90); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda



**Şekil 4.20:** Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının yapısal sistem bütünlüğü güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %98); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda

#### 4.2.1.3. Titreşime Duyarlı Ekipman Güvenilirlikleri Açısından

Sismik izolasyon teknolojisi, özellikle titreşime duyarlı önemli teçhizatların bulunduğu hastane, acil operasyon, savunma ve telekomünikasyon yapılarında; içinde bulunanların hasara uğraması ya da kullanım dışı kalmasının ekonomiye büyük zarar vereceği sıvı depolama tankları ve nükleer enerji santralleri gibi endüstri ve ileri teknoloji yapılarında; deprem sırasında ve sonrasında kullanılabilir kalması gereken kamu binalarında; değerli sergilerin bulunduğu müzelerde ve karayolu köprüleri gibi altyapı tesislerinde tercih edilmektedir (Komodromos, 2000; Chen ve Scawthorn, 2002; Wolff ve Constantiou, 2004). Bu binaların maliyetleri, binalarda devam eden operasyonların maliyetleri ve bu çalışmaların durması halinde sebep olabileceği ekonomik kayıplar ile kıyaslandığında önemsiz olabilirler. Dolayısıyla, söz konusu binaların titreşime duyarlı cihazlarının güvenilirliklerinin sağlanabilmesi için kat ivmeleri, belirli limitleri aşmamalıdır (Alhan ve Gavin, 2005; Ungar, 2007; Ismail vd., 2009; Alhan ve Şahin, 2011). Bu sebeplerle, çalışma kapsamında titreşime duyarlı ekipman güvenilirlikleri açısından gerçekleştirilen güvenilirlik analizlerinde, Bölüm 4.2.1’de de belirtildiği üzere pik kat ivmelerinin maksimumları ( $ptai_{max}$ ) yapısal cevap parametresi olarak göz önünde bulundurulmuştur. Burada şunu belirtmek gerekir ki; Bölüm 4.1’de belirtildiği üzere; bu  $ptai_{max}$  kat ivmeleri, her bir yer hareketi etkisinde her bir bina için gerçekleştirilen  $N_{MCS} = 3000$  simülasyondan her  $i$ . simülasyon ( $i=1,2,3,.., 3000$ ) için binanın *tüm katlarından* elde edilen toplam kat ivmelerinin maksimum değerleridir. Titreşime duyarlı ekipmanın binanın herhangi bir katında bulunma ihtimaline karşı, en olumsuz durum göz önünde bulundurularak;  $i$ . simülasyona ait binanın tüm katlarından elde edilen pik toplam kat ivmelerinin maksimumları ( $ptai_{max}$ ) kullanılmıştır.

Güvenilirlik analizlerinde  $ptai_{max}$  kat ivmelerinin sağlanması gereken yapısal performans kriterleri, Tablo 4.1’de verilmiş olup; bu kriterlerdeki ivme limitleri ( $Limit_a$ ), çeşitli titreşime duyarlı ekipman için literatürden ve ilgili teknik broşürlerden temin edilen ivme dayanım limitlerine göre belirlenmiştir. Pan vd., (2005) çalışmasında belirtildiği üzere; yönetmeliklerde açık bir şekilde belirtilmese de maksimum yatay ivme değerleri yaygın bir kural olarak  $3 \text{ m/s}^2$  ( $\approx 0.3g$ ) ile sınırlandırılmaktadır. Mizuno vd., (1986) tarafından belirtildiği üzere; bu limit değer, tıbbi ve elektronik cihazlar için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde belirlenmiştir. Ayrıca, Worksafe Technologies (2013)’de temin edildiği üzere, bazı disk sürücüler için çalışma ve çalışmama durumlarında aşılması gereken maksimum ivme limitlerinin ise,  $0.2g \sim 1.0g$  aralığında değiştiği görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda,

mevcut çalışma kapsamında pik toplam ivmelerin maksimumları ( $pt_{ai,max}$ ) için limit değerleri ( $Limit_a$ ), 0.2g, 0.5g ve 1.0g olarak alınmıştır.

Belirlenen bu kat ivmesi limit değerlerine göre, 12 bina modelinin her birinin titreşime duyarlı ekipmanları açısından güvenilirlikleri, 12 yer hareketi durumunun her biri için ayrı ayrı olmak üzere Denklem 4.1 ile hesaplanmıştır.  $T_{0,nom} = 3s$  ve  $T_{0,nom} = 4s$  nominal izolasyon periyotlu tüm 4, 8, 12 katlı binaların her bir deprem seviyesindeki titreşime duyarlı ekipmanları açısından güvenilirlikleri, sırasıyla Şekil 4.21 ve 4.22'deki gibi elde edilmiştir. Şekil 4.21 ve 4.22'den genel olarak görüldüğü üzere; üstyapı esnekliğinin artması halinde, özellikle 0.2g ve 0.5g limitlerine göre binaların titreşime duyarlı ekipman açısından güvenilirlikleri azalmaktadır. Ayrıca, üstyapı esnekliğine bağlı olarak söz konusu güvenilirliklerde meydana gelen azalma miktarları,  $T_{0,nom} = 4s$  olan binalarda daha azdır.

Şekil 4.21-(a,b) ve 4.22-(a,b)'den görüldüğü üzere; tüm 4 katlı binaların,  $-M_w7.25r3$  hariç- tüm depremler etkisinde 1.0g limitine göre güvenilirlikleri, %90'ın üzerindedir.  $T_{0,nom} = 3s$  olan 4 katlı binaların, tüm  $M_w < 7.00$  depremleri ( $M_w6.75r3$  hariç) etkisinde 0.5g limitine göre güvenilirlikleri %100 iken;  $M_w7.00r3$  ve  $M_w7.25r3$  depremleri etkisinde bu binaların aynı limite göre güvenilirlikleri %0'a inmektedir.  $T_{0,nom} = 4s$  olan 4 katlı binaların ise, tüm  $M_w < 7.25$  depremleri ( $M_w7.00r3$  hariç) etkisinde 0.5g limitine göre güvenilirlikleri %100 iken;  $M_w7.25r3$  etkisindeki güvenilirlikler neredeyse %0'dır.  $T_{0,nom} = 3s$  olan 4 katlı binalarda,  $M_w > 6.50$  depremleri etkisinde 0.2g limiti tamamen aşılmaktadır.  $T_{0,nom} = 4s$  olan 4 katlı binalarda ise; 0.2g limiti,  $M_w \geq 7.00$  depremleri etkisinde neredeyse tamamen aşılmaktadır.

Şekil 4.21-(c,d) ve 4.22-(c,d)'den görüldüğü üzere; tüm 8 katlı binaların,  $-M_w7.25r3$  hariç- tüm depremler etkisinde 1.0g limitine göre güvenilirlikleri, %80'in üzerindedir.  $T_{0,nom} = 3s$  olan 8 katlı binaların;  $M_w < 7.00$  depremleri ( $r = 3$  km hariç) etkisinde 0.5g limitine göre güvenilirlikleri %100 iken;  $M_w7.00r3$  ve  $M_w7.25r3$  depremleri etkisinde bu binaların aynı limite göre güvenilirlikleri %0'a inmektedir.  $T_{0,nom} = 4s$  olan 8 katlı binaların; tüm  $M_w < 7.00$  depremleri etkisinde 0.5g limitine göre güvenilirlikleri %100 iken;  $M_w7.25r3$  etkisindeki güvenilirlikler %0'dır.  $T_{0,nom} = 3s$  olan 8 katlı binalar ile 8K-T4QW10 ( $T_{0,nom} = 4s$  ve  $(Q/W)_{nom} = \%10$  olan 8 katlı) binasında; 0.2g limiti, tüm depremler etkisinde tamamen aşılmaktadır. 8K-T4QW05 ( $T_{0,nom} = 4s$  ve  $(Q/W)_{nom} = \%5$  olan 8 katlı) binasında ise; 0.2g limiti,  $M_w \geq 7.00$  depremleri etkisinde tamamen aşılmaktadır.

Şekil 4.21-(e,f) ve 4.22-(e,f)'den görüldüğü üzere;  $T_{0,nom} = 3$  s olan 12 katlı binaların,  $-M_w 7.25r3$  hariç- tüm depremler etkisinde 1.0g limitine göre güvenilirlikleri %70 üzerindedir.  $T_{0,nom} = 4$  s olan 12 katlı binaların, tüm depremler etkisinde 1.0g limitine göre güvenilirlikleri ise, %90'ın üzerindedir. Diğer taraftan, tüm 12 katlı binalarda, 0.2g limiti neredeyse tüm deprem seviyeleri için aşılmaktadır.

➤ **Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının binaların titreşime duyarlı ekipmanları açısından güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları**

Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin analizlerde birlikte dikkate alınması durumunun, farklı üstyapı esnekliğine sahip taban izolasyonlu binaların titreşime duyarlı ekipmanları açısından güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları, söz konusu binaların titreşime duyarlı ekipmanları açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinde bu belirsizlik kaynakları nedeniyle meydana gelen sapma yüzdeleri olarak hesaplanmıştır. Titreşime duyarlı ekipmanlarının %90 ve %98 güvenilirlik seviyeleri üzerindeki söz konusu etki oranları, tüm 4, 8 ve 12 katlı binalar için tüm yer hareketi seviyelerinde ayrı ayrı olmak üzere sırasıyla Şekil 4.23 ve 4.24'de verildiği gibi elde edilmiştir.

Şekil 4.23 ve 4.24'den görüldüğü üzere; söz konusu etki oranları (sapma yüzdeleri), güvenilirlik seviyesinin %90'dan %98'e çıkması halinde artmaktadır. Ayrıca, yine bu şekillerdeki grafiklerden genel olarak görüldüğü üzere; üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınmasının, farklı üstyapı esnekliğine sahip taban izolasyonlu binaların titreşime duyarlı ekipmanları açısından güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları, üstyapı esneklik seviyesinden etkilenmemektedir. Bu etki oranları, aynı  $T_{0,nom}$  ve  $(Q/W)_{nom}$  seviyesine sahip izolasyon sistemli 4, 8 ve 12 katlı binalarda aynı deprem seviyesinde birbirlerine yakın değerler almaktadır.

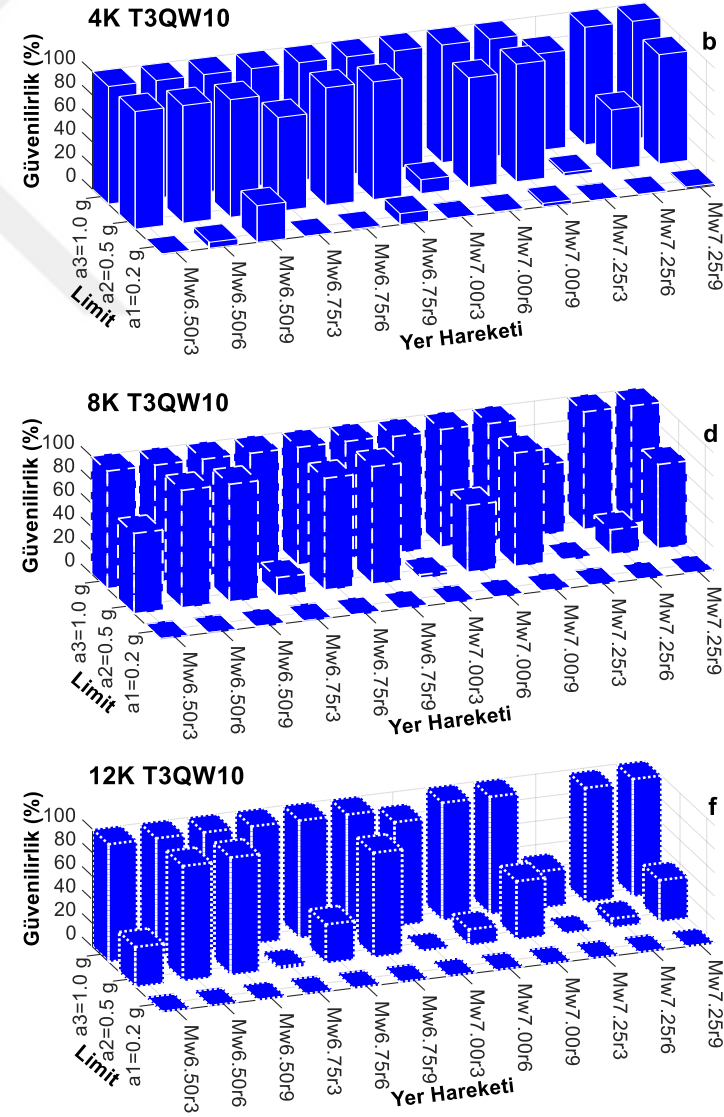
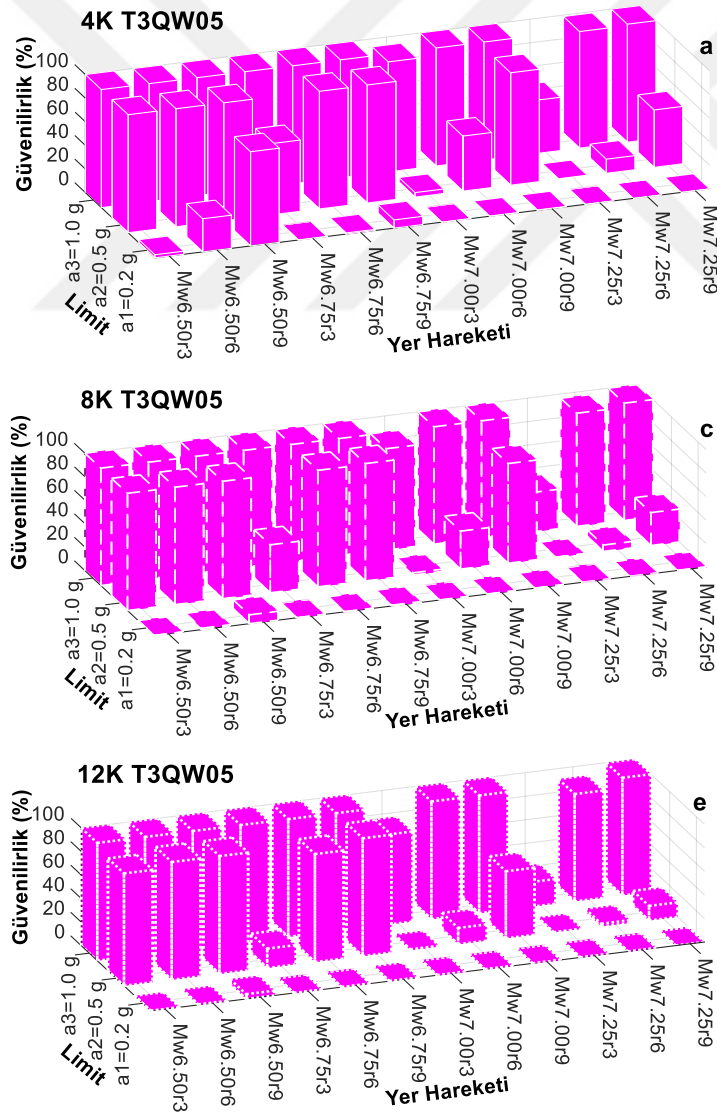
Şekil 4.23-(a, e, i) ve Şekil 4.24-(a, e, i)'den görüldüğü üzere; söz konusu üç belirsizlik kaynağının analizlerde birlikte dikkate alınması durumu, T3QW05 izolasyon sistemine sahip binaların  $M_w = 6.50, 6.75$  ve  $7.00$  deprem seviyelerinde titreşime duyarlı ekipmanları açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %6~%16 ve %12~%30 aralıklarında sapmalar yapmasına sebep olmaktadır. Bu durum, aynı binaların  $M_w = 7.25$  deprem seviyelerinde ise,

yine titreşime duyarlı ekipmanları açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %16~%27 ve %30~%45 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

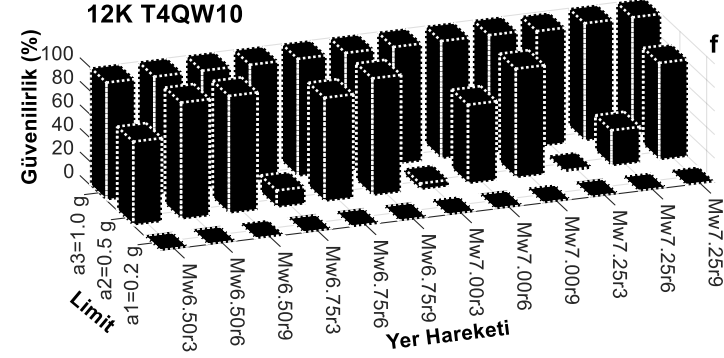
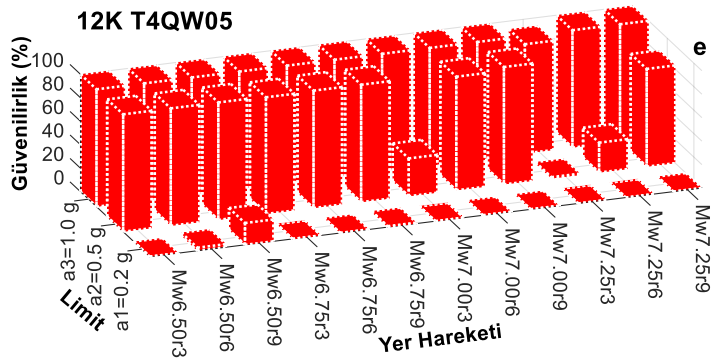
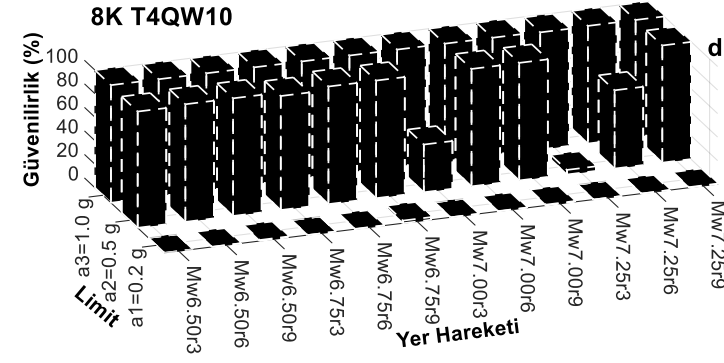
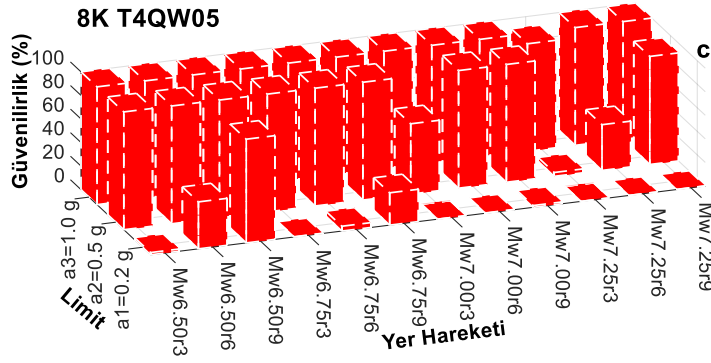
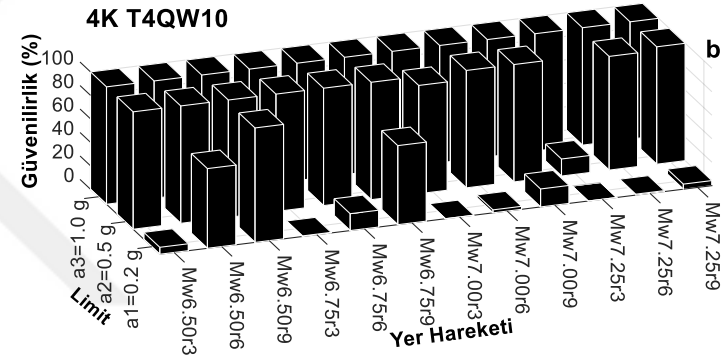
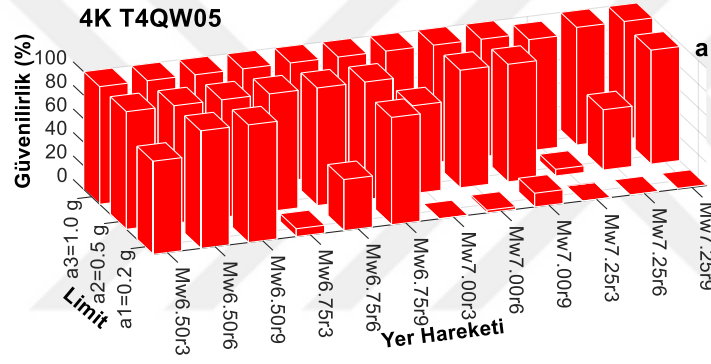
Benzer şekilde, Şekil 4.23-(b, f, j) ve Şekil 4.24-(b, f, j)'den görüldüğü üzere; üç belirsizlik kaynağının analizlerde birlikte dikkate alınması durumu, T3QW10 izolasyon sistemine sahip binaların  $M_w = 6.50, 6.75$  ve  $7.00$  deprem seviyelerinde titreşime duyarlı ekipmanları açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %6~%23 ve %11~%35 aralıklarında sapmalar yapmasına sebep olmaktadır. Bu durum, aynı binaların  $M_w = 7.25$  deprem seviyelerinde ise, yine titreşime duyarlı ekipmanları açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin, sırasıyla %20~%33 ve %33~%49 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

Diğer taraftan, Şekil 4.23-(c, g, k) ve Şekil 4.24-(c, g, k)'den görüldüğü üzere; üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu; T4QW05 izolasyon sistemine sahip binaların titreşime duyarlı ekipmanları açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin -deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın- %7~%18 ve %12~%33 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

Bununla birlikte, Şekil 4.23-(d, h, l) ve Şekil 4.24-(d, h, l)'den görüldüğü üzere; söz konusu belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu; T4QW10 izolasyon sistemine sahip binaların titreşime duyarlı ekipmanları açısından %90 ve %98 güvenilirlik seviyelerinin yine -deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın- %5~%30 ve %14~%44 aralıklarında değişen sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

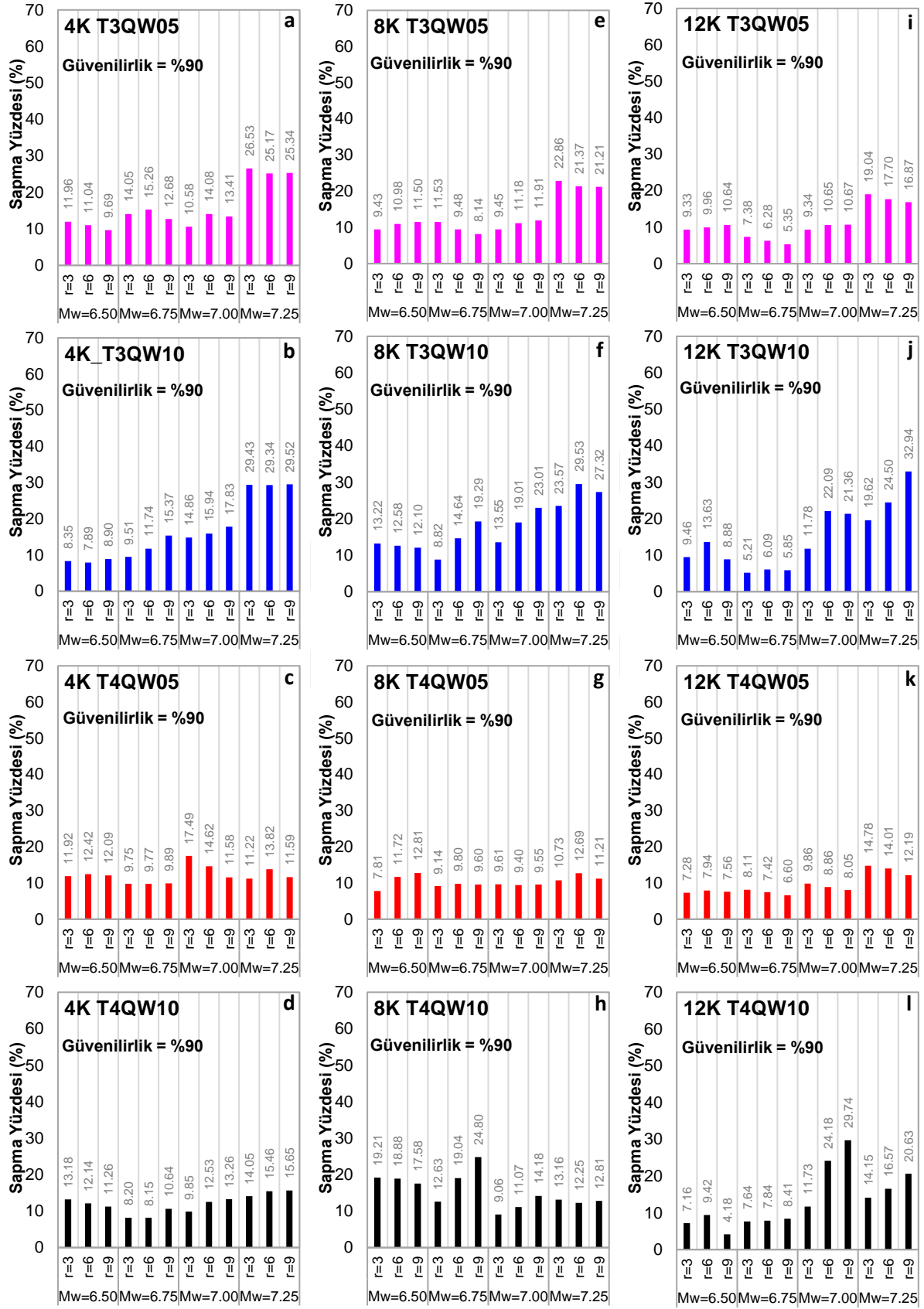


Şekil 4.21: Binaların titreşime duyarlı ekipman güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T3QW05, (b, d, f): T3QW10 izolasyon sistemli binalar için

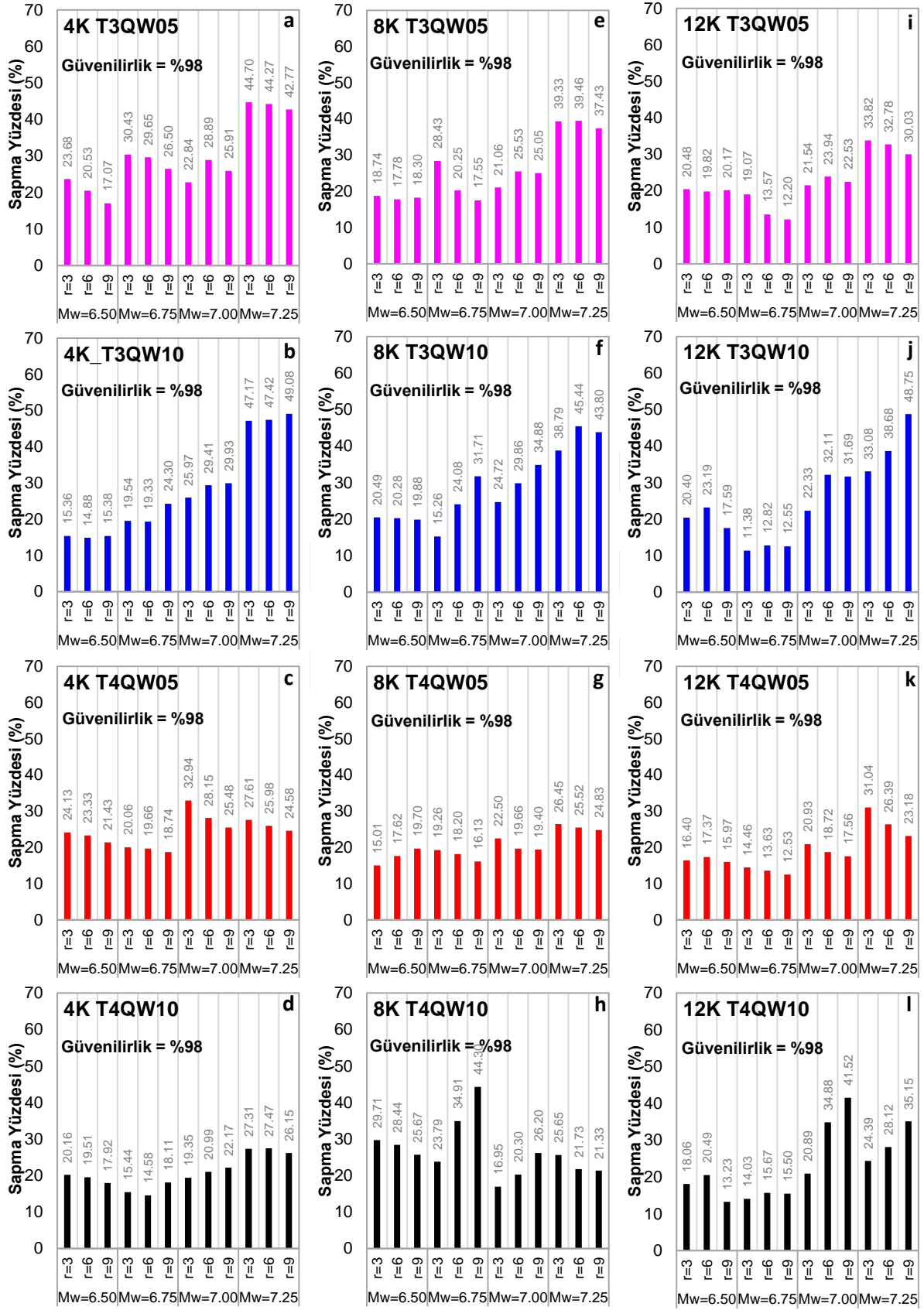


Şekil 4.22: Binaların titreşime duyarlı ekipman güvenilirliklerinin analizi; (a, c, e): T4QW05, (b, d, f): T4QW10 izolasyon sistemli binalar için





Şekil 4.23: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının titreşime duyarlı ekipman güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %90); (a-d): 4 katlı, (e-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda



Şekil 4.24: Belirsizlik kaynaklarının birlikte ele alınmasının titreşime duyarlı ekipman güvenilirlikleri üzerindeki etkileri (Güvenilirlik Seviyesi = %98); (a-d): 4 katlı, (b-h): 8 katlı, (i-l): 12 katlı binalarda

#### 4.2.2. İkinci Aşama Güvenilirlik Analizleri (Performans Testleri)

İkinci Aşama güvenilirlik analizlerinde, taban izolasyonlu binaların izolasyon sistemleri, yapısal sistem bütünlükleri ve titreşime duyarlı ekipmanları açısından güvenilirlikleri *birlikte* göz önünde bulundurulmuştur. Dolayısıyla ikinci aşama güvenilirlik analizlerinde bir binanın güvenilirliği, söz konusu güvenilirliklerle ilgili yapısal performans kriterlerinin *aynı anda* sağlanma olasılıkları olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, Bölüm 4.2.1’de Birinci Aşama güvenilirlik analizleri kapsamında taban izolasyonlu binaların izolasyon sistemi, titreşime duyarlı ekipman ve yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirliklerinin hesabında *ayrı ayrı* göz önünde bulundurulmuş Tablo 4.1’deki yapısal performans kriterleri kullanılarak; söz konusu 3 performans kriterinin *aynı anda* sağlanmaları durumu için çapraz kombinasyonlarıyla 27 performans testi oluşturulmuştur. Bu performans testlerinin kriterleri, Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.2:** İkinci Aşama Güvenilirlik Analizleri için oluşturulan 27 performans testi ve kriterleri

Grup Adı	Alt Grup Adı	Performans Test No	Performans Testi Kriteri			
			$ptai_{max}$	$pbdi_{max}$	$pdri_{max}$	
Grup 1	Grup 1a	Test 1		< 0.40 m	< 0.0025	
		Test 2		< 0.40 m	< 0.005	
		Test 3		< 0.40 m	< 0.01	
	Grup 1b	Test 4	< 0.2 g	&	< 0.70 m	< 0.0025
		Test 5			< 0.70 m	< 0.005
		Test 6			< 0.70 m	< 0.01
	Grup 1c	Test 7		< 1.00 m	< 0.0025	
		Test 8		< 1.00 m	< 0.005	
		Test 9		< 1.00 m	< 0.01	
Grup 2	Grup 2a	Test 10		< 0.40 m	< 0.0025	
		Test 11		< 0.40 m	< 0.005	
		Test 12		< 0.40 m	< 0.01	
	Grup 2b	Test 13	< 0.5 g	&	< 0.70 m	< 0.0025
		Test 14			< 0.70 m	< 0.005
		Test 15			< 0.70 m	< 0.01
	Grup 2c	Test 16		< 1.00 m	< 0.0025	
		Test 17		< 1.00 m	< 0.005	
		Test 18		< 1.00 m	< 0.01	
Grup 3	Grup 3a	Test 19		< 0.40 m	< 0.0025	
		Test 20		< 0.40 m	< 0.005	
		Test 21		< 0.40 m	< 0.01	
	Grup 3b	Test 22	< 1.0 g	&	< 0.70 m	< 0.0025
		Test 23			< 0.70 m	< 0.005
		Test 24			< 0.70 m	< 0.01
	Grup 3c	Test 25		< 1.00 m	< 0.0025	
		Test 26		< 1.00 m	< 0.005	
		Test 27		< 1.00 m	< 0.01	

İncelenen bir binanın Tablo 4.2'deki bir performans testinin ilgili performans kriterini sağlama olasılığı yani bu kriter açısından güvenilirliği ise, Denklem 4.2 ile hesaplanmıştır. Birinci Aşama güvenilirlik analizlerinde (Bölüm 4.2.1) olduğu gibi, bu denklemde  $ptai_{max}$ ,  $pbd_{i_{max}}$ ,  $pdri_{max}$  performans kriteri ile ilgili yapısal cevap parametrelerini göstermekte olup; “Limit<sub>a</sub>, Limit<sub>d</sub> ve Limit<sub>dr</sub>” söz konusu performans kriterinin sağlanabilmesi için bu cevap parametrelerinin aşmaması gereken limit değerlerini (Limit<sub>a</sub>=0.2g, 0.5g, 1.0g; Limit<sub>d</sub> = 0.4m, 0.7m, 1.0m; Limit<sub>dr</sub>=0.0025, 0.005, 0.01) göstermektedir. Diğer taraftan, “ $ptai_{max} < Limit_a$  &  $pbd_{i_{max}} < Limit_d$  &  $pdri_{max} < Limit_{dr}$ ” performans testinin kriterini gösterirken; “N<sub>MCS</sub>” bu bina için bir yer hareketi etkisinde gerçekleştirilen toplam Monte Carlo simülasyonu sayısını, “N<sub>( $ptai_{max} < Limit_a$  &  $pbd_{i_{max}} < Limit_d$  &  $pdri_{max} < Limit_{dr}$ )</sub>” ise göz önünde bulundurulmuş performans kriterinin sağlandığı simülasyonların sayısını göstermektedir.

$$\text{Güvenilirlik} = \frac{N_{(ptai_{max} < Limit_a \& pbd_{i_{max}} < Limit_d \& pdri_{max} < Limit_{dr})}}{N_{MCS}} \times 100 \quad (\%) \quad (4.2)$$

Tablo 4.2'de görüldüğü üzere; 27 performans testi, 3 ana gruba (Grup 1, Grup 2, Grup 3) ayrılmış olup; her ana gruptaki 9 performans testi için kat ivme limitleri aynıdır. Grup 1, Grup 2, Grup 3 testleri için kat ivme limitleri sırasıyla 0.2g, 0.5g ve 1.0g olarak alınmıştır. Bununla birlikte her ana grup, izolatör deplasman limitlerine göre 3 alt gruba (a, b, c) ayrılmış olup; her alt gruptaki 3 performans testi için izolatör deplasman limitleri aynıdır. Bu doğrultuda, her ana grubun “a, b, c” alt gruplarındaki testleri için izolatör deplasman limitleri sırasıyla 0.4m, 0.7m ve 1.0m olarak alınmıştır. Görüldüğü üzere, her alt gruptaki 3 performans testi için kat ivmesi ve izolatör deplasman limitleri aynı iken; bu testlerdeki farklılık görece kat öteleme oranı limitleri ile sağlanmaktadır. Yine Tablo 4.2'den görüldüğü üzere, bir alt gruptaki birinci, ikinci ve üçüncü sıradaki performans testleri için görece kat öteleme oranı limitleri, sırasıyla 0.0025, 0.005 ve 0.01 olarak alınmıştır.

Bu doğrultuda, çalışma kapsamındaki 12 taban izolasyonlu bina modelinin her birinin 12 yer hareketinin her biri (Bkz. Tablo 3.4) etkisinde elde edilen  $pbd_{i_{max}}$ ,  $pdri_{max}$  ve  $ptai_{max}$  yapısal cevap parametreleri birlikte göz önünde bulundurularak 27 performans testi gerçekleştirilmiş olup; bu ana bölümdeki toplam 144 bina ve yer hareketi eşleşmesi için toplam 3888 performans testi yapılmıştır. Söz konusu binaların performans testlerinin sonuçları, aynı  $T_{0,nom}$  ve aynı  $(Q/W)_{nom}$  değerlerine sahip 4, 8 ve 12 katlı binalar için gruplar halinde ve karşılaştırmalı olacak şekilde alt bölümlerde sunulmuştur.

#### 4.2.2.1. $T_{0,nom} = 3$ s ve $(Q/W)_{nom} = \%5$ İzolasyon Sistemlerine Sahip Binalar için Gerçekleştirilen Performans Testlerinin Sonuçları

$T_{0,nom} = 3$  s ve  $(Q/W)_{nom} = \%5$  olan izolasyon sistemlerine sahip 4K-T3QW05, 8K-T3QW05 ve 12K-T3QW05 binaları için gerçekleştirilen performans testlerinin (ikinci aşama güvenilirlik analizlerinin) sonuç grafikleri, sırasıyla Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27’de verilmiş olup; bu testlerle ilgili bulgular, Tablo 4.2’deki gruplandırmaya göre üç ana grup (Grup 1, Grup 2 ve Grup 3) başlığı altında aşağıda sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

##### Grup 1 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 0.2 g):

4K-T3QW05 binasının -M<sub>w</sub>650r6 ve M<sub>w</sub>650r9 depremleri hariç- tüm deprem seviyeleri için ivme limitinin 0.2g olduğu Grup 1 testlerine göre güvenilirlikleri %0’dır (Şekil 4.25-a-b-c). Bu binanın M<sub>w</sub>650r6 ve M<sub>w</sub>650r9 depremleri için aynı testlerdeki güvenilirlikleri ise, %80’in altındadır (Şekil 4.25-a-b-c). Benzer şekilde, 8K-T3QW05 ve 12K-T3QW05 binalarının da tüm deprem seviyeleri için Grup 1 testlerine göre güvenilirlikleri %0’dır (Şekil 4.26-a-b-c, Şekil 4.27-a-b-c).

##### Grup 2 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 0.5 g):

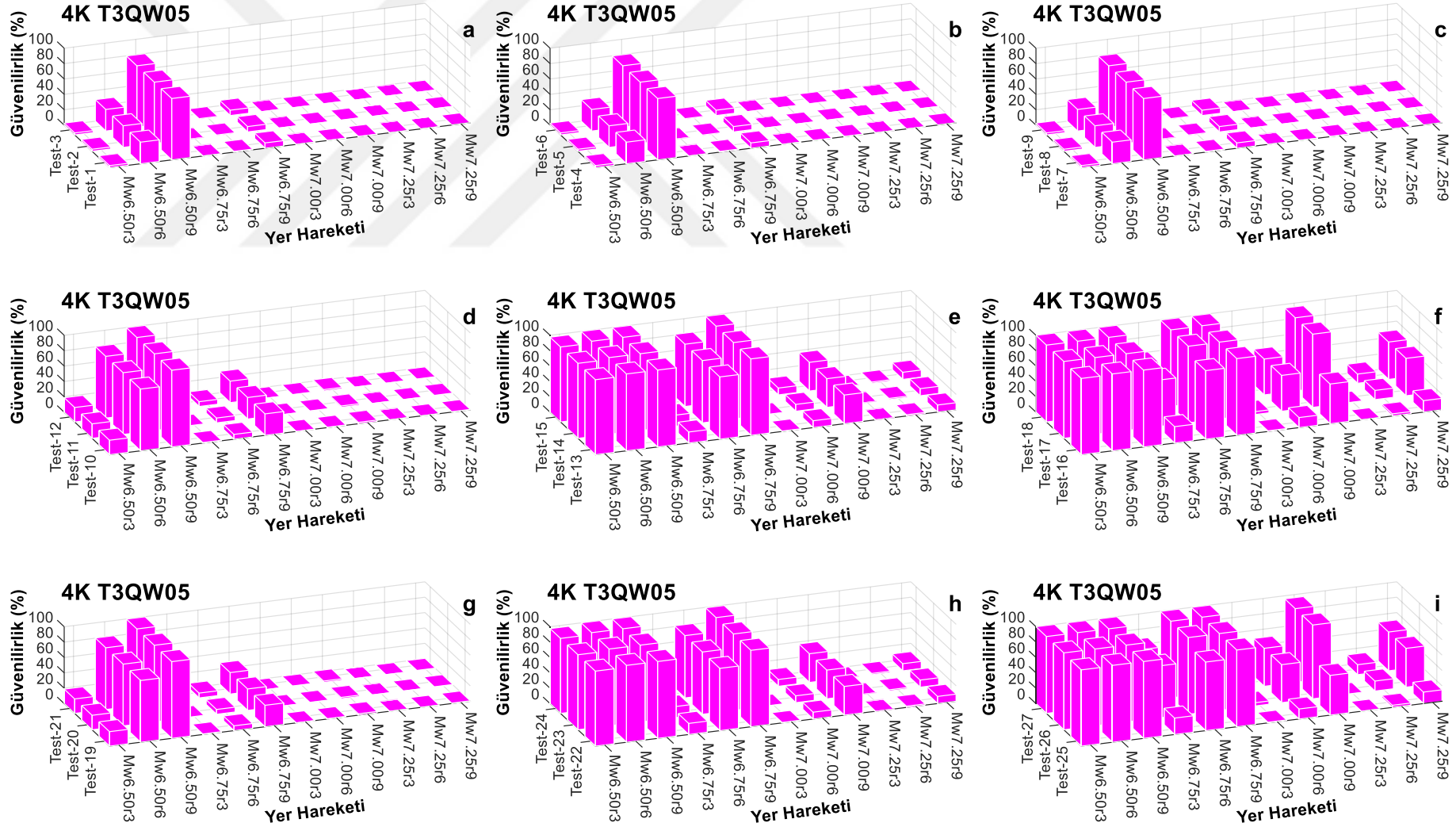
4K-T3QW05 binasının M<sub>w</sub>=6.50 (M<sub>w</sub>6.50r3 hariç) depremleri için Grup 2a (Limit<sub>a</sub>= 0.5g ve Limit<sub>d</sub>= 0.4 m) testlerindeki güvenilirlikleri %80’in üzerindedir (Şekil 4.25-d). Bu binanın M<sub>w</sub>≥6.75 deprem seviyeleri için Grup 2a testlerindeki güvenilirlikleri neredeyse %0’dır. Diğer taraftan, 4K-T3QW05 binasının M<sub>w</sub> < 7.00 (M<sub>w</sub>6.75r3 hariç) depremleri için Grup 2b (Limit<sub>a</sub> = 0.5g ve Limit<sub>d</sub> = 0.7 m) ve Grup 2c (Limit<sub>a</sub> = 0.5g ve Limit<sub>d</sub> = 1.0 m) test koşullarında güvenilirlikleri %80’in üzerindedir (Şekil 4.25-e-f). Ayrıca, 4K-T3QW05 binasının tüm M<sub>w</sub>=7.25 depremleri için Grup 2b ve Grup 2c testlerindeki güvenilirlikleri %50’nin altındadır (Şekil 4.25-e-f).

Diğer taraftan 8K-T3QW05 binasının Limit<sub>dr</sub> = 0.0025 olan Grup 2 testleri (Test10, 13 ve 16) için güvenilirlikleri M<sub>w</sub> > 6.50 depremleri için %0 iken; M<sub>w</sub> = 6.50 depremleri için %50’nin altında değerler almaktadır (Şekil 4.26-d-e-f). Bununla birlikte, 8K-T3QW05 binasının Grup 2b ve Grup 2c testlerinden Limit<sub>dr</sub> > 0.0025 olan testlerdeki güvenilirlikleri M<sub>w</sub> < 7.00 (M<sub>w</sub>6.75r3 hariç) depremleri için %60’ın üzerindedir (Şekil 4.26-e-f). Ayrıca, 8K-T3QW05 binasının Grup 2a, Grup 2b ve Grup 2c testlerine göre güvenilirlikleri, sırasıyla M<sub>w</sub>≥6.75, M<sub>w</sub>≥7.00 ve yine M<sub>w</sub>≥7.00 (M<sub>w</sub>7.00r9 hariç) depremleri için %40’ın altındadır.

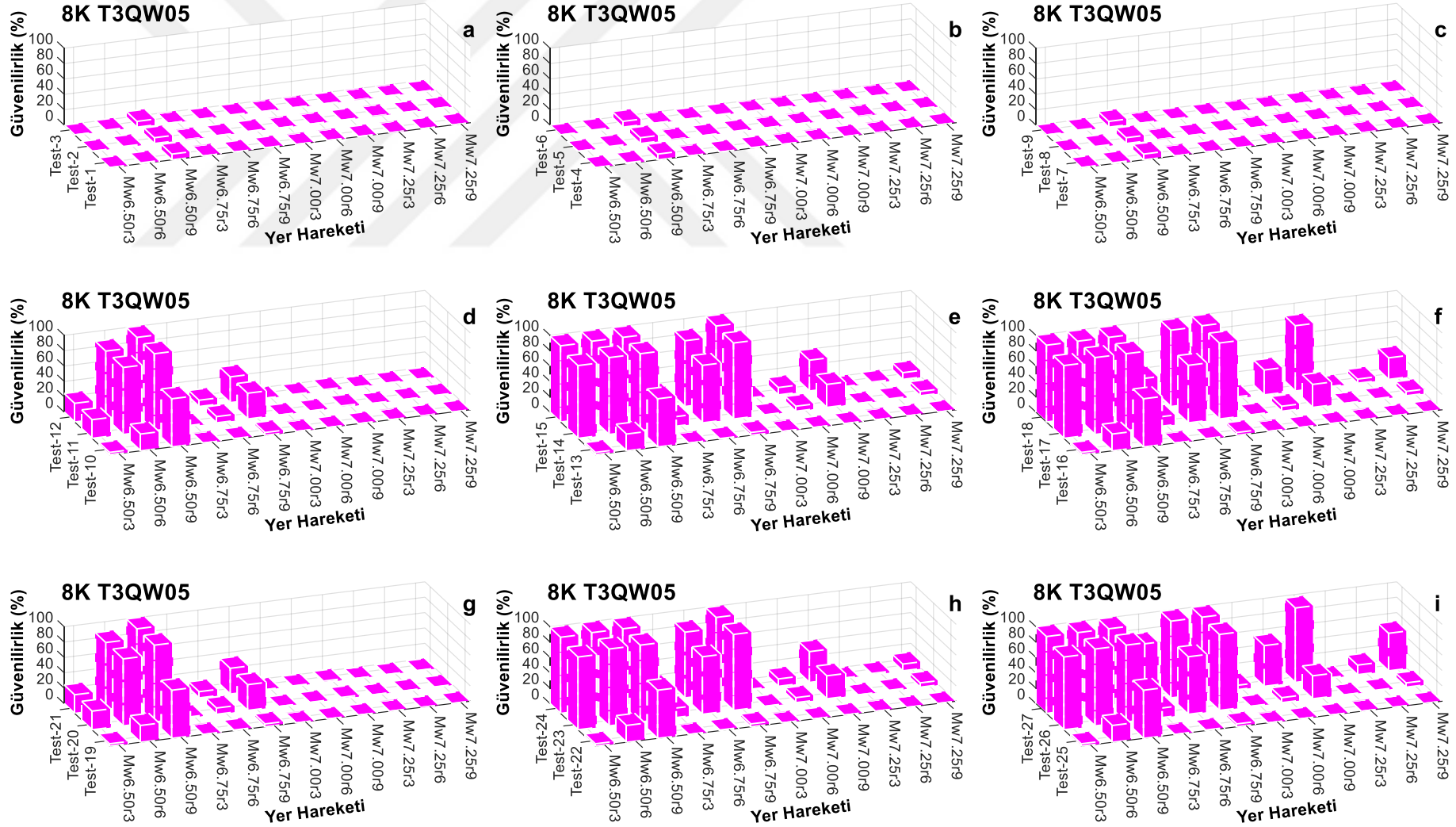
Şekil 4.27-d-e-f'den görüldüğü üzere; 12K-T3QW05 binasının  $Limit_{dr} = 0.0025$  olan tüm Grup 2 testleri için tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %0'dır. Diğer taraftan, 12K-T3QW05 binasının Grup 2b ve Grup 2c testlerinden  $Limit_{dr} > 0.0025$  olan testlerde ( $M_w = 6.50$  depremi için uygulanan Test14 ve Test17 hariç)  $M_w = 6.50$  depremleri için güvenilirlikleri %80'in üzerindedir (Şekil 4.27-e-f). Bununla birlikte, söz konusu 12K-T3QW05 binasının Grup 2a, Grup 2b ve Grup 2c testlerine göre güvenilirlikleri, sırasıyla  $M_w \geq 6.75$ ,  $M_w \geq 7.00$  ve yine  $M_w \geq 7.00$  depremleri için %50'nin altındadır.

**Grup 3 Performans Testleri ( $Limit_a = 1.0$  g):**

Şekil 4.25-d-e-f-g-h-i, Şekil 4.26-d-e-f-g-h-i ve Şekil 4.27-d-e-f-g-h-i'den görüldüğü üzere; 4K-T3QW05, 8K-T3QW05 ve 12K-T3QW05 binalarının Grup 3 ( $Limit_a = 1.0$  g) testlerindeki güvenilirlikleri -tüm deprem seviyeleri için geçerli olmak üzere- bu binaların Grup 2 testlerindeki güvenilirlikleriyle neredeyse tamamen aynıdır.

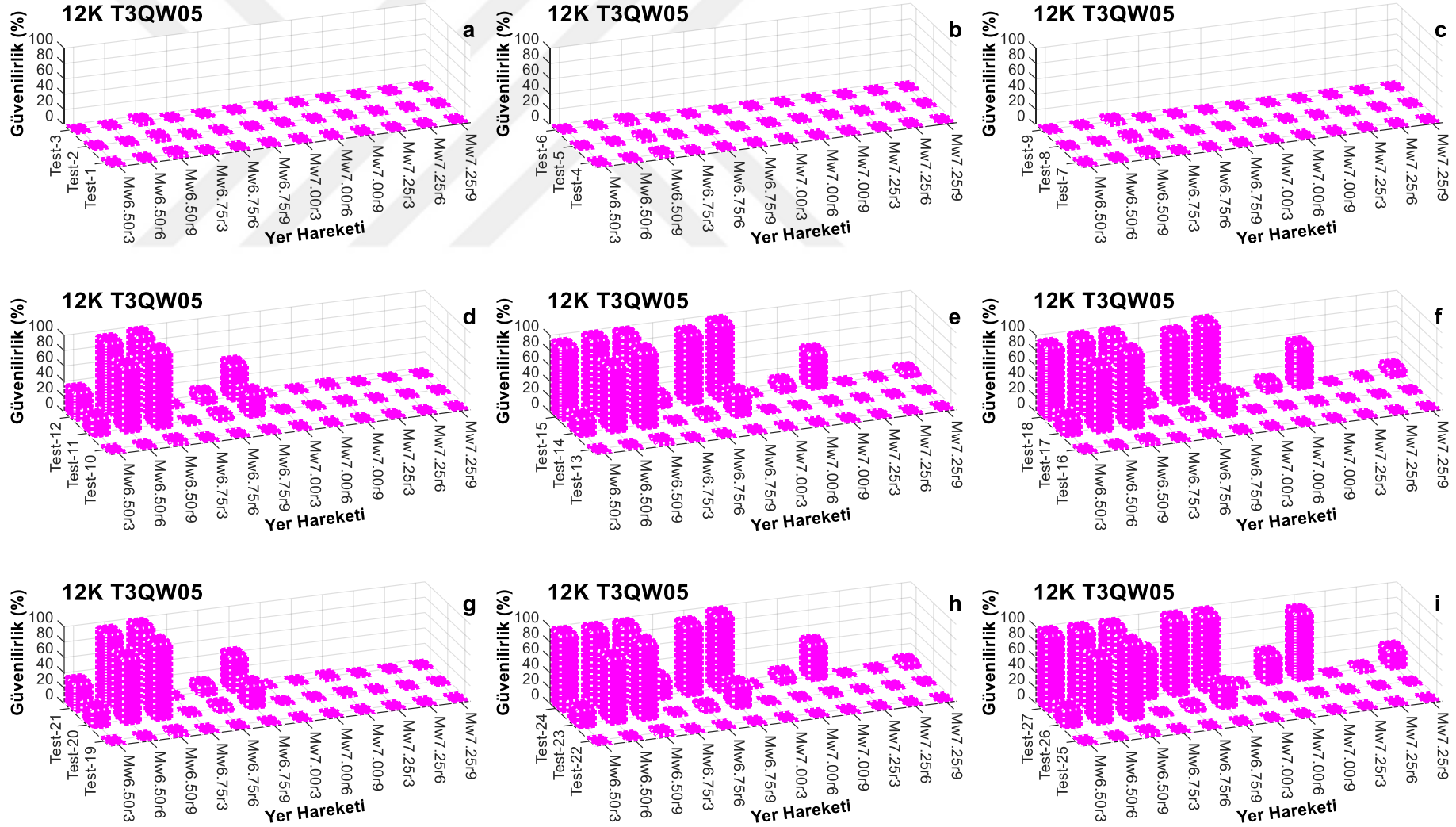


Şekil 4.25: 4K-T3QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları



Şekil 4.26: 8K-T3QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları





Şekil 4.27: 12K-T3QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları

#### 4.2.2.2. $T_{0,nom} = 3s$ ve $(Q/W)_{nom} = \%10$ İzolasyon Sistemlerine Sahip Binalar için Gerçekleştirilen Performans Testlerinin Sonuçları

$T_{0,nom} = 3 s$  ve  $(Q/W)_{nom} = \%10$  izolasyon sistemlerine sahip 4K-T3QW10, 8K-T3QW10 ve 12K-T3QW10 binaları için gerçekleştirilen performans testlerinin (ikinci aşama güvenilirlik analizlerinin) sonuç grafikleri, sırasıyla Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiş olup; bu testlerle ilgili bulgular, Tablo 4.2'deki gruplandırmaya göre üç ana grup (Grup 1, Grup 2 ve Grup 3) başlığı altında aşağıda sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

##### Grup 1 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 0.2 g):

İvme limitinin 0.2 g olduğu Grup 1 testlerinde 4K-T3QW10 binası, neredeyse tüm depremler ( $M_w 6.50r9$  hariç) için test koşullarının hiçbirini sağlayamamaktadır (Şekil 4.28-a-b-c). Bu binanın  $M_w 6.50r9$  depremi etkisinde gerçekleştirilen Grup1 testlerindeki güvenilirlikleri tamamen %30'un altındadır. Benzer şekilde 8K-T3QW10 ve 12K-T3QW10 binaları da Grup 1 testlerinde tüm depremler için test koşullarının hiçbirini sağlayamamaktadır (Şekil 4.29-a-b-c, Şekil 4.30-a-b-c).

##### Grup 2 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 0.5 g):

4K-T3QW10 binasının,  $M_w 6.50r6$ ,  $M_w 6.50r9$  ve  $M_w 6.75r9$  depremleri için Grup 2a testlerine göre güvenilirlikleri %100'dür (Şekil 4.28-d). Ancak, 4K-T3QW10 binasının  $M_w \geq 7.00$  depremleri için Grup 2a ve Grup 3a test koşullarında güvenilirlikleri %30'un altında kalmıştır (Şekil 4.28-d-g). Diğer taraftan, 4K-T3QW10 binasının Grup 2b ve Grup 2c testleri için  $M_w < 7.00$  ( $M_w 6.75r3$  hariç) depremleri altındaki güvenilirlikleri %100 (Şekil 4.28-e-f) iken;  $M_w 7.00r3$  ve  $M_w 7.25r3$  depremleri etkisindeki güvenilirlikleri %0'dır.

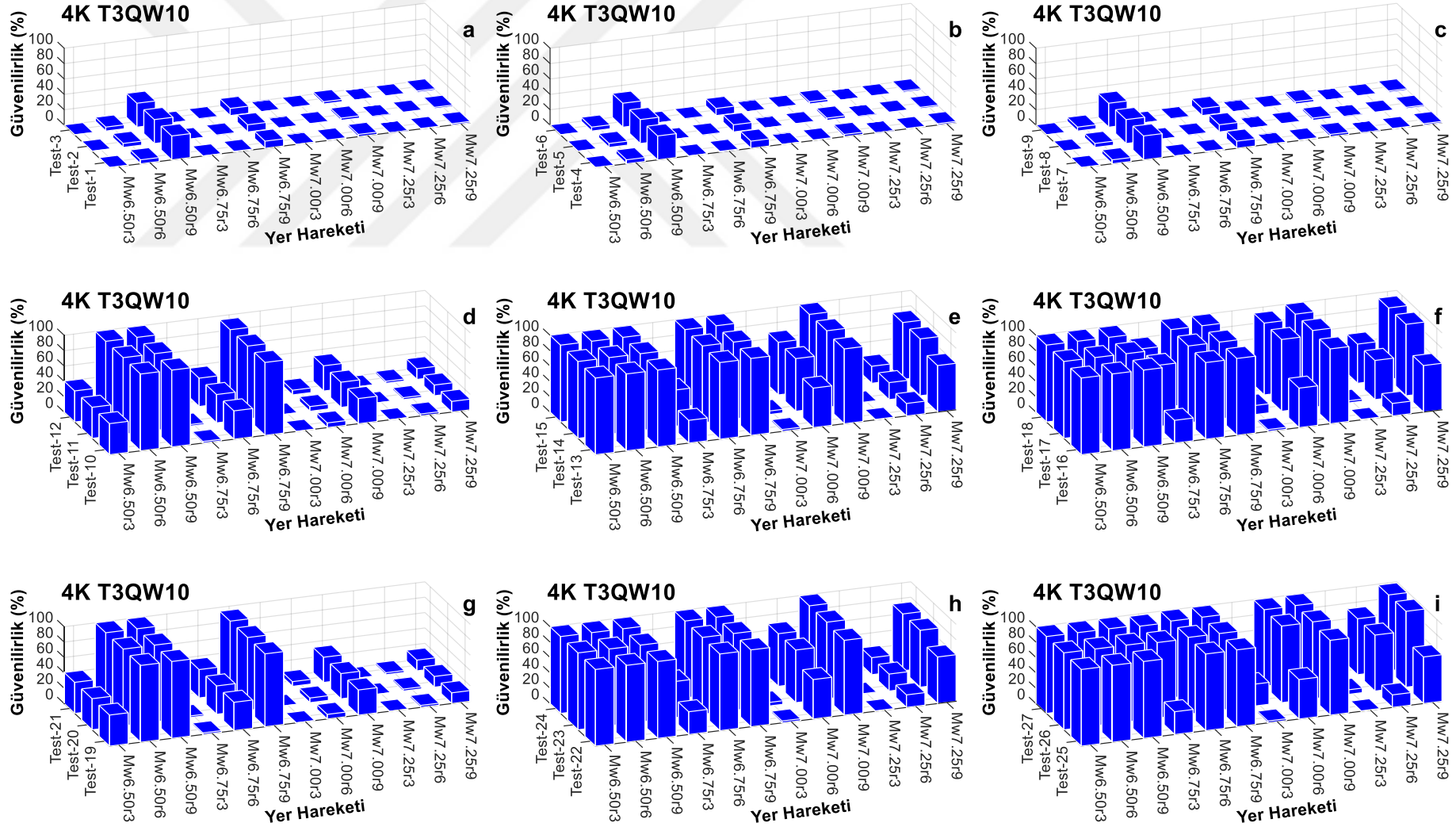
8K-T3QW10 binasının, Limit<sub>dr</sub> = 0.0025 için tüm Grup 2 testlerine göre güvenilirlikleri tüm deprem seviyelerinde %0'dır (Şekil 29-d-e-f). 8K-T3QW10 binasının,  $M_w \geq 7.00$  ( $M_w 7.00r9$  hariç) depremleri için Grup 2a testlerine göre güvenilirlikleri %0'dır (Şekil 4.29-d). 8K-T3QW10 binasının Grup 2b ve Grup 2c testlerinden Limit<sub>dr</sub> > 0.0025 olan testlerde  $M_w < 7.00$  ( $M_w 6.75r3$  hariç) depremleri için güvenilirlikleri tamamen %60'ın üzerinde (Şekil 4.29-e-f) iken;  $r=3$  ve 6 km için  $M_w=7.00$  ve 7.25 depremlerindeki güvenilirlikleri tamamen %60'ın altındadır.

12K-T3QW10 binasının limit<sub>dr</sub> = 0.0025 için tüm Grup 2 testlerindeki güvenilirlikleri, tüm deprem seviyeleri için %0'dır (Şekil 4.30-d-e-f). Diğer taraftan, 12K-T3QW10 binasının tüm Grup 2 testlerinden limit<sub>dr</sub> > 0.0025 olan testlerde  $M_w = 6.50$  ( $M_w 6.50r3$  hariç) depremleri için

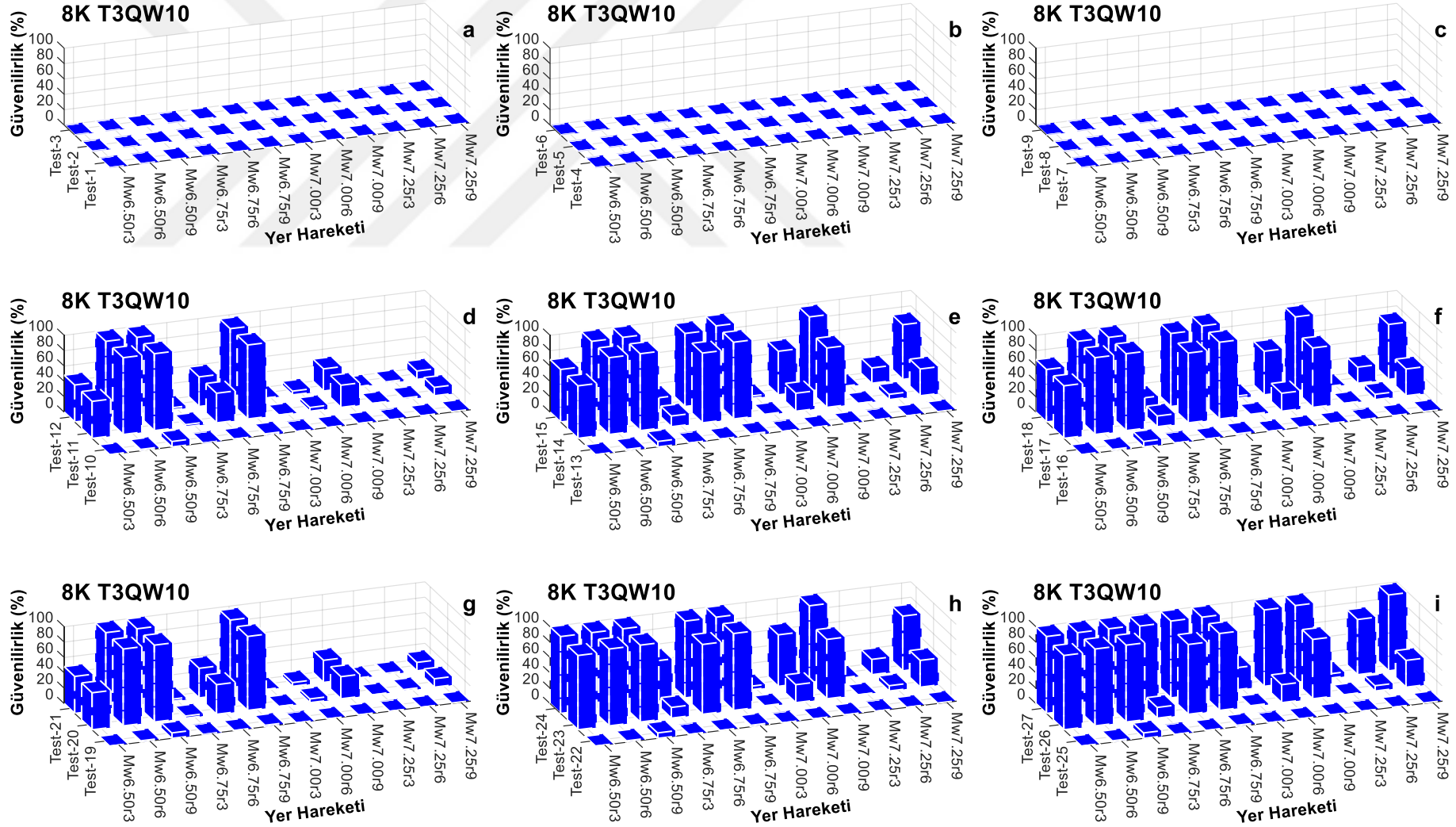
güvenilirlikleri %50'nin üzerinde (Şekil 4.30-e-f) iken; tüm  $M_w > 6.50$  depremleri ( $M_w 6.75$  r9 hariç) için güvenilirlikleri tamamen %50'nin altındadır.

### **Grup 3 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 1.0 g):**

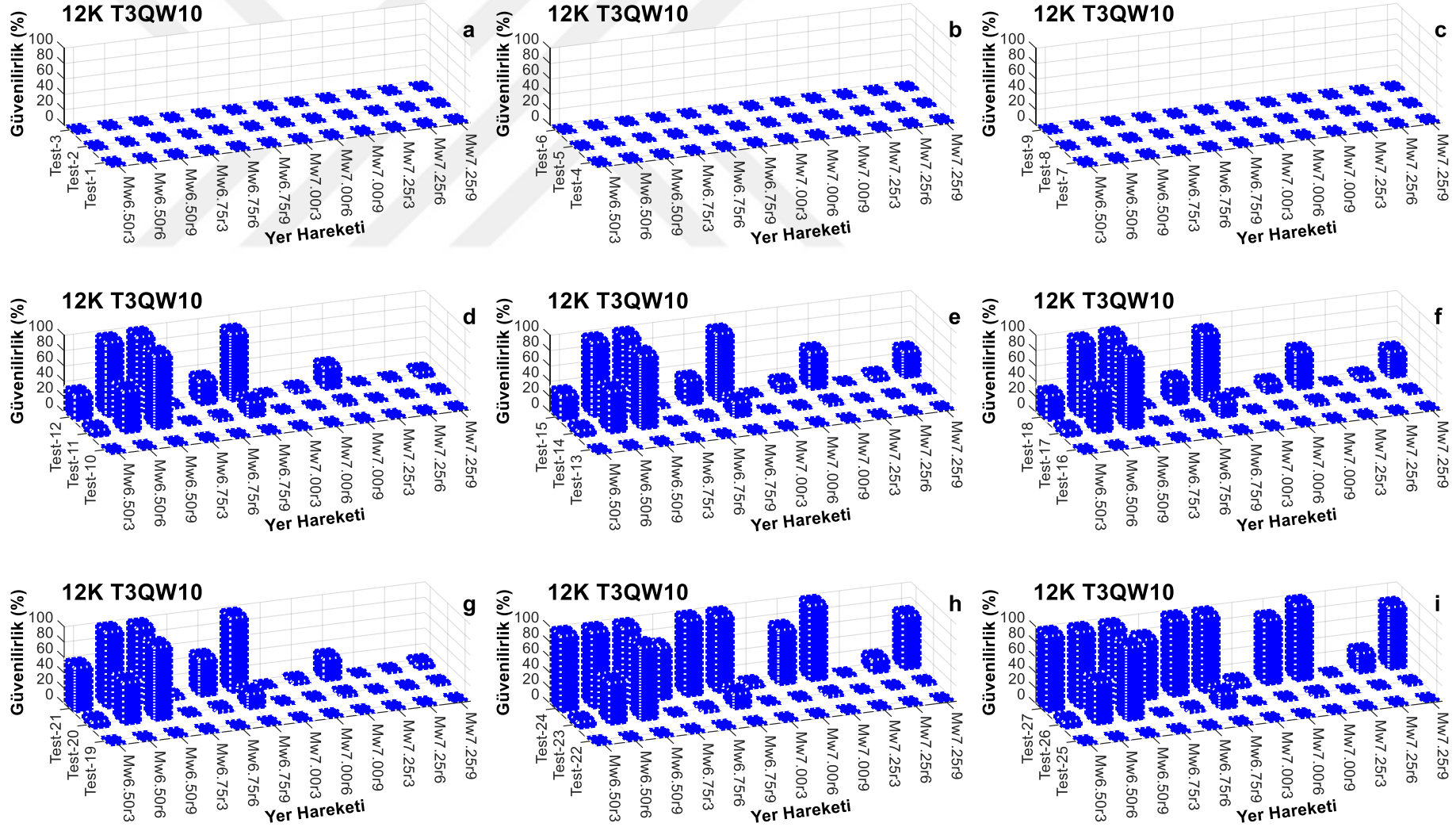
Şekil 4.28-d-e-f-g-h-i'den görüldüğü üzere; 4K-T3QW10 binasının Grup 3 (Limit<sub>a</sub> = 1.0 g) testlerindeki güvenilirlikleri -tüm deprem seviyeleri için geçerli olmak üzere- Grup 2 testlerindeki güvenilirlikleriyle neredeyse tamamen aynıdır. Benzer şekilde, Şekil 4.29-d-g'den görüldüğü üzere; 8K-T3QW10 binasının Grup 2a ve Grup 3a testlerine göre güvenilirlikleri arasında neredeyse fark yoktur. 8K-T3QW10 binasının Grup 2b ve Grup 2c'ye kıyasla, sırasıyla Grup 3b ve Grup 3c (Limit<sub>dr</sub> = 0.0025 olan testler hariç) test güvenilirliklerinde bir miktar artış görülmektedir (Şekil 4.29-e-f-h-i). 12K-T3QW10 binasının Grup 2'ye kıyasla, Grup 3 (Limit<sub>dr</sub>=0.01 olan) test güvenilirliklerinde bir miktar artış görülmektedir (Şekil 4.30-d-e-f-g-h-i).



Şekil 4.28: 4K-T3QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları



Şekil 4.29: 8K-T3QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları



Şekil 4.30: 12K-T3QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları

### 4.2.2.3. $T_{0,nom} = 4s$ ve $(Q/W)_{nom} = \%5$ İzolasyon Sistemlerine Sahip Binalar için Gerçekleştirilen Performans Testlerinin Sonuçları

$T_{0,nom} = 4s$  ve  $(Q/W)_{nom} = \%5$  izolasyon sistemlerine sahip 4K-T4QW05, 8K-T4QW05 ve 12K-T4QW05 binaları için gerçekleştirilen performans testlerinin (ikinci aşama güvenilirlik analizlerinin) sonuç grafikleri, sırasıyla Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33’de verilmiş olup; bu testlerle ilgili bulgular, Tablo 4.2’deki gruplandırmaya göre üç ana grup (Grup 1, Grup 2 ve Grup 3) başlığı altında aşağıda sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

#### Grup 1 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 0.2 g):

4K-T4QW05 binasının  $M_w6.50r6$  ve  $M_w6.50r9$  depremleri için Grup 1a test koşullarındaki güvenilirlikleri %80’in üzerinde iken; ele alınan diğer tüm deprem seviyeleri için Grup1a testlerine göre güvenilirlikleri %40’ın altındadır. Bu binanın Grup 1b ve Grup 1c test koşullarında tüm  $M_w=6.50$  ve  $M_w6.75r9$  depremleri için güvenilirlikleri yine %80’in üzerinde iken; ele alınan diğer tüm deprem seviyeleri için güvenilirlikleri %40’ın altındadır (Şekil 4.31-a-b-c). Diğer taraftan, üstyapı esnekliğinin artışına paralel olarak kat ivmelerinin artması sebebiyle; 8K-T4QW05 binasının Grup 1 test güvenilirlikleri, 4K-T3QW05 binasının Grup 1 test güvenilirliklerine göre bir miktar azalmaktadır (Şekil 4.31-a-b-c, Şekil 4.32-a-b-c). Bununla birlikte, 8K-T4QW05 binasının,  $M_w6.50r9$  depremi etkisindeki tüm Grup 1 testlerine göre güvenilirlikleri %80’in üzerindeyken; bu deprem haricindeki diğer tüm deprem seviyeleri için güvenilirlikleri %40’ın altındadır (Şekil 4.32-a-b-c). 12K-T4QW05 binasının tüm Grup 1 testlerine göre güvenilirlikleri ise, neredeyse tamamen %0’dır (Şekil 4.33-a-b-c).

#### Grup 2 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 0.5 g):

4K-T4QW05 binasının  $M_w6.50r6$  ve  $M_w6.50r9$  depremleri için Grup 2a testlerine göre güvenilirlikleri %80’in üzerindedir. Bu bina,  $M_w \geq 7.00$  depremleri için Grup 2a ve Grup 2b test koşullarının neredeyse hiçbirini sağlayamamaktadır (Şekil 4.31-d-e). 4K-T4QW05 binasının  $M_w < 7.00$  ( $M_w6.75r3$  hariç) depremleri için Grup 2b test koşullarındaki güvenilirlikleri %90’ın üzerindedir (Şekil 4.31-e). 4K-T4QW05 binasının  $M_w < 7.00$  ve  $M_w7.00r9$  depremleri için Grup 2c test koşullarındaki güvenilirlikleri %80’in üzerinde iken;  $M_w7.00r9$  hariç diğer tüm  $M_w \geq 7.00$  depremleri etkisindeki güvenilirlikleri %60’ın altındadır (Şekil 4.31-f).

Diğer taraftan, 8K-T4QW05 binasının  $M_w = 6.50$  ( $M_w6.50r3$  hariç) depremleri için Grup 2a test koşullarındaki güvenilirlikleri %90’ın üzerinde iken;  $M_w \geq 6.75$  depremleri etkisindeki

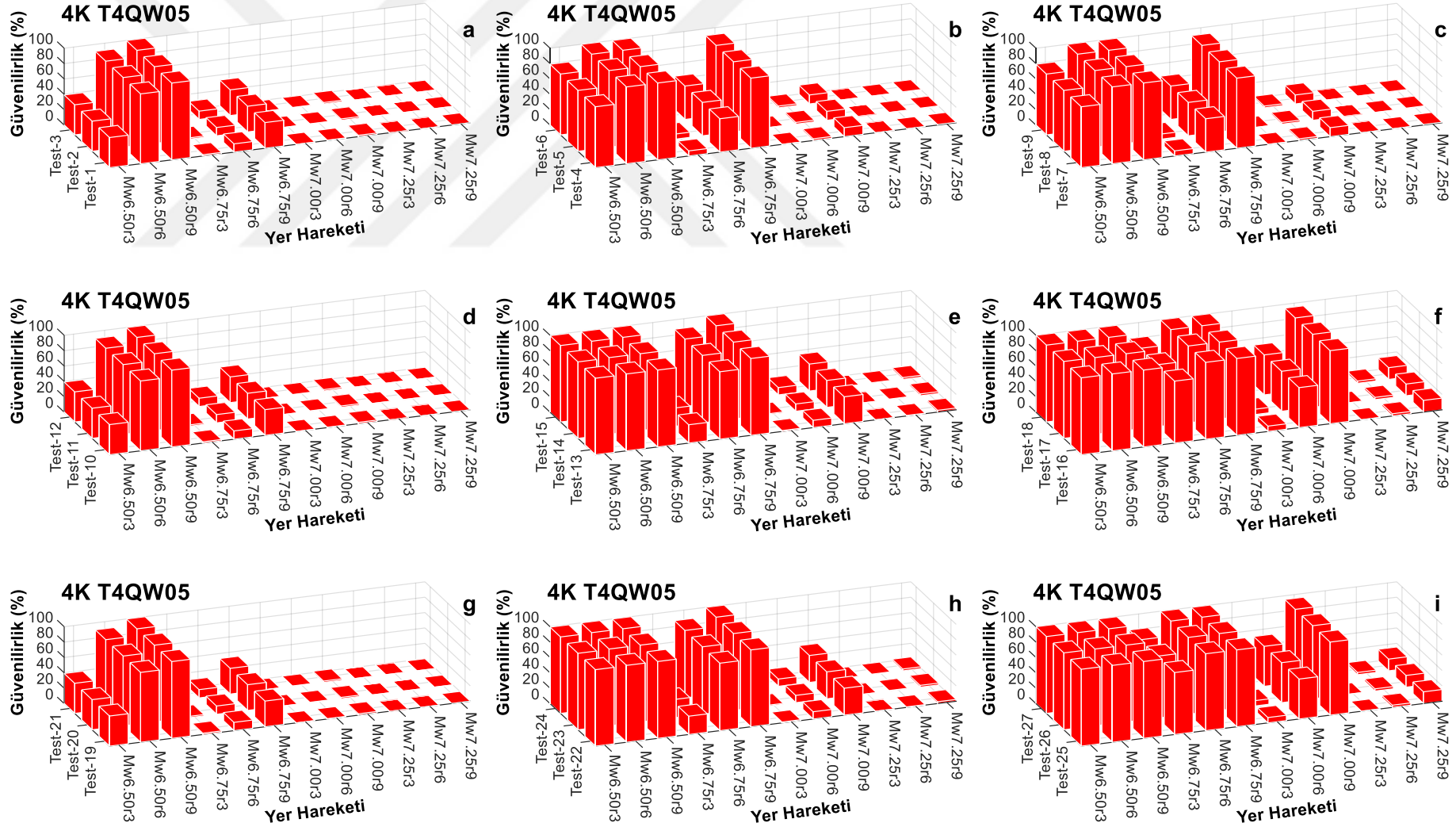
güvenilirlikleri %40'ın altındadır (Şekil 4.32-d). 8K-T4QW05 binasının  $M_w = 6.50$  ( $M_w 6.50 r 3$  seviyesinde uygulanan Test 13 hariç) depremleri için Grup 2b ve 2c test koşullarındaki güvenilirlikleri %100'dür (Şekil 4.32-e-f).  $r = 6$  ve  $9$  km olmak üzere  $M_w = 6.75$  depremlerinde yapılan Grup 2b ve 2c testleri için (Test 13 ve 16 hariç) güvenilirlikleri %80'in üzerinde iken;  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  depremleri etkisinde ( $M_w 7.00 r 9$  hariç) yapılan Grup 2b ve 2c testlerine göre güvenilirlikleri %60'ın altındadır (Şekil 4.32-e-f).

12K-T4QW05 binasının,  $Limit_{dr} = 0.0025$  olan tüm Grup 2 testlerine göre güvenilirlikleri, tüm deprem seviyeleri için tamamen %40'ın altında değerler almaktadır (Şekil 4.33-d-e-f). 12K-T4QW05 binasının  $r = 6$  ve  $9$  km olmak üzere  $M_w = 6.50$  depremleri için Grup 2a test koşullarındaki (Test 10 hariç) güvenilirlikleri %100 iken;  $M_w \geq 6.75$  depremleri etkisindeki Grup 2a testlerine göre güvenilirlikleri %50'nin altındadır (Şekil 4.33-d). Bununla birlikte, 12K-T4QW05 binasının  $M_w < 7.00$  ( $M_w 6.75 r 3$  hariç) depremleri için  $limit_{dr} > 0.0025$  olan Grup 2b ve 2c test koşullarındaki güvenilirlikleri %80'in üzerinde iken;  $M_w = 7.25$  depremleri için Grup 2b ve 2c test koşullarındaki güvenilirlikleri neredeyse tamamen %0'dır (Şekil 4.33-e-f).

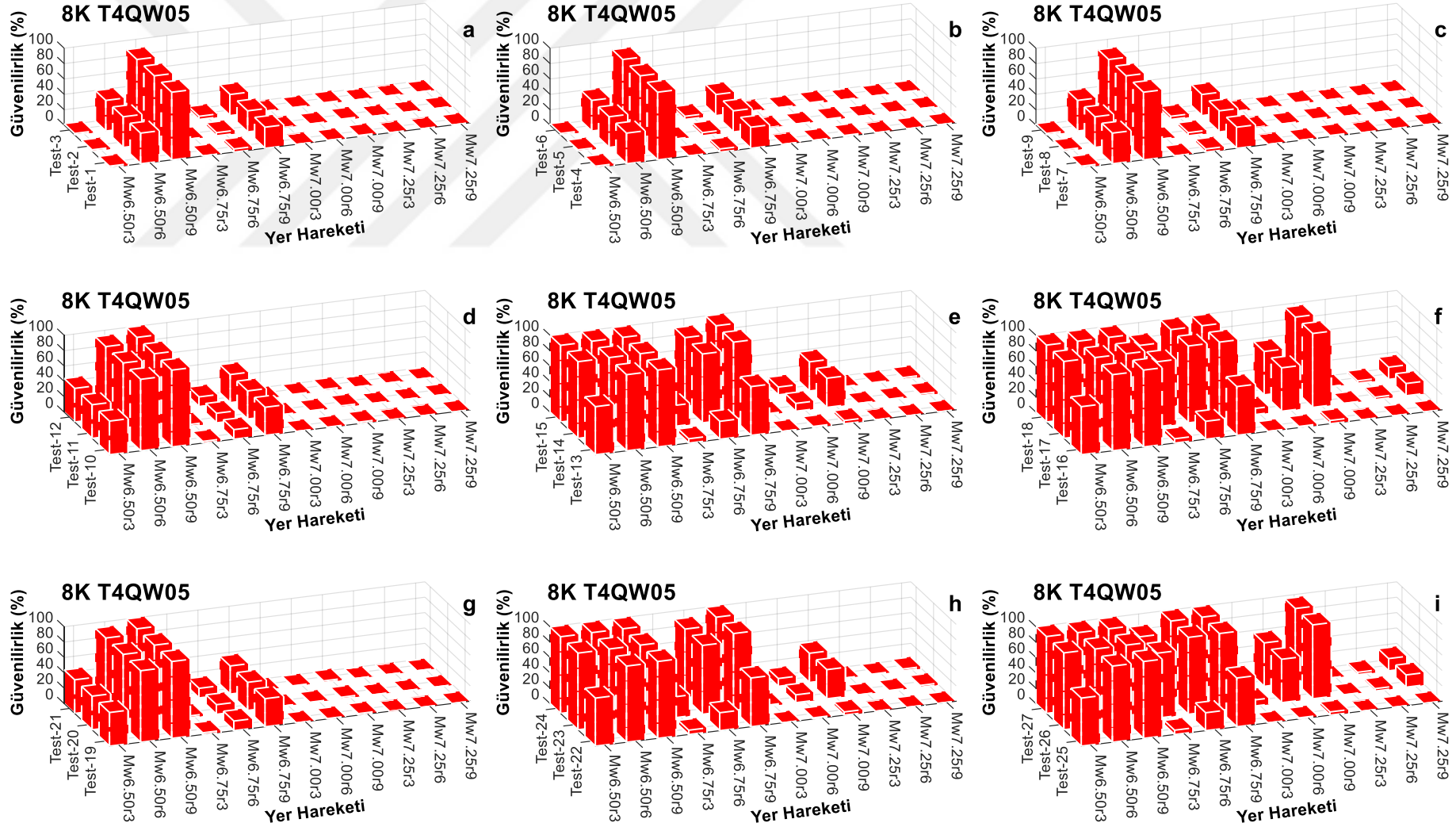
### **Grup 3 Performans Testleri ( $Limit_a = 1.0$ g):**

Şekil 4.31-d-e-f-g-h-i, Şekil 4.32-d-e-f-g-h-i, Şekil 4.33-d-e-f-g-h-i den görüldüğü üzere; 4K-T4QW05, 8K-T4QW05 ve 12K-T4QW05 binalarının Grup 3 ( $Limit_a = 1.0$  g) testlerindeki güvenilirlikleri -tüm deprem seviyeleri için geçerli olmak üzere- aynı izolatör deplasmanı ve aynı görelî kat ötelemesi limitlerine sahip olan Grup 2 testlerindeki güvenilirlikleriyle neredeyse tamamen aynıdır.

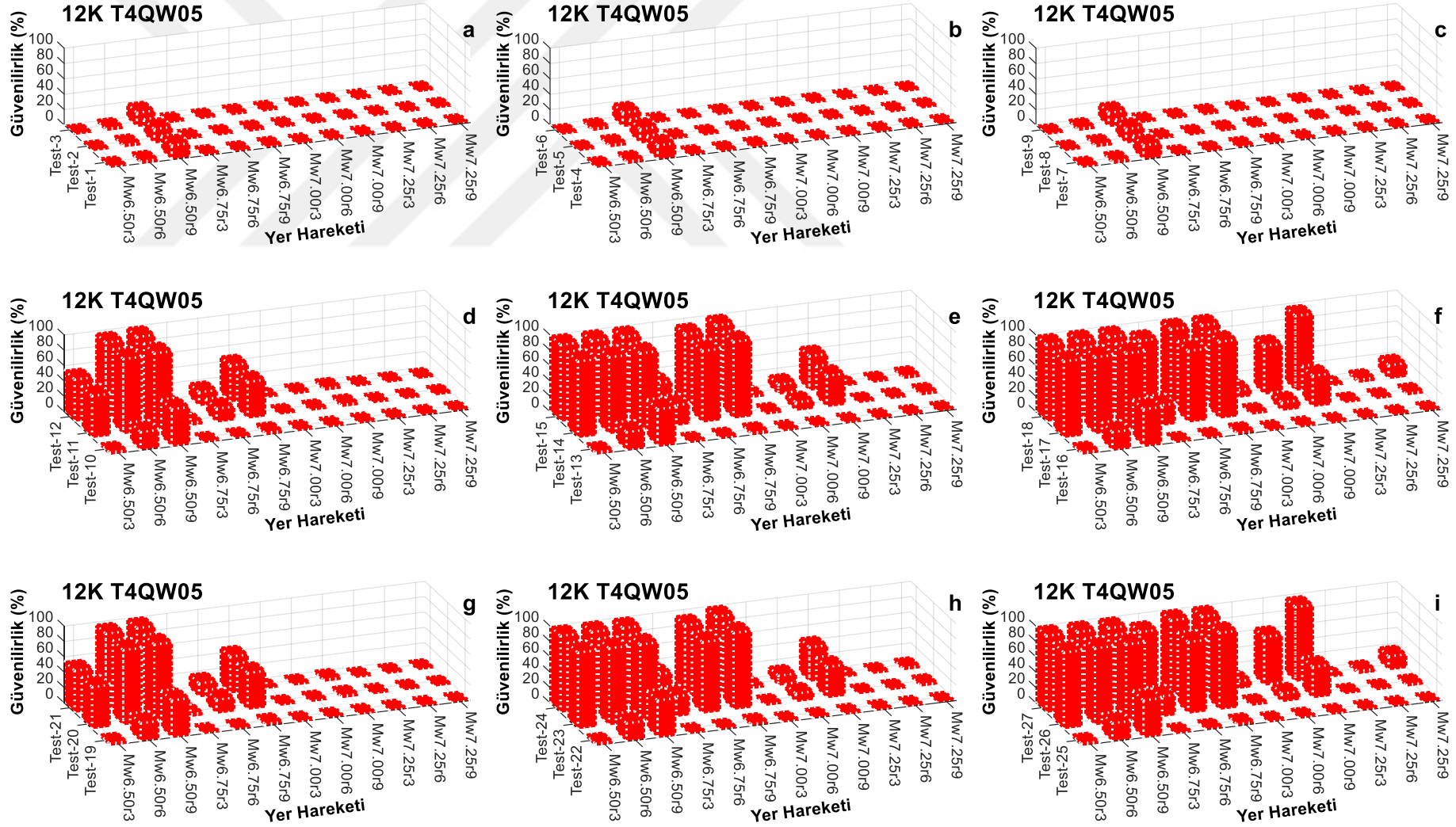




Şekil 4.31: 4K-T4QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları



Şekil 4.32: 8K-T4QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları



Şekil 4.33: 12K-T4QW05 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları

#### 4.2.2.4. $T_{0,nom} = 4s$ ve $(Q/W)_{nom} = \%10$ İzolasyon Sistemlerine Sahip Binalar için Gerçekleştirilen Performans Testlerinin Sonuçları

$T_{0,nom} = 4 s$  ve  $(Q/W)_{nom} = \%10$  izolasyon sistemlerine sahip 4K-T4QW10, 8K-T4QW10 ve 12K-T4QW10 binaları için gerçekleştirilen performans testlerinin (ikinci aşama güvenilirlik analizlerinin) sonuç grafikleri, sırasıyla Şekil 4.34, 4.35 ve 4.36'da verilmiş olup; bu testlerle ilgili bulgular, Tablo 4.2'deki gruplandırmaya göre üç ana grup (Grup 1, Grup 2 ve Grup 3) başlığı altında aşağıda sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

##### Grup 1 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 0.2 g):

İvme limitinin 0.2 g olduğu Grup 1 testlerinde 4K-T4QW10 binasının Mw6.50r9 depremi için güvenilirlikleri %100 iken; ele alınan diğer tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %60'ın altındadır (Şekil 4.34-a-b-c). Diğer taraftan, 8K-T4QW10 ve 12K-T4QW10 binalarının, tüm Grup 1 testlerine göre güvenilirlikleri %0'dır (Şekil 4.35-a-b-c, Şekil 4.36-a-b-c).

##### Grup 2 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 0.5 g):

4K-T4QW10 binasının Mw6.50r6, Mw6.50r9 ve Mw6.75r9 depremleri için Grup 2a test koşullarındaki güvenilirlikleri %90'ın üzerinde iken; diğer tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %60'ın altındadır (Şekil 4.34-d). Diğer taraftan, 4K-T4QW10 binası,  $M_w < 7.00$  (Mw6.75r3 hariç) ve Mw7.00r9 depremleri için Grup 2b test koşullarındaki güvenilirlikleri %100 iken; diğer tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %50'nin altındadır (Şekil 4.34-e). Benzer şekilde, 4K-T4QW10 binası,  $M_w < 7.25$  (Mw7.00r3 hariç) ve Mw7.25r9 depremleri için Grup 2c test koşullarındaki güvenilirlikleri %90'ın üzerinde iken; diğer tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %40'ın altındadır (Şekil 4.34-f).

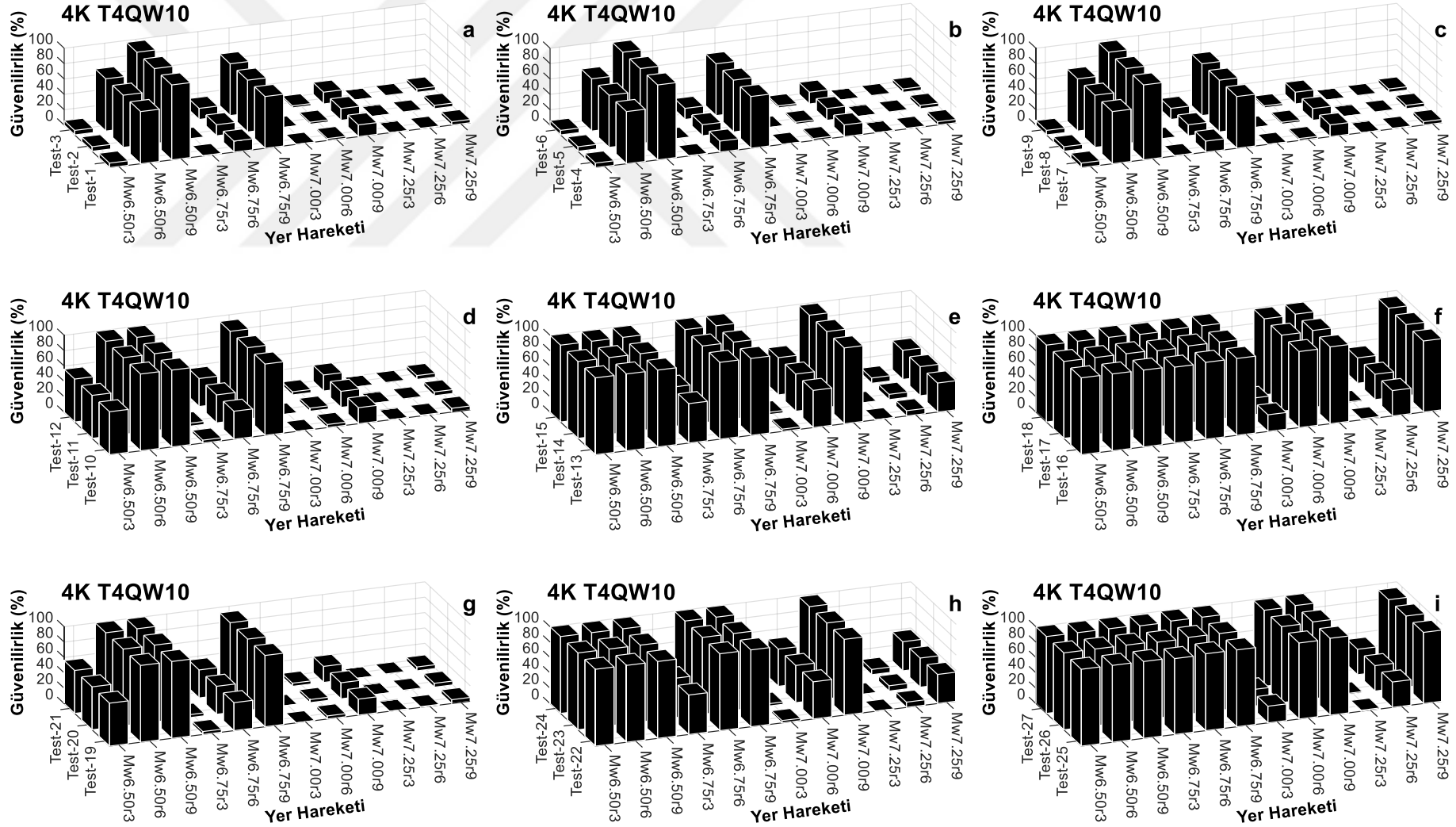
8K-T4QW10 binasının limit<sub>dr</sub> = 0.0025 olan tüm Grup 2 testlerindeki güvenilirlikleri, Mw6.50r9 depremi etkisinde %100 iken; diğer tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %40'ın altındadır (Şekil 4.35-d-e-f). 8K-T4QW10 binasının Mw6.50r6, Mw6.50r9 ve Mw6.75r9 depremleri için limit<sub>dr</sub> > 0.0025 olan Grup 2a testlerine göre güvenilirlikleri %90'ın üzerinde iken; diğer tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %60'ın altındadır (Şekil 4.35-d). Bununla birlikte, 8K-T4QW10 binasının Grup 2b testlerinden limit<sub>dr</sub> > 0.0025 olan testlerde  $M_w < 7.00$  (Mw6.75r3 hariç) depremleri için güvenilirlikleri %100 iken;  $M_w \geq 7.0$  (Mw7.00r9 hariç) deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %40'ın altındadır (Şekil 4.35-e). Benzer şekilde, 8K-T4QW10 binasının Grup 2c testlerinden limit<sub>dr</sub> > 0.0025 olan testlerde  $M_w < 7.25$  (Mw7.00r3

hariç) ve  $M_w7.25r9$  depremleri için güvenilirlikleri %90'ın üzerinde iken; diğer deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %40'ın altındadır (Şekil 4.35-f).

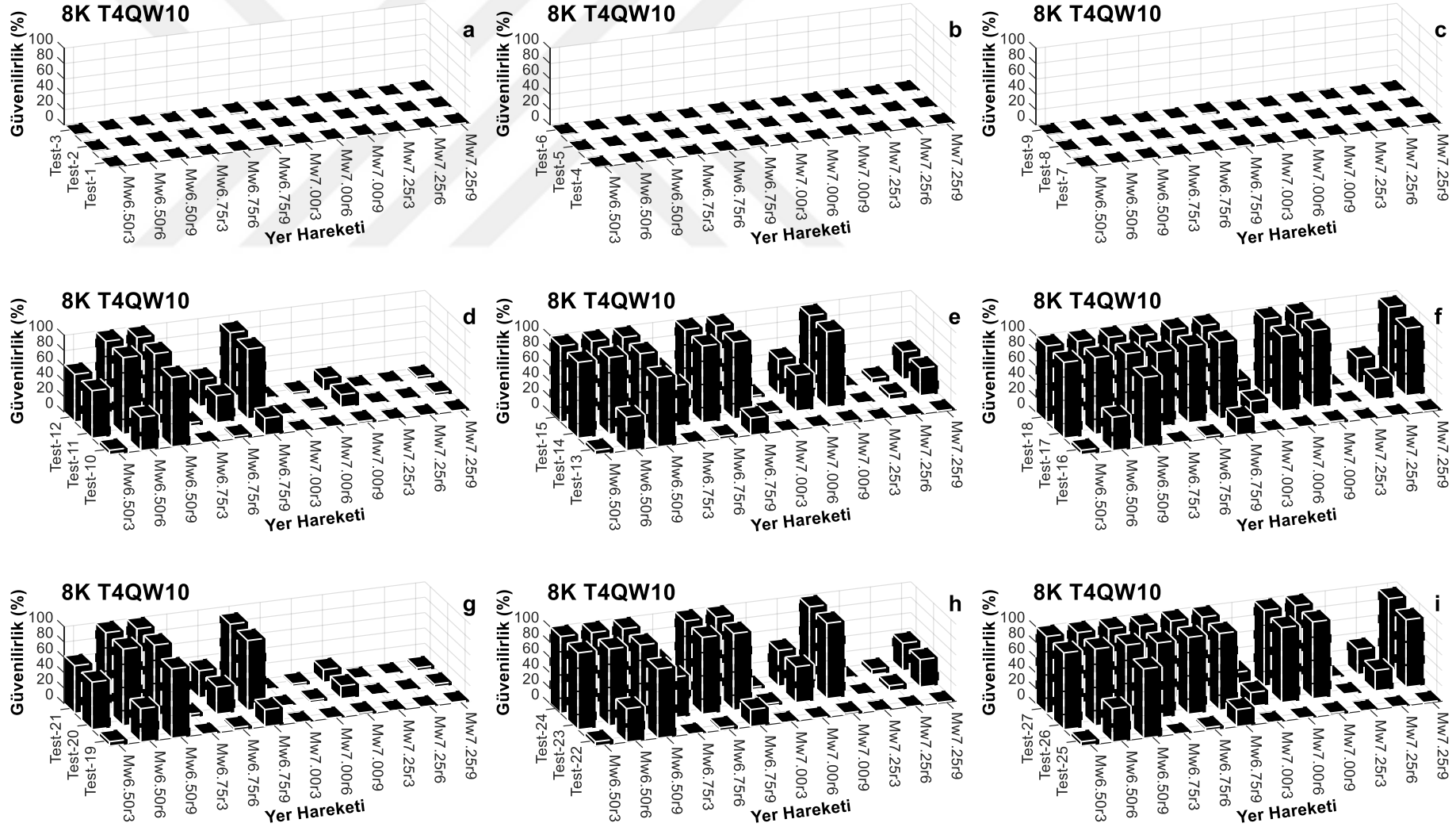
Diğer taraftan, 12K-T4QW10 binasının  $limit_{dr} = 0.0025$  olan Grup 2 testlerine göre tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %0'dır (Şekil 4.36-d-e-f). Bununla birlikte, 12K-T4QW10 binasının Grup 2a testlerinden  $limit_{dr} > 0.0025$  olan testlerde  $M_w6.50r6$ ,  $M_w6.50r9$  ve  $M_w6.75r9$  depremleri için güvenilirlikleri %100 iken; diğer tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %60'ın altındadır. Benzer şekilde, 12K-T4QW10 binasının Grup 2b ve 2c testlerinden  $limit_{dr} > 0.0025$  olan testlerde  $M_w6.50r6$ ,  $M_w6.50r9$  ve  $M_w6.75r9$  depremleri için güvenilirlikleri %100 iken; diğer tüm deprem seviyelerindeki güvenilirlikleri %80'ın altındadır (Şekil 4.36-e-f).

### **Grup 3 Performans Testleri (Limit<sub>a</sub> = 1.0 g):**

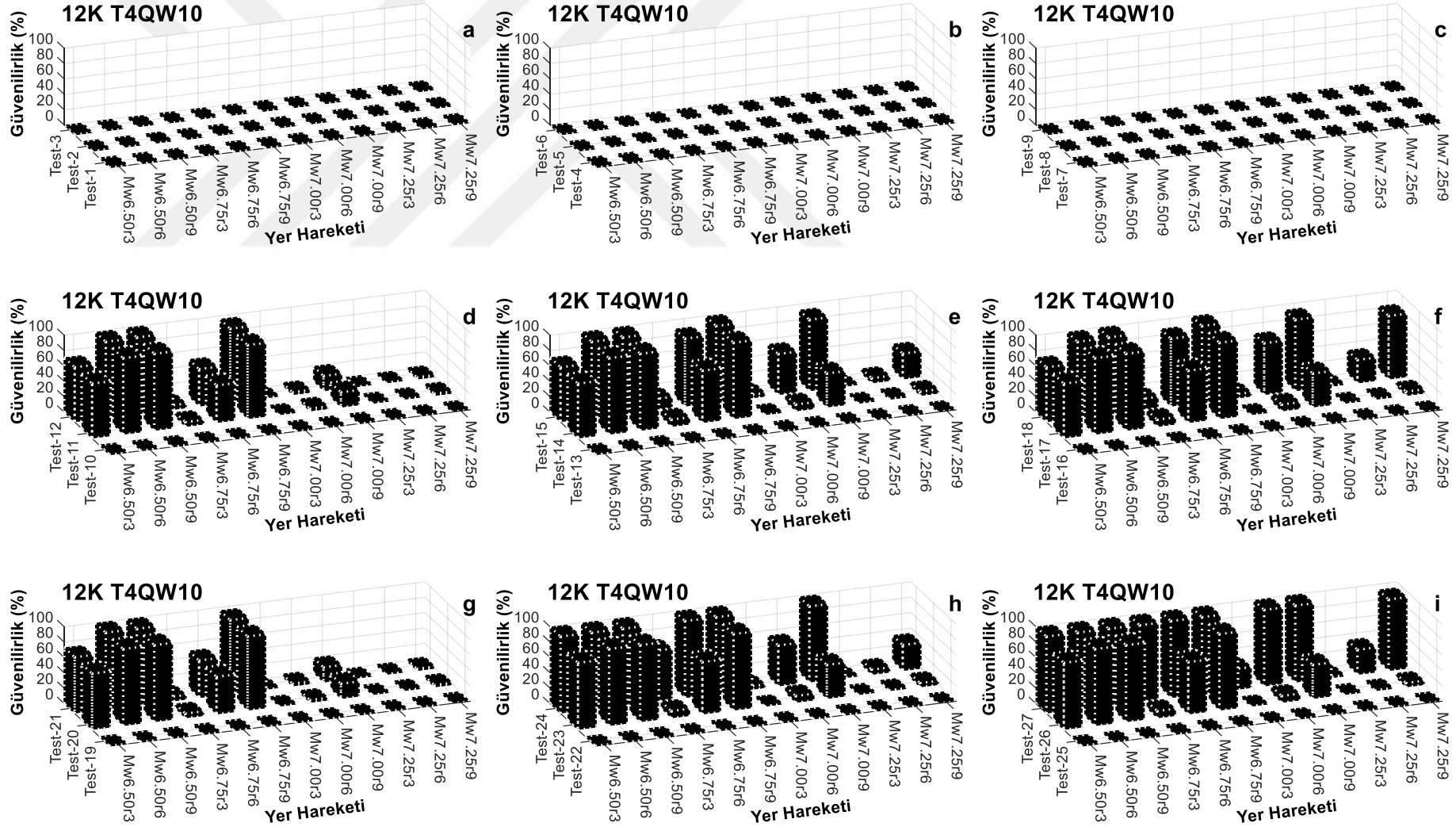
4K-T4QW10 ve ayrıca 8K-T4QW10 binalarını Grup 2 ve Grup 3 testlerindeki güvenilirlikleri neredeyse tamamen aynıdır (Şekil 4.34-d-e-f-g-h-i, Şekil 4.35-d-e-f-g-h-i). Benzer şekilde 12K-T4QW10 binasının Grup 2a ve Grup 3a test koşullarında güvenilirlikleri arasında neredeyse fark yoktur (Şekil 4.36-d-g). 12K-T4QW10 binasının Grup 2b ve 2c'ye kıyasla, sırasıyla Grup 3b ve 3c ( $Limit_{dr}=0.0025$  olan testler hariç) test güvenilirliklerinde bir miktar artış görülmektedir (Şekil 4.36-e-f-h-i).



Şekil 4.34: 4K-T4QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları



Şekil 4.35: 8K-T4QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları



Şekil 4.36: 12K-T4QW10 binası için gerçekleştirilen Performans Testlerinin sonuçları



## 5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, yakın-fay yer hareketlerine maruz taban izolasyonlu binaların güvenilirlikleri üzerinde üstyapı esnekliğinin etkileri incelenmiştir. Önceki çalışmalardan farklı ve özgün olarak, taban izolasyonlu binaların dinamik analizlerinde izolasyon sistemi ile yer hareketi parametrelerindeki belirsizliklerin yanı sıra üstyapı parametrelerindeki belirsizlikler de göz önünde bulundurularak ve ayrıca üst yapı esnekliği de dikkate alınarak oluşturulan, doğrusal olmayan izolasyon sistemlerine sahip, çok katlı ve gerçekçi üç boyutlu modeller kullanılmıştır. Üstyapı esnekliğinin, yakın-fay yer hareketlerine maruz taban izolasyonlu binaların güvenilirlikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada, *üç farklı üstyapı esnekliğine sahip* (izolasyon katı hariç 4, 8, 12 katlı) taban izolasyonlu binalar ele alınmış; bu binalar için gerçekleştirilen tüm analizlerde *üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketi parametrelerindeki belirsizlikler birlikte* göz önünde bulundurulmuştur. Üç farklı esnekliğe sahip üç üstyapı modelinin her biri için, iki farklı nominal izolasyon periyodu seviyesi ( $T_{0,nom} = 3$  s ve 4 s) ve iki farklı nominal karakteristik kuvvet oranı seviyesine ( $((Q/W)_{nom} = \%5$  ve  $\%10$ ) sahip olacak şekilde oluşturulan dört farklı izolasyon sistemi dikkate alınarak; toplam 12 farklı taban izolasyonlu bina modeli oluşturulmuştur. Bununla birlikte, dört farklı nominal moment magnitüd seviyesi ( $M_w = 6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$ ) ve üç farklı nominal fay mesafesi ( $r = 3, 6$  ve  $9$  km) için 12 farklı sentetik yakın-fay yer hareketi üretilmiştir. Bu doğrultuda, 12 bina modelinin her birinin 12 yakın-fay yer hareketinin her birine maruz bırakılması suretiyle oluşturulan 144 bina ve yer hareketi eşleşmesinin her biri için 3.000 simülasyon gerçekleştirilmiş olup; çalışma kapsamında toplam 432.000 üç boyutlu doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Söz konusu analizler, Monte Carlo simülasyonları dâhilinde, doğrusal olmayan zaman tanım alanı analiz yöntemiyle ve tez çalışmasının bağlı bulunduğu TÜBİTAK projesi (Gazi, H., Alhan, C., Baran, B., 2021, Yakın-Fay Yer Hareketlerine Maruz Taban İzolasyonlu Binaların Güvenilirlikleri Üzerinde Belirsizlik Kaynaklarının ve Üstyapı Esnekliğinin Etkileri, TÜBİTAK-119M804) kapsamında modifiye edilen yapısal dinamik analiz programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerin ardından, bu analizlerden elde edilen pik izolatör deplasmanlarının maksimumları, pik görelî kat öteleme oranlarının maksimumları ve pik toplam kat ivmelerinin maksimumları kullanılarak, *iki aşamalı güvenilirlik analizleri* gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama güvenilirlik

analizlerinde binaların izolasyon sistemleri, yapısal sistem bütünlüğü ve titreşime duyarlı ekipmanlarının güvenilirlikleri ayrı ayrı göz önünde bulundurulmuştur. İkinci aşama güvenilirlik analizlerinde (performans testleri) ise; aynı binaların izolasyon sistemleri, yapısal sistem bütünlüğü ve titreşime duyarlı ekipmanlarının güvenilirlikleri birlikte göz önünde bulundurulurken, her bir bina için her bir yer hareketi altında 27 performans testi olmak gerçekleştirilmiş ve binaların bu testlere göre performansları da elde edilmiştir. Yapılan tüm dinamik analiz simülasyonları ve tüm güvenilirlik analizleri vasıtasıyla şu sonuçlara ulaşılmıştır.

### **A – DİNAMİK ANALİZ SONUÇLARI:**

#### **Genel:**

1. Deprem moment magnitudü ( $M_w$ ) arttıkça, fay hattına olan mesafe ( $r$ ) azaldıkça, düşük, orta ve yüksek esneklik seviyesine sahip olmak üzere incelenen tüm taban izolasyonlu binalardaki pik izolatör deplasmanları, pik görelî kat öteleme oranları ve pik toplam kat ivmeleri tüm güvenilirlik seviyeleri için artmaktadır.
2. İzolasyon karakteristik kuvvet oranı ( $(Q/W)_{nom}$ ) seviyesinin azalması halinde, düşük, orta ve yüksek esneklik seviyesine sahip olmak üzere incelenen tüm binalar için tüm güvenilirlik seviyelerindeki pik izolatör deplasman talepleri artmaktadır.
3. İzolasyon periyodu ( $T_{0,nom}$ ) seviyesinin azalması halinde, düşük, orta ve yüksek esneklik seviyesine sahip olmak üzere incelenen tüm binalar için tüm güvenilirlik seviyelerindeki pik görelî kat öteleme oranı talepleri ve pik toplam kat ivmeleri artmaktadır.

#### **Pik izolatör deplasmanları ile ilgili:**

4. Aynı nominal izolasyon periyodu ( $T_{0,nom}$ ) ve aynı nominal karakteristik kuvvet oranına ( $(Q/W)_{nom}$ ) sahip binalarda üstyapı esneklik seviyesinin artması, binaların pik izolatör deplasman taleplerinde önemli bir değişikliğe sebep olmamaktadır.
5. Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu, pik izolatör deplasmanlarının nominal değerlerine göre -üstyapı esnekliği ve izolasyon sistemi ayırımı yapmaksızın-  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  deprem seviyelerinde %85'e varan,  $M_w=7.25$  deprem seviyelerinde ise %150'ye varan maksimum pozitif sapmalar yapmasına sebep olurken; -üstyapı esnekliği, izolasyon sistemi ve ayrıca deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın- -%90'a varan maksimum negatif sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

6. Düşük, orta ve yüksek esneklik seviyelerine sahip binalarda  $-(Q/W)_{nom} = \%10$  olması halinde-  $\%100$  güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen pik izolatör deplasman talepleri, neredeyse tüm  $M_w = 6.50$  ve  $6.75$  depremleri için uygulamada yaygın olarak kullanılan izolatörlerle (Örn.  $\phi 80$  cm) karşılanabilmekte iken; yine tüm esneklik seviyelerine sahip tüm binalarda aynı güvenilirlik seviyelerindeki pik izolatör deplasman talepleri, tüm  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  depremleri için söz konusu izolatörlerin burkulma/yırılma durumlarına karşılık gelen azami deformasyon seviyelerindeki deplasman kapasitelerini ( $55\sim 80$  cm) aşmaktadır.

**Pik görelî kat öteleme oranları ile ilgili:**

7. Aynı nominal izolasyon periyodu ( $T_{0,nom}$ ) ve aynı nominal karakteristik kuvvet oranına ( $(Q/W)_{nom}$ ) sahip binalarda üstyapı esneklik seviyesinin artması halinde, tüm güvenilirlik seviyelerindeki pik görelî kat öteleme oranı talepleri artmaktadır. İncelenen tüm deprem seviyeleri ve tüm binalar göz önünde bulundurulduğunda;  $\%100$  güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen pik görelî kat öteleme oranlarının maksimumları, üstyapı kat sayısının 4'den 8'e çıkması halinde 2.5 kata varan, kat sayısının 4'den 12'ye çıkması halinde ise 4 kata varan artışlar göstermektedir.
8. Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu, pik görelî kat öteleme oranlarının nominal değerlerine göre -üstyapı esnekliği ve izolasyon sistemi ayırımı yapmaksızın-  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  deprem seviyelerinde  $\%80$ 'e varan,  $M_w=7.25$  deprem seviyelerinde ise  $\%145$ 'ye varan maksimum pozitif sapmalar yapmasına sebep olurken; -üstyapı esnekliği, izolasyon sistemi ve ayrıca deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın-  $-\%75$ 'e varan maksimum negatif sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.
9. Düşük, orta ve yüksek esneklik seviyesine sahip tüm binalar için  $\%100$  güvenilirlik seviyesine karşılık gelen görelî kat öteleme oranları, neredeyse tüm  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri etkisinde "taşıyıcı elemanlar için sınırlı hasar" performans seviyesi altında kalırken;  $M_w=7.25$  depremleri etkisindeki orta ve yüksek esneklik seviyesine sahip binalarda söz konusu görelî kat öteleme oranları, sırasıyla taşıyıcı eleman "sınırlı hasar" ve "kontrollü hasar" performans seviyelerini neredeyse tamamen aşmaktadır.

**Pik kat ivmeleri ile ilgili:**

10. Aynı nominal izolasyon periyodu ( $T_{0,nom}$ ) ve aynı nominal karakteristik kuvvet oranına ( $(Q/W)_{nom}$ ) sahip binalarda üstyapı esneklik seviyesinin artması halinde, tüm güvenilirlik seviyelerindeki pik toplam kat ivmeleri artmaktadır. Ele alınan tüm deprem seviyeleri ve

tüm binalar göz önünde bulundurulduğunda; %100 güvenilirlik seviyelerine karşılık gelen pik toplam kat ivmelerinin maksimumları, üstyapı kat sayısının 4'den 8'e çıkması halinde 2 kata varan, kat sayısının 4'den 12'ye çıkması halinde ise yaklaşık 3 kata varan artışlar göstermektedir.

11. Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu, pik toplam kat ivmelerinin nominal değerlerine göre -üstyapı esnekliği ve izolasyon sistemi ayırımı yapmaksızın-  $M_w=6.50, 6.75$  ( $r \leq 9$  km) deprem seviyelerinde %85'e varan,  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  ( $r \leq 9$  km) deprem seviyelerinde ise %140'a varan maksimum pozitif sapmalar yapmasına sebep olurken; -üstyapı esnekliği, izolasyon sistemi ve ayrıca deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın- -%70'e varan maksimum negatif sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.
12. Düşük, orta ve yüksek esneklik seviyesine sahip tüm binalar için %100 güvenilirlik seviyesine karşılık gelen pik kat ivmeleri, neredeyse tüm  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$  depremleri etkisinde  $0.2g$ 'yi aşmakta iken;  $M_w=7.25$  ve  $r = 3$  km depremi için çalışma kapsamında ele alınan tüm binalarda  $1.0g$  değerini de aşmaktadır.

## **B – BİRİNCİ AŞAMA GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİNİN SONUÇLARI:**

### **Genel:**

1. Deprem moment magnitudü ( $M_w$ ) seviyesinin artması, fay mesafesi ( $r$ ) seviyesinin azalması halinde; tüm binaların izolasyon sistemi, yapısal sistem bütünlüğü ve titreşime duyarlı ekipman güvenilirlikleri genel olarak azalmaktadır.
2. Nominal izolasyon karakteristik kuvvet oranı  $(Q/W)_{nom}$  seviyesinin artırılması halinde genel olarak izolasyon sistemi güvenilirlikleri artmaktadır.
3. Nominal izolasyon periyodu ( $T_{0,nom}$ ) seviyesinin artması halinde ise, genel olarak yapısal sistem bütünlüğü ve titreşime duyarlı ekipman güvenilirlikleri artmaktadır.
4. Üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumunun, *taban izolasyonlu binaların güvenilirlikleri üzerindeki etki oranları*, binaların bu güvenilirliklerle ilgili yapısal cevap parametrelerinin –uygulamada tercih edilen- *önemli güvenilirlik seviyelerinin sapma yüzdeleri* olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, *üstyapı, izolasyon sistemi ve yer hareketlerindeki belirsizliklerin birlikte dikkate alınması durumu*; -üstyapı esneklik seviyesi ve deprem seviyesi ayırımı yapmaksızın-
  - a) izolasyon sistemleri açısından %98 güvenilirlik seviyelerinin,  $T_{0,nom}=3s$  ve  $4s$  olan binalarda sırasıyla %65 ve %40'a varan sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

- b) yapısal sistem bütünlüğü açısından %98 güvenilirlik seviyelerinin,  $T_{0,nom}=3s$  ve  $4s$  olan binalarda sırasıyla %55 ve %35'e varan sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.
- c) titreşime duyarlı ekipmanları açısından %98 güvenilirlik seviyelerinin,  $T_{0,nom}=3s$  ve  $4s$  olan binalarda sırasıyla %50 ve %45'e varan sapmalar yapmasına sebep olmaktadır.

**İzolasyon sistemi güvenilirlikleri açısından:**

5. Aynı  $T_{0,nom}$  ve aynı  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip binalarda üstyapı esneklik seviyesinin izolasyon sistemi güvenilirlikleri üzerindeki etkisi, -tüm deprem seviyeleri için geçerli olmak üzere- yok denecek kadar azdır.
6. Uygulamada yaygın olarak kullanılan 70 cm deplasman kapasiteli izolatörlerin tercih edilmesi halinde ( $Limit_d < 70$  cm); düşük, orta ve yüksek esneklik seviyelerine sahip tüm binaların izolasyon sistemi güvenilirlikleri,  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri ( $M_w=6.75$   $r=3$  km depremi hariç) için %75'in üzerindeyken;  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  depremleri ( $M_w=7.00$   $r=9$  km depremi hariç) için ise, tamamen %80'in altında değerler almaktadır.

**Yapısal sistem bütünlüğü güvenilirlikleri açısından:**

7. Aynı  $T_{0,nom}$  ve aynı  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip binalarda üstyapı esneklik seviyesinin artması, yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirlikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Üstyapı esneklik seviyesi arttıkça, yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirlikler büyük oranda azalmaktadır. Bu binaların söz konusu güvenilirliklerindeki azalma miktarı,  $T_{0,nom}=3$  s olan binalarda daha fazladır.
8. Yapısal taşıyıcı elemanlar için kesintisiz kullanım performans seviyesinin hedeflenmesi halinde ( $Limit_{dr} < 0.005$ ), incelenen tüm düşük esneklik seviyesine sahip binaların yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirlikleri, tüm  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri etkisinde %100 iken;  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  depremleri ( $r=3$  km hariç) etkisinde %75'in üzerindedir. Aynı performans seviyesi için, orta esneklik seviyesine sahip tüm binaların yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirlikleri,  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri ( $M_w=6.75$   $r=3$  km depremi hariç) etkisinde %70'in üzerindeyken;  $M_w=7.25$  ( $r \leq 6$  km) depremleri etkisinde %40'ın altına inmektedir. Yine aynı performans seviyesi için, yüksek esneklik seviyesine sahip binaların yapısal sistem bütünlüğü açısından güvenilirlikleri ise,  $T_{0,nom}=3$  s ve  $4s$  izolasyon periyotlu binalar için sırasıyla tüm  $M_w > 6.50$  ve  $M_w > 6.75$  depremleri etkisinde tamamen %50'nin altında değerler almaktadır.

**Titreşime duyarlı ekipman güvenilirlikleri açısından:**

9. Aynı  $T_{0,nom}$  ve aynı  $(Q/W)_{nom}$  seviyelerine sahip binalarda üstyapı esneklik seviyesinin artması, titreşime duyarlı ekipman güvenilirliklerini de etkilemektedir. Üstyapı esneklik

seviyesi arttıkça, titreşime duyarlı ekipman güvenilirlikleri de azalmaktadır. Bu binaların söz konusu güvenilirliklerindeki azalma miktarı da, yine  $T_{0,nom} = 3$  s olan binalarda daha fazladır.

10. İvme dayanım limitleri tipik sayılabilecek ekipman kullanılması halinde ( $Limit_a < 0.5g$ ), düşük esneklik seviyesine sahip tüm binaların bu ekipman açısından güvenilirlikleri, tüm  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri ( $M_w=6.75$   $r=3$  km depremi hariç) etkisinde %100 iken;  $M_w=7.25$  ve  $r = 3$  km depremi için neredeyse %0'a inmektedir. Aynı ekipmanın kullanıldığı orta esneklik seviyesine sahip tüm binaların bu ekipman açısından güvenilirlikleri ise,  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  depremleri ( $r = 3$  km hariç) etkisinde %100 iken;  $M_w=7.25$  ve  $r = 3$  km depremi için %0'a inmektedir. Aynı ekipmanın kullanıldığı yüksek esneklik seviyesine sahip tüm binaların bu ekipman açısından güvenilirlikleri,  $M_w=6.50$  depremleri ( $r = 3$  km hariç) etkisinde %100 iken;  $M_w=7.25$  ( $r \leq 6$  km) depremleri için %0'a inmektedir.

### **C – İKİNCİ AŞAMA GÜVENİLİRLİK ANALİZLERİNİN SONUÇLARI:**

- İzolatör deplasmanları için yaygın kullanılan izolatörlerle sağlanabilecek tipik maksimum deplasman kapasitesinin ( $Limit_d = 70$  cm) ve yapısal taşıyıcı elemanlar için de kesintisiz kullanım performans seviyesinin ( $Limit_{dr} = 0.005$ ) göz önünde bulundurulması halinde, **0.2g ivme limitli performans testlerine göre:**

1.  $T_{0,nom} = 3$  s ve  $(Q/W)_{nom} = \%5$  olan düşük esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w = 6.50$  depremleri etkisindeki güvenilirlikler tamamen %80'in altındayken;  $M_w = 6.75$ ,  $7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %0'dır. Diğer taraftan, aynı izolasyon sistemli, orta ve yüksek esneklik seviyelerine sahip binalar için tüm  $M_w=6.50$ ,  $6.75$ ,  $7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %0'dır.
2.  $T_{0,nom} = 3$  s ve  $(Q/W)_{nom} = \%10$  olan düşük esneklik seviyesine sahip binalar için tüm  $M_w=6.50$ ,  $6.75$ ,  $7.00$  ve  $7.25$  depremleri etkisindeki güvenilirlikler tamamen %30'un altındadır. Diğer taraftan, aynı izolasyon sistemli, orta ve yüksek esneklik seviyelerine sahip binalar için tüm  $M_w=6.50$ ,  $6.75$ ,  $7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %0'dır.
3.  $T_{0,nom} = 4$  s ve  $(Q/W)_{nom} = \%5$  olan düşük esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w = 6.50$  depremleri etkisindeki güvenilirlikler tamamen %80'in üzerindeyken;  $M_w = 6.75$ ,  $7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki ( $M_w=6.75$   $r=9$  depremi hariç) güvenilirlikler tamamen %40'in altındadır. Aynı izolasyon sistemli, orta esneklik seviyesine sahip

binalar için  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki ( $M_w=6.50$   $r=9$  depremi hariç) güvenilirlikler tamamen %40'ın altındadır. Aynı izolasyon sistemli, yüksek esneklik seviyesine sahip binalar için tüm  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler neredeyse tamamen %0'dır.

4.  $T_{0,nom} = 4$  s ve  $(Q/W)_{nom}=\%10$  olan düşük esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki ( $M_w=6.50$   $r=9$  depremi hariç) güvenilirlikler tamamen %70'ın altındadır. Diğer taraftan, aynı izolasyon sistemli, orta ve yüksek esneklik seviyelerine sahip binalar için tüm  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %0'dır.

➤ İzolatör deplasmanları için yaygın kullanılan izolatörlerle sağlanabilecek tipik maksimum deplasman kapasitesinin ( $Limit_d = 70$  cm) ve yapısal taşıyıcı elemanlar için de kesintisiz kullanım performans seviyesinin ( $Limit_{dr} = 0.005$ ) göz önünde bulundurulması halinde,

**0.5g ivme limitli performans testlerine göre:**

5.  $T_{0,nom} = 3$  s ve  $(Q/W)_{nom}=\%5$  olan düşük esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  deprem seviyelerindeki ( $M_w = 6.75$   $r=3$  km depremi hariç) güvenilirlikler %80'in üzerindeyken;  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %40'ın altındadır. Aynı izolasyon sistemli, orta esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  deprem seviyelerindeki ( $M_w = 6.75$   $r=3$  km depremi hariç) güvenilirlikler %70'in üzerindeyken;  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %40'ın altındadır. Yine aynı izolasyon sistemli, yüksek esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w=6.50$  ( $r \geq 6$ km) deprem seviyelerindeki güvenilirlikler %80'in üzerindeyken;  $M_w=6.75, 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %40'ın altındadır.

6.  $T_{0,nom} = 3$  s ve  $(Q/W)_{nom}=\%10$  olan düşük esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  deprem seviyelerindeki ( $M_w = 6.75$   $r=3$  km depremi hariç) güvenilirlikler %100 iken;  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki ( $M_w = 7.00$   $r=9$  km depremi hariç) güvenilirlikler tamamen %80'in altındadır. Aynı izolasyon sistemli, orta esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w=6.50$  ve  $6.75$  ( $r \geq 6$  km) deprem seviyelerindeki güvenilirlikler %90'ın üzerindeyken;  $M_w=7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %80'in altındadır. Yine aynı izolasyon sistemli, yüksek esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w=6.50, 6.75, 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki ( $M_w=6.50$   $r=9$  depremi hariç) güvenilirlikler tamamen %60'ın altındadır.

7.  $T_{0,nom} = 4$  s ve  $(Q/W)_{nom} = \%5$  olan düşük, orta ve yüksek esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w = 6.50$  ve  $6.75$  deprem seviyelerindeki ( $M_w = 6.75$  r=3 km depremi hariç) güvenilirlikler %80'in üzerindeyken;  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %40'ın altındadır.
8.  $T_{0,nom} = 4$  s ve  $(Q/W)_{nom} = \%10$  olan düşük ve orta esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w = 6.50$  ve  $6.75$  deprem seviyelerindeki ( $M_w = 6.75$  r=3 km depremi hariç) güvenilirlikler %100 iken;  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki ( $M_w = 7.00$  r =9 km depremi hariç) güvenilirlikler tamamen %50'nin altındadır. Yine aynı izolasyon sistemli, yüksek esneklik seviyesine sahip binalar için  $M_w = 6.50$  ve  $6.75$  deprem seviyelerindeki ( $M_w = 6.75$  r=3 km depremi hariç) güvenilirlikler %60'ın üzerindeyken;  $M_w = 7.00$  ve  $7.25$  deprem seviyelerindeki güvenilirlikler tamamen %50'nin altındadır.
- İzolatör deplasmanları için uygulamada yaygın kullanılan izolatörlerle sağlanabilecek tipik maksimum deplasman kapasitesinin ( $Limit_d = 70$  cm) ve yapısal taşıyıcı elemanlar için de kesintisiz kullanım performans seviyesinin ( $Limit_{dr} = 0.005$ ) göz önünde bulundurulması halinde **1.0g ivme limitli performans testlerine göre** elde edilen güvenilirlikler, aynı izolasyon sistemlerine ve aynı üstyapı esneklik seviyelerine sahip binalarda aynı depremler için gerçekleştirilen "0.5g ivme limitli performans testlerine göre" elde edilen güvenilirliklerle, çok yakın hatta neredeyse birebir aynı değerlerde elde edilmiştir.



## KAYNAKLAR

- AASHTO, 2010, *Guide Specifications for Seismic Isolation Design (Third Edition)*, Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Agrawal, A.K., He, W.L., 2002, A Closed form Approximation of Near Fault Ground Motion Pulses for Flexible Structures, *15th Asce Proceeding of Engineering Mechanics Conference*, Columbia University, New York.
- Alavi, B., Krawinkler, H., 2001, *Effect of Near-Fault Ground Motions on the Response to Frame Structures (Report No: 138)*, Stanford: The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.
- Alhan, C., Gavin H.P., 2005, Reliability of Base Isolation for the Protection of Critical Equipment From Earthquake Hazards, *Engineering Structures*, 27, 1435-1449.
- Alhan, C., Gazi, H., 2014, Bringing Probabilistic Analysis Perspective into Structural Engineering Education: Use of Monte Carlo Simulations, *International Journal of Engineering Education*, 30(5), 1280-1294.
- 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., Hışman K., 2016, Seismic Isolation Performance Sensitivity to Potential Deviations From Design Values, *Smart Structures and Systems*, 18, 293-315.
- 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.
- Alhan, C., Şahin, F., 2011, Protecting Vibration-Sensitive Contents: an investigation of Floor Accelerations in Seismically Isolated Buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9, 1203-1226.
- ASCE/SEI 7-10, 2010, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, Virginia: American Society of Civil Engineers, Structural Engineering Institute.
- ASCE/SEI 7-16, 2017, *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, Virginia: American Society of Civil Engineers, Structural Engineering Institute.
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (1999) *Guide Specifications for Seismic Isolation Design* Washington, D.C.
- ASCE (2006) American Society of Civil Engineers, *ASCE/SEI 7-05 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, Virginia, USA.
- Ayyub, B.M., Mccuen, R.H., 2011, *Probability, Statistics, and Reliability for Engineers*, New York: CRC Press.

- Bentner, J., Bauer, G., Obermair, G.M., Morgenstern, I., Schneider, J., 2001, Optimization of the Time-Dependent Traveling Salesman Problem with Monte Carlo Methods, *Physical Review E*, 64(3), Part 2.
- Brun, R., Buncic, P., Carminati, F., Morsch, A., Rademakers, F., Safarik K., 2003, Computing in ALICE, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 502, 339–346.
- Cardone D., Perrone G., Piesco V., 2019, Developing Collapse Fragility Curves for Base-Isolated Buildings, *Earthquake Engng Struct Dyn.*, 48, 78–102.
- Castaldo, P., Amendola, G., Palazzo, B., 2016b, Effects of Class B Site on the Seismic Reliability of Base-Isolated Steel Systems, *Ingegneria Sismica*, 33(3), 29-41.
- Castaldo, P., Amendola, G., Palazzo, B., 2017a, Seismic Fragility and Reliability of Structures Isolated by Friction Pendulum Devices: Seismic Reliability-Based Design (SRBD), *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 46, 425–446.
- Castaldo, P., Mancini, G., Palazzo, B., 2018a, Seismic Reliability-Based Robustness Assessment of Three-Dimensional Reinforced Concrete Systems Equipped with Single-Concave Sliding Devices, *Engineering Structures*, 163, 373–387.
- Castaldo, P., Palazzo, B., Alfano, G., Palumbo, M.F., 2018b, Seismic Reliability-Based Ductility Demand for Hardening and Softening Structures Isolated by Friction Pendulum Bearings, *Struct Control Health Monit.*, 25, e2256.
- Castaldo, P., Palazzo, B., Della Vecchia, P., 2015, Seismic Reliability of Base-Isolated Structures with Friction Pendulum Bearings, *Engineering Structures*, 95, 80–93.
- Castaldo, P., Palazzo, B., Della Vecchia, P., 2016a, Life-Cycle Cost and Seismic Reliability Analysis of 3D Systems Equipped with FPS for Different Isolation Degrees, *Engineering Structures*, 125, 349–363.
- Castaldo, P., Palazzo, B., Ferrentino, T., 2017b, Seismic Reliability-Based Ductility Demand Evaluation for Inelastic Base-Isolated Structures with Friction Pendulum Devices, *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 46, 1245–1266.
- Castaldo, P., Palazzo, B., Ferrentino, T., Petrone, G., 2017, Influence of the strength reduction factor on the seismic reliability of structures with FPS considering intermediate PGA/PGV ratios, *Composites Part B: Engineering*, 115, 308-315.
- Castelnuovo, E., 2013, Monetary Policy Shocks and Financial Conditions: A Monte Carlo Experiment, *Journal of International Money and Finance*, 32, 282-303.
- Chen, W.F., Scawthorn, C., 2002, *Earthquake Engineering Handbook*, CRC Press, USA.
- Chen, J., Liu, W., Peng, Y., Li, J., 2007, Stochastic Seismic Response and Reliability Analysis of Base-Isolated Structures, *Journal of Earthquake Engineering*, 11, 903–924.
- Cicek, K., Sari, A., 2020, A novel risk assessment approach for data center structures, *Earthquakes and Structures*, 19(6), 471-484.
- Chen, G., Zhao, J., 2010, Application and Implementation of Monte Carlo Method in Mechanical Engineering, *Applied Mechanics and Materials*, 26-28, 925-930.
- Cheng, F.Y., Jiang, H., Lou, K., 2008, *Smart Structures innovative Systems for Seismic Response Control*, Crc Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Constantinou, M.C., Papageorgiou, A., 1990, Stochastic Response of Practical Sliding Isolation Systems, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 5(1), 27–34.

- Constantinou, M.C., Tsopelas, P., Kasalanati, A., Wolf, E.D., 1999, Property Modification Factors for Seismic Isolation Bearings (Technical Report Mceer-99-0012). Buffalo: The State University of New York.
- CSI. 2016, Sap2000: Structural Analysis Program, Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures - Computers and Structures Inc., USA.
- Dall'Asta, A. and Ragni, L., 2008, Dynamic systems with high damping rubber: Nonlinear behavior and linear approximation, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 37, 1511-1526.
- Datta, T.K., 2010, *Seismic Analysis of Structures*, Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.
- DEC. 2006, *Assessing Vibration: A Technical Guideline*, Sydney: Department of Environment and Conservation.
- De Grandis, S. Domaneschi, M., Perrotti, F., 2009, A Numerical Procedure for Computing the Fragility of NPP Components Under Random Seismic Excitation, *Nuclear Engineering and Design*, 239 (11), 2491-2499.
- De La Llera, J.C., Inaudi, J.A., 1994, Analysis of Base-Isolated Buildings Considering Stiffness Uncertainty the Isolation System, *Fifth National Conference on Earthquake Engineering*, 1994, Chicago, Illionis, Earthquake Engineering Research Institute, 623-632.
- Dicleli, M. and Buddaram, S., 2007a, Equivalent linear analysis of seismic-isolated bridges subjected to near-fault ground motions with forward rupture directivity effect, *Eng. Struct.*, 29, 21-32.
- Dicleli, M. Buddaram, S., 2007b, Comprehensive evaluation of equivalent linear analysis method for seismic-isolated structures represented by sdof systems, *Eng. Struct.*, 29, 1653-1663.
- Dynamic Isolation Systems, 2007, *Seismic Isolation for Buildings and Bridges (Technical Brochure)*, 885 Denmark Drive, Suite 101 McCarran, Nevada 89434, USA.
- Franchin, P., Monti, G., and Pinto, P.E., 2001, On the accuracy of simplified methods for the analysis of isolated bridges, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 30, 363-382.
- Fan, F.G., Ahmadi, G., 1990, Random Response Analysis of Frictional Base Isolation System, *Journal of Engineering Mechanics*, 116(9), 1881-1901.
- Fan, J., Zhang, Y., 2014., A Hybrid Probability-Convex Model for the Seismic Demand Analysis of Bearing Displacement in the Benchmark Base-Isolated Structure, *Adv. Struct. Eng.*, 17(7), 1061-1073.
- FEMA 273, 1997, *NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation Of Buildings*, Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Gazi, H., 2015, *Sismik İzolasyonlu Binaların Deprem Yükleri Altındaki Olasılıksal Davranışı*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Gazi, H., Alhan, C., 2013, Sismik İzolasyon Sistemi Parametrelerindeki Rastgele Değişimlerin Etkisinin Monte Carlo Simülasyon Metoduyla İncelenmesi, 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (2.TDMSK)*, Hatay, Türkiye.
- Gazi H., Alhan C., 2018, Probabilistic Sensitivity of Base-Isolated Buildings to Uncertainties, *Smart Structures and Systems*, 22, 441-457.

- Gazi, H., Alhan, C., 2019, Reliability of elastomeric-isolated buildings under historical earthquakes with/without forward-directivity effects, *Engineering Structures*, 195, 490-507.
- Gazi H., Öncü Davas S., Alhan C., 2015, *Comparison of Ground Motion Pulse Models for the Drift Response of Seismically Isolated Buildings*, Urban Planning and Civil Engineering. Editörler: Sisiopiku, V.P., Ramadan, O.E., Atina: Athens Institute for Education and Research.
- Gazi, H., Alhan, C., Baran, B., 2021, *Yakın-Fay Yer Hareketlerine Maruz Taban İzolasyonlu Binaların Güvenilirlikleri Üzerinde Belirsizlik Kaynaklarının ve Üstyapı Esnekliğinin Etkileri*, 119M804 No'lu TÜBİTAK Projesi, Program Kodu: 1002, İstanbul
- Gordon, C.G., *Generic Vibration Criteria for Vibration-Sensitive Equipment*, <https://octava.info/files/octava/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/Gordon-SPIE99.pdf>
- Grinstead, C.M., Snell, J.L., 2010, *Grinstead and Snell's Introduction to Probability*, Florida: University Press of Florida.
- Haldar, A., Mahadevan, S., 2000, *Probability Reliability and Statistical Methods in Engineering Design*, Danvers MA: John Wiley & Sons.
- Hall, J.F., Heaton, T.H., Halling, M.W., Wald, D.J., 1995, Near-Source Ground Motion and Its Effects on Flexible Buildings, *Earthquake Spectra*, 11, 569-605.
- He, W.L., Agrawal, A.K., 2008, An analytical Model of Ground Motion Pulses for the Design and Assessment of Smart Protective Systems, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 134 (7), 1177-1188.
- Heaton, T.H., Hall, J.F., Wald, D.J., Halling, M.W., 1995, Response of High-Rise and Base-Isolated Buildings to A Hypothetical Mw 7.0 Blind Thrust Earthquake, *Science*, 267(5195), 206-211.
- Hirata, K., Shiojiri, H., Mazda, T., Kontani, O., 1989, Response Variability of Isolated Structure Due to Randomness of Isolation Devices, *Icosar 89, Proceedings of the 5th international Conference on Structural Safety and Reliability*, San Francisco.
- Hwang, J.S., 1996, Evaluation of equivalent linear analysis methods of bridge isolation, *J. Struct. Eng.*, 122, 972-976.
- Hwang, J.S. and Chiou, J.M., 1996, An equivalent linear model of lead-rubber seismic isolation bearings, *Eng. Struct.*, 18, 528-536.
- Hwang, J.S. and Sheng, L.H., 1993, Effective stiffness and equivalent damping of base-isolated bridges, *J. Struct. Eng.*, 119, 3094-3101.
- Hwang, J.S. and Sheng, L.H., 1994, Equivalent elastic seismic analysis of base-isolated bridges with lead-rubber bearings, *Eng. Struct.*, 16, 201-209.
- Hwang, J.S., Sheng, L.H., and Gates, J.H., 1994, Practical analysis of bridges on isolation bearings with bi-linear hysteresis characteristics, *Earthq. Spectra*, 10, 705-727.
- Iemura, H., Taghikhany, T., Jain, S.K., 2007, Optimum Design of Resilient Sliding Isolation System for Seismic Protection of Equipments, *Bull Earthquake Eng.*, 5, 85-103.
- Ismail, M., Rodellar, J., Ikhoulane, F., 2009a, An innovative isolation bearing for motion-sensitive equipment, *Journal of Sound and Vibration*, 326(3-5), 503-521.

- Jangid, R.S., 2008, Equivalent Linear Stochastic Seismic Response of Isolated Bridges, *Journal of Sound and Vibration*, 309, 805-822.
- Jara, M. and Casas, J.R., 2006, A direct displacement-based method for the seismic design of bridges on bi-linear isolation devices, *Eng. Struct.*, 28, 869-879.
- Jensen, H. A., Mayorga, F., Valdebenito, M. A., 2020, On the reliability of structures equipped with a class of friction-based devices under stochastic excitation, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 364, 112965.
- Kelly, J., 1999, The role of damping in seismic isolation, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 28, 3-20.
- Kastner, M., 2010, Monte Carlo Methods in Statistical Physics: Mathematical Foundations and Strategies, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(6), 1589-1602.
- Kim, H. J., Shin, D. H., 2020, Analytical Evaluation of MCE Collapse Performance of Seismically Base Isolated Buildings Located at Low-to-Moderate Seismicity Regions, *Applied Sciences*, 10, 9150.
- Kottogodai, N.T. and Rosso R., 1997, *Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, New York (NY), McGraw Hill.
- Komodromos, P., 2000, *Seismic Isolation for Earthquake-Resistant Structures*, Boston: Wit Press.
- Makris, N., 1997, Rigidity, Plasticity, Viscosity: Can Electrorheological Dampers Protect Base Isolated Structures from Near Source Ground Motions?, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 571-591.
- Makris, N., Chang, S., 2000, Effect of Viscous, Viscoplastic and Friction Damping on the Response of Seismic Isolated Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 85-107.
- Martelli A., Clemente P., De Stefano A., Forni M., Salvatori A., 2014, *Recent Development and Application of Seismic Isolation and Energy Dissipation and Conditions for Their Correct Use*, Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology, Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering, Editor: Ansal A., New York: Springer Cham.
- Mavroeidis, G.P., Papageorgiou, A.S., 2003, A Mathematical Representation of Near-Fault Ground Motions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(3), 1099-1131.
- Mazza, F., Mazza, M., Vulcano, V., 2018, Base-Isolation Systems for the Seismic Retrofitting of R.C. Framed Buildings with Soft-Storey Subjected to Near-Fault Earthquakes, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 109, 209–221.
- MathWorks, MATLAB, 2020, The Language of Technical Computing - The MathWorks Inc., USA.
- Matsagar, V.A. and Jangid, R.S., 2004, Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures, *Eng. Struct.*, 26, 1735-1749.
- Menun, C., Fu, Q., 2002, An analytical Model for Near-Fault Ground Motions and the Response of Sdof Systems, *Proceedings of the 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Boston.

- Moeindarbari H., Taghikhany T., 2018, Seismic Reliability Assessment of Base-Isolated Structures Using Artificial Neural Network: Operation Failure of Sensitive Equipment, *Earthquakes and Structures*, 14, 5, 2018, 425-436.
- Mizuno, H., Iiba, M. and Yamaguchi, N., 1986, Earthquake resistance of medical equipments with casters, *Proceedings of the 7th Japanese earthquake engineering symposium*, 1837-1842.
- Morgan T.A., Mahin S.A., 2010, Achieving Reliable Seismic Performance Enhancement Using Multi-Stage Friction Pendulum Isolators, *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 39, 1443–1461.
- Naeim, F., Kelly, J.M., 1999, *Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice*, New York: Wiley.
- Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M., Constantinou, M.C., 1989, *Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures (3D-BASIS) Technical Report Nceer-89-0019*, State University of New York Buffalo: National Center for Earthquake Engineering Research.
- Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M., Constantinou, M.C., 1991, *3D-BASIS: A General Program for the Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Buildings*, State University of New York Buffalo: National Center for Earthquake Engineering Research.
- Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M., and Constantinou, M.C., 1991, *3D-Basis: Nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures: Part II, Technical Report NCEER-91-0005*, National Center for Earthquake Engineering, State University of New York at Buffalo.
- Nagarajaiah, S., Ferrell, K., 1999, Stability of Elastomeric Seismic Isolation Bearings, *Journal of Structural Engineering*, 125(9), 946–954.
- Nowak, A.S., Collins K.R., 2000, *Reliability of Structures*, Boston: Mc Graw-Hill Companies Inc.
- Öncü-Davas, S., Gazi, H., Alhan, C., 2015, *Comparison of ground motion pulse models for the acceleration response of seismically isolated buildings*, Architecture anthology I: architectural construction, materials and building technologies, Editör: Khatip, J. M., Atina: Athens Institute for Education and Research, Athens.
- 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, 2000, *Peer Strong Motion Databank*, University of California, Berkeley, <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>. [Ziyaret tarihi: 15 Kasım 2009].
- Pengelly, J., Monte Carlo Methods, <http://Cash6.Org/Download/1677>.
- Persson, P., Holmberg, R., Lee, J., 1994, *Rock Blasting and Explosives Engineering*. USA: CRC Press.
- Pirrotta, A., Ibrahim, R.A., 1997, Experimental investigation of Friction Base Isolation, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 12(3), 125–136.
- Politopoulos, I., Pham, H.K., 2009, Sensitivity of Seismically Isolated Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 38, 989–1007.

- Pradlwarter H.J., Shueller, G.I., Dorka, U., 1998, Reliability of M dof-Systems with Hysteretic Devices, *Engineering Structures*, 20(8), 685–691.
- Reinhorn, A.M., Contantinou, M.C. and Nagarajaiah, S., 2010, *3D-BASIS: computer program series for nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures*, Research Accomplishments. Editör: Stoye, J. New York: National Center for Earthquake Engineering Research
- Rubinstein, R. Y., Kroese, D. P., 2017, *Simulation and the Monte Carlo Method (Third Edition)*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Sayani, P. and Ryan, K., 2009, Evaluation of approaches to characterize seismic isolation systems for design, *J. Earthq. Eng.*, 13, 835-851.
- Shao, B., Mahin, S. A., Zayas, V., 2019, Achieving targeted levels of reliability for low-rise seismically isolated structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 125, 105744.
- Shenton III, H.W., Holloway, E.S., 2000, Effect of Stiffness Variability on the Response of Isolated Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 19-36.
- Shoaei, P., Orimi, H. T., Zahrai, S. M., 2018, Seismic Reliability-Based Design of Inelastic Base-Isolated Structures with Lead-Rubber Bearing Systems, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115, 589-605.
- Sommerville, P.G. 1998, Development of an Improved Representation of Near-Fault Ground Motions, *SMIP98 Proceedings, Seminar on Utilization of Strong-Motion Data*, Oakland, CA.
- Taflanidis, A.A., Jia, G., 2011, A Simulation-Based Framework for Risk Assessment and Probabilistic Sensitivity Analysis of Base-Isolated Structures, *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 40, 1629–1651.
- Tajammolian, H., Khoshnoudian F., Rad A.R., Loghman, V., 2018, Seismic Fragility Assessment of Asymmetric Structures Supported on TCFP Bearings Subjected to Near-Field Earthquakes, *Structures*, 13, 66-78.
- Takeda, M., Ohkawa, Y., Akutsu, Y., 1998, An Evaluation Method for Seismic Isolation Effect in Siting of A Nuclear Facility, *Reliability Engineering and System Safety*, 62, 241–249.
- TBDY, 2019, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar*, Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı.
- Thompson, A.C., Whittaker, A.S., Fenves, G.L., Mahin, S.A., 2000, Property Modification Factors for Elastomeric Seismic Base Isolation Bearings, *12th World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE)*, Auckland, New Zealand.
- Turkington, D.H., Carr, A.J., Cooke, N., and Moss, P.J., 1989a, Design methods for bridges on lead-rubber bearings, *J. Struct. Eng.*, 115, 3017-30030.
- Turkington, D.H., Carr, A.J., Cooke, N., and Moss, P.J., 1989b, Seismic design of bridges on lead-rubber bearings, *J. Struct. Eng.*, 115, 3000-30016.
- York, K., Ryan, K.L., 2008, Distribution of lateral forces in base-isolated buildings considering isolation system nonlinearity, *J. Earthq. Eng.*, 12, 1185-1204.
- UBC 1997, *International Conference Building Officials, Uniform Building Code*, Volume 2: Structural Engineering Provisions. Whitties, CA, USA.

- Ungar, E. E., 2007, Vibration criteria for healthcare facility floors, *Sound and vibration*, 41(9), 26-27.
- Vargas, J.P., Koppe, J.C., Pérez, S., 2014, Monte Carlo Simulation as a Tool for Tunneling Planning, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 40, 203-209.
- Zhang, S., Liu, F., Xiao, J., Hu, Y., Deng, H., 2020, Dynamic reliability sensitivity analysis for inter-story isolation structure under stochastic excitations, *Journal of Vibroengineering*, 22, 880-895.
- Wang, Z., Wang, Y., Ma, M., Wu, J., 2013, Efficient Localization for Mobile Sensor Networks Based on Constraint Rules Optimized Monte Carlo Method, *Computer Networks*, 57(14), 2788-2801.
- Wang, Y., McFarland, D.M., Vakakis, A. F., Bergman, L.A., 2002, Efficacy of a Nonlinear Base Isolation System Subjected to Near-Field Earthquake Motions, *Int. Conf. on Advances and New Challenges in Earthquake Engineering Research*, Harbin, People's Republic of China PRC.
- Wolff, E.D., Constantiou, M.C., 2004, *Experimental Study of Seismic Isolation Systems with Emphasis on Secondary System Response and Verification of Accuracy of Dynamic Response History Analysis Methods Technical Report Mceer-04-0001*, Buffalo: State University of New York.
- Worksafe Technologies, *Iso-Base Seismic Isolation Platform (Technical Documentation)*, <http://www.3agrup.Com/Teknikdokuman.Pdf>



## EKLER

**EK 1. 4 katlı taban izolasyonlu bina için SAP2000 (CSI, 2016) ve 3D-BASIS (Nagarajaiah vd, 1991) programlarında elde edilen yapısal cevap parametrelerinin karşılaştırılması; (a): En Üst Kat Toplam Kat İvmeleri, (b): Taban Deplasmanları**

