



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**YARI-AKTİF SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNE SAHİP
BİNALARIN DEPREM YÜKLERİ ALTINDAKİ OLASILIKSAL
DAVRANIŞI**

Seda ÖNCÜ DAVAS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Cenk ALHAN

Mayıs, 2018

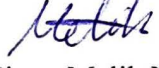
İSTANBUL

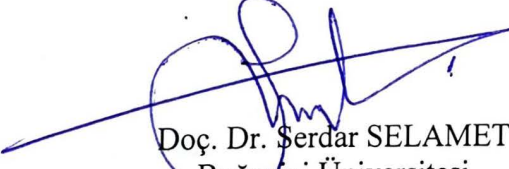
Bu çalışma, 22.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı , İnşaat Mühendisliği Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


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


Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Doç. Dr. Sinan Melih NİĞDELİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Doç. Dr. Serdar SELAMET
Boğaziçi Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat 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’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Lisansüstü öğrenimim boyunca, akademik ve sosyal alanda bana yol gösteren, bilgi birikimi ve disiplini ile çalışmalarımı yöneten, çalışma sürecimiz boyunca hoşgörü ve sabır gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Cenk ALHAN'a, değerli görüş ve önerileri ile teze büyük katkı sağlayan tez izleme komitesinde bulunan çok değerli hocalarıma en içten dileklerle teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu süreçte beni motive ederek destek olan ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Erdem DAMCI'ya, Dr. Rasim TEMÜR'e ve Dr. Uğur BOYRAZ'a teşekkür ederim. Ayrıca, beni sabırla destekleyen annem Serpil ÜSTÜN'e ve eşim Emrah DAVAS'a, doktora sürecimde dünyaya gelen ve bana varlığıyla güç veren biricik kızım Zeynep Öykü'ye yüksek çalışma tempoma gösterdiği masum anlayış için sonsuz minnettarım.

Eğitimim boyunca sağladığı finansal destek için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na ve İstanbul Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı'na teşekkürü borç bilirim.

Mayıs, 2018

Seda ÖNCÜ DAVAS

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xi
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. YAPISAL KONTROL HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	5
2.1.1. Pasif Kontrol.....	6
2.1.2. Aktif Kontrol	7
2.1.3. Yarı-aktif Kontrol.....	8
2.2. YAPISAL KONTROL İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR.....	11
2.3. YAKIN-FAY DEPREMLERİ VE SENTETİK OLARAK MODELLENMESİ.....	16
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	21
3.1. YARI-AKTİF İZOLASYONLU BİNA MODELLERİ.....	22
3.1.1. Üst Yapı Modeli	22
3.1.2. Yarı-aktif İzolasyon Sistemi.....	23
3.1.3. Yarı-aktif İzolasyon Sistemine ait Rastgele Değişkenler ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (PDF)	26
3.2. MONTE-CARLO SİMÜLASYON YÖNTEMİ	28
3.2.1. Rastgele Değişken (X) ve Olasılık Dağılımı	28
3.2.2. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF) ve Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF).....	29
3.2.3. Normal Dağılım ve Weibull Dağılımı.....	29
3.2.4. Rastgele Sayıların ve Değişkenlerin Üretilmesi.....	30
3.2.5. Başarısızlık olasılığı (P_f).....	32
3.3. YARI-AKTİF KONTROL SİSTEMLERİNİN MONTE-CARLO ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLEBİLMESİ İÇİN 3DBASIS-SA PROGRAMININ UYARLANMASI	32

3.3.1. Sentetik Deprem Modelinin 3DBASIS-SA Programına Eklenmesi	35
3.3.2. Monte-Carlo Simülasyonunun 3DBASIS-SA Programına Entegrasyonu	36
3.3.3. Kullanılacak Rastgele Değişkenlerin Oluşturulması ve 3DBASIS-SA-MC Programına Aktarılması	39
3.4. ANALİZLERİN DOĞRULANMASI VE SİMÜLASYON SAYISININ TESPİTİ.....	39
3.4.1. Analizlerin Doğrulanması	39
3.4.2. Simülasyon Sayısının Tespiti	44
3.5. DEPREM KAYITLARI.....	47
3.5.1. Tarihi Depremler	47
3.5.2. Sentetik Deprem Parametreleri için M_w ve r Değerlerinin Belirlenmesi	51
3.5.3. Sentetik Depremlere Ait Rastgele Değişkenler, Nominal Değerleri ve Olasılıksal Dağılım Fonksiyonları	53
4. BULGULAR.....	56
4.1. LİMİT DEĞERLERİN BELİRLENMESİ VE PERFORMANS TESTLERİNİN TANIMLANMASI.....	56
4.2. TARİHİ YAKIN-FAY DEPREMLERİ ALTINDA YARI-AKTİF SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN GÜVENİLİRLİĞİNİN İRDELENMESİ	60
4.2.1. Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF) Grafiklerinin İncelenmesi	60
4.2.2. Başarısızlık Olasılıkları (P_f) Grafiklerinin İncelenmesi	66
4.2.3. Tarihi Yakın-Fay Depremlerine Maruz Bırakılan Binaların Güvenilirlik Grafiklerinin İncelenmesi	76
4.3. SENTETİK YAKIN-FAY DEPREMLERİ ALTINDA YARI-AKTİF SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN GÜVENİLİRLİĞİNİN İRDELENMESİ	80
4.3.1. Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF) Grafiklerinin İncelenmesi	80
4.3.2. Başarısızlık Olasılıkları (P_f) Grafiklerinin İncelenmesi	85
4.3.3. Sentetik Yakın-Fay Depremlerine Maruz Bırakılan Binaların Güvenilirlik Grafiklerinin İncelenmesi	94
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	97
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ	109

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Yarı-aktif hidrolik sönümleyici şematik gösterimi.	10
Şekil 3.1: Prototip 3 katlı ve 9 katlı binaya ait plan görünümü.	23
Şekil 3.2: Prototip 3 katlı ve 9 katlı binaya ait kesit görünümü.	23
Şekil 3.3: Maxwell elemanı (Vu ve diğ., 2016'dan esinlenilmiştir).	25
Şekil 3.4: Yarı-aktif izolasyon sistemine ait rastgele değişkenlerin olasılık yoğunluk fonksiyonları (PDF).	27
Şekil 3.5: Tekrarlı analiz yapabilen 3DBASIS-SA-MC programının genel yapısı.	37
Şekil 3.6: Yarı-aktif izolasyonlu binaların Monte-Carlo Simülasyonunu gösteren grafiksel özet.	38
Şekil 3.7: El Centro Array #9 istasyonuna ait ivme-zaman ve hız-zaman kaydı.	43
Şekil 3.8: 3 katlı modele ait en üst kat ivmesi ve taban deplasmanı grafiği.	43
Şekil 3.9: Yarı-aktif Maxwell sönümleyicilere ait kuvvet-zaman grafiği.	43
Şekil 3.10: 3 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalar için elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanına ait histogram (a, b) ve CDF (c, d) grafikleri: $M_w=6.5$, $r=10$ km.	45
Şekil 3.11: 3 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalar için elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanına ait histogram (a, b) ve CDF (c, d) grafikleri: $M_w=7.0$, $r=3$ km.	46
Şekil 3.12: Gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanı için başarısızlık olasılıklarının değişimi: $M_w=6.5$, $r=10$ km (a, b) ve $M_w=7.0$, $r=3$ km (c,d).	47
Şekil 3.13: $r=0$ ile $r=6$ km arasındaki fay mesafelerinde kayıt edilen tarihi yer hareketlerine ait ivme (SA) ve deplasman (SD) spektrumları.	49
Şekil 3.14: $r=6$ ile $r=10$ km arasındaki fay mesafelerinde kayıt edilen tarihi yer hareketlerine ait ivme (SA) ve deplasman (SD) spektrumları.	49
Şekil 3.15: 3 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalar için elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanına ait histogram (a, b) ve CDF (c, d) grafikleri: $M_w=6.0$, $r=10$ km ($T_p=1.12$ s, $v_p=31.62$, $\zeta_p=0.20$).	52

Şekil 3.16: 3 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalar için elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanına ait histogram (a, b) ve CDF (c, d) grafikleri: $M_w=7.5$, $r=3$ km ($T_p=4.87$ s, $v_p=324.66$, $\zeta_p=0.20$)	53
Şekil 3.17: Sentetik deprem parametrelerine ait rastgele değişkenlerin olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) grafikleri.	55
Şekil 3.18: Farklı deprem moment büyüklükleri ve faya olan en yakın mesafeler için örnek hız-zaman grafikleri (Nominal parametreler için Bkz. Tablo 3.6).	55
Şekil 4.1: Pik en üst kat ivmelerine ait CDF grafikleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.	63
Şekil 4.2: Pik taban deplasmanlarına ait CDF grafikleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.	64
Şekil 4.3: Pik en alt kat görelî kat ötelemelerine ait CDF grafikleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.	65
Şekil 4.4: $La_1=3$ m/s ² limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.	68
Şekil 4.5: $La_2=5$ m/s ² limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı.	69
Şekil 4.6: $La_3=10$ m/s ² limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı.	70
Şekil 4.7: $Ldr_1=0.0025$ limiti altında pik görelî kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.	72
Şekil 4.8: $Ldr_2=0.005$ limiti altında pik görelî kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.	73
Şekil 4.9: $Ldr_3=0.01$ limiti altında pik görelî kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.	74
Şekil 4.10: Tüm pik taban deplasmanı limitleri altında ($Ld_1=0.4$ m, $Ld_2=0.7$ m and $Ld_3=1.0$ m) başarısızlık olasılıkları: $r=0-6$ km (a) 3 katlı, (c) 9 katlı ve $r=6-10$ km (b) 3 katlı, (d) 9 katlı.	76
Şekil 4.11: Grup 1 (Test 1, 2, 3): $r=0-6$ km (a) 3 katlı, (c) 9 katlı ve $r=6-10$ km (b) 3 katlı, (d) 9 katlı. Not: Her bir fay mesafesi ve deprem büyüklüğü için 3000 analiz gerçekleştirildiğinden %80 güvenilirlik seviyesi bunlardan en az 2400'ünün performans kriterlerini sağlayacağı anlamına gelmektedir.	77
Şekil 4.12: Grup 2 (Test 4, 5, 6): $r=0-6$ km (a) 3 katlı, (c) 9 katlı ve $r=6-10$ km (b) 3 katlı, (d) 9 katlı.	78
Şekil 4.13: Grup 3 (Test 7, 8, 9): $r=0-6$ km (a) 3 katlı, (c) 9 katlı ve $r=6-10$ km (b) 3 katlı, (d) 9 katlı.	78

Şekil 4.14: Pik en üst kat ivmelerine ait CDF grafikleri: (a)-(d) 3 katlı (e)-(h) 9 katlı.....	82
Şekil 4.15: Pik taban deplasmanlarına ait CDF grafikleri: (a)-(d) 3 katlı (e)-(h) 9 katlı.	83
Şekil 4.16: Pik en alt kat görelî kat ötelemesi oranlarına ait CDF grafikleri: (a)-(d) 3 katlı (e)-(h) 9 katlı.....	84
Şekil 4.17: $La_1=3 \text{ m/s}^2$ limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.....	87
Şekil 4.18: $La_2=5 \text{ m/s}^2$ limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.....	88
Şekil 4.19: $La_3=10 \text{ m/s}^2$ limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.	89
Şekil 4.20: $Ldr_1=0.0025$ limiti altında pik görelî kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.	90
Şekil 4.21: $Ldr_2=0.005$ limiti altında pik görelî kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.	91
Şekil 4.22: $Ldr_3=0.01$ limiti altında pik görelî kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.	92
Şekil 4.23: Tüm pik taban deplasmanı limitleri altında ($Ld_1=0.4 \text{ m}$, $Ld_2=0.7 \text{ m}$ and $Ld_3=1.0 \text{ m}$) başarısızlık olasılıkları: 3 katlı (a) ve 9 katlı bina (b).	93
Şekil 4.24: Yarı-aktif izolasyonlu binaların güvenilirlikleri: 3 katlı (sol kolon) (a) Grup 1, (b) Grup 2, (c) Grup 3 ve 9 katlı (sağ kolon) (d) Grup 1, (e) Grup 2, (f) Grup 3. Not: Her bir fay mesafesi ve deprem büyüklüğü için 3000 analiz gerçekleştirildiğinden %80 güvenilirlik seviyesi bunlardan en az 2400'ünün performans kriterlerini sağlayacağı anlamına gelmektedir.	95

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Kauçuk izolatörlere ve yarı-aktif cihazlara ait mekanik parametrelerin nominal değerleri.....	26
Tablo 3.2: Yarı-aktif izolasyon sistemine ait rastgele değişkenlerin olasılık dağılımı bilgisi.....	27
Tablo 3.3: Fay mesafelerinde kayıt edilen ve analizlerde kullanılan tarihi yer hareketleri...	48
Tablo 3.4: $r=0$ ile $r=6$ km arasındaki fay mesafelerinde kayıt edilen ve analizlerde kullanılan tarihi yer hareketlerine ait bilgiler.	50
Tablo 3.5: $r=6$ ile $r=10$ km arasındaki fay mesafelerinde kayıt edilen ve analizlerde kullanılan tarihi yer hareketlerine ait bilgiler.	51
Tablo 3.6: Farklı deprem moment büyüklükleri ve faya olan mesafeler için elde edilen yakın-fay deprem parametrelerinin nominal değerleri.	54
Tablo 3.7: Sentetik deprem modeline ait rastgele değişkenlerin olasılık dağılımı bilgisi.....	54
Tablo 4.1: Performans testleri için tanımlanan performans limitleri.....	59

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
a	: Yer hareketi ivmesi.
C	: Genlik ölçek faktörü.
$c_d(u)$	: Yarı-aktif cihazın kontrol edilebilir sönümü.
c_{max}	: Maksimum sönüm değeri.
c_{min}	: Minimum sönüm değeri.
D_y	: Akma deplasmanı.
F_d	: Yarı-aktif cihazın kontrol kuvveti.
F_y	: Nominal akma kuvveti.
F_{yt}	: Nominal toplam akma kuvveti.
G	: kat ağırlık merkezi.
g	: Yerçekimi ivmesi.
K_1	: Nominal akma öncesi rijitlik.
K_2	: Nominal akma sonrası rijitlik.
K_{1t}	: Nominal akma öncesi rijitlik.
K_{2t}	: Nominal akma sonrası rijitlik.
k_d	: Cihazın rijitliği.
k_x	: Rastgele değişkenin varyasyonunu değiştiren şekil parametresi.
k_{xi}	: i 'nci kolonun X yönündeki rijitliği.
k_{yi}	: i 'nci kolonun Y yönündeki rijitliği.
M_w	: Depremin büyüklüğü.
n	: Puls zarf eğrisinin keskinliğini kontrol eden parametre.
P_r	: Olasılık.
P_f	: Başarısızlık olasılığı.
Q_t	: Nominal toplam karakteristik kuvvet.
Q_t/W	: Nominal toplam karakteristik kuvvet oranı.
r	: Yapının faya olan en yakın mesafesi.
s	: Hız pulsunun başlangıç genliği.
s_i	: Standart normal rastgele değişken.
t_0	: Pulsun başlangıç zamanı.

t_p	: Pik yer hızının oluştuğu zaman.
T_p	: Deprem puls periyodu.
u	: Yarı-aktif cihazın kontrol sinyali.
u_i	: Uniform dağılımlı rastgele sayılar.
V_a	: Yarı-aktif cihazın mutlak hızı.
v	: Yer hareketi hızı.
W	: Binanın toplam ağırlığı.
ω_p	: Deprem puls frekansı.
ω_{ni}	: i 'nci yapı moduna ait binanın doğal frekansı.
$\dot{z}_d$	: Cihazın görelî hızı.
Φ	: Sinüzoidal bileşenin faz açısı.
ζ_p	: Puls modeli sönüm faktörü.
α	: Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı.
σ	: Standart sapma.
Γ	: Şekil parametresi değeri.
γ_x	: Rastgele değişkenin olasılık dağılım fonksiyonunun şeklini değiştiren şekil parametresi.
ζ_i	: i 'nci yapı moduna ait sönüm oranı.
η	: Sönüm faktörü.

Kısaltmalar

Açıklama

bd	: Taban deplasmanı.
CDF	: Kümülatif dağılım fonksiyonu.
c.o.v.	: Varyasyon katsayısı.
La₁	: Pik en üst kat ivmesine ait birinci limit değeri.
La₂	: Pik en üst kat ivmesine ait ikinci limit değeri.
La₃	: Pik en üst kat ivmesine ait üçüncü limit değeri.
Ld₁	: Pik taban deplasmanına ait birinci limit değeri.
Ld₂	: Pik taban deplasmanına ait ikinci limit değeri.
Ld₃	: Pik taban deplasmanına ait üçüncü limit değeri.
Ldr₁	: Pik görelî kat ötelemesi oranına ait birinci limit değeri.
Ldr₂	: Pik görelî kat ötelemesi oranına ait ikinci limit değeri.
Ldr₃	: Pik görelî kat ötelemesi oranına ait üçüncü limit değeri.
n_{mcs}	: Monte-Carlo simülasyon sayısı.
PDF	: Olasılık yoğunluk fonksiyonu.

ptfa	: Pik en üst kat ivmesi.
pdr	: Pik görelî kat ötelemesi oranı.
pbd	: Pik taban deplasmanı.
SA	: Spektral ivme.
SD	: Spektral deplasman.
tfa	: En üst kat ivmesi.



ÖZET

DOKTORA TEZİ

YARI-AKTİF SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNE SAHİP BİNALARIN DEPREM YÜKLERİ ALTINDAKİ OLASILIKSAL DAVRANIŞI

Seda ÖNCÜ DAVAS

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Cenk ALHAN

Yapısal kontrol, binaları ve titreşime duyarlı içeriklerini depremlerden korumak için kullanılabilir. Yapısal kontrol sistemlerinden biri olan sismik izolasyon, etkin deprem kuvvetlerini esnek izolatörler vasıtasıyla düşüren pasif bir yöntemdir. Ancak, fay hattına yakın depremlerde oluşabilecek büyük taban deplasmanlarını azaltmak için izolasyon sisteminde ilave sönümleme gerekli olabilir. Kat ivmelerinde meydana gelebilecek büyütme en aza indirmek için de, yarı-aktif sönümleyiciler pasif olanlara göre tercih edilebilir. Çalışma prensipleri nedeniyle yapıya enerji aktarmayan ve çok küçük bir güç kaynağı ile çalışabilen yarı-aktif sönümleyiciler, stabilite problemine neden olabilen ve çalışması esnasında yüksek güç gerektiren aktif sönümleyicilere göre tercih edilmektedir. Bununla birlikte, yarı-aktif izolasyonun sismik performansı, yarı-aktif cihazların ve/veya sismik izolatörlerin mekanik özelliklerindeki ve rastgele değişikliklere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Yarı-aktif kontrol cihazları ile donatılmış sismik olarak izole edilmiş binaların sismik davranışının gerçekçi bir değerlendirmesini elde etmek için, deprem parametrelerinde olduğu gibi izolasyon sistemindeki belirsizlikler de dikkate alınmalıdır. Bu çalışmanın amacı, bahsedilen belirsizlikleri göz önüne alarak titreşime duyarlı teçhizatı ve yapısal bütünlüğünü korumada yarı-aktif izolasyonun etkinliğini incelemek ve yakın-fay depremlerinde yarı-aktif sismik izolasyonun güvenilirliğini belirlemektir. Bu tez kapsamında, 3 katlı ve 9 katlı yarı-aktif sismik izolasyonlu prototip binaların fay hattına yakın mesafelerdeki güvenilirliğini belirlemek için tarihi ve sentetik yakın fay depremlerine maruz bırakılarak, Monte-Carlo simülasyon tekniği ile olasılıksal analizler

gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, başarısızlık olasılığı ve güvenilirlik grafikleri olarak karşılaştırmalı şekilde sunulmuştur.

Mayıs 2018, 128 sayfa.

Anahtar kelimeler: Monte Carlo Simülasyonu, yarı-aktif kontrol, sismik taban izolasyonu, yapısal güvenilirlik, yakın-fay depremleri



SUMMARY

Ph.D. THESIS

PROBABILISTIC BEHAVIOR OF BUILDINGS WITH SEMI-ACTIVE SEISMIC ISOLATION SYSTEMS UNDER EARTHQUAKE LOADS

Seda ÖNCÜ DAVAS

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Cenk ALHAN

Structural control can be used for protecting buildings and vibration-sensitive contents from earthquakes. Among these, seismic isolation is a passive one that lowers effective earthquake forces via use of flexible bearings. But supplemental damping in the isolation system may be necessary to reduce large isolator displacements under near-fault earthquakes. In order to minimize possible amplifications in floor accelerations, semi-active dampers are preferable to passive ones. Per their working principle, semi-active dampers do not add energy to the structure and require small amount of power to operate, thus they are also preferred to active ones since active dampers may cause instability and require high amount of power. However, seismic performance of semi-active isolation may vary due to variations in the mechanical properties of semi-active devices and/or seismic isolators. Such uncertainties as well as those in the earthquake parameters should be taken into consideration to obtain a realistic picture of the seismic behavior of seismically isolated buildings equipped with semi-active control devices. The objective of this study is to examine the effectiveness of semi-active isolation in protecting vibration-sensitive equipment and structural integrity considering aforementioned uncertainties and determine the reliability of semi-active seismic isolation under near-fault earthquakes. The scope of the thesis, in order to determine the reliability of 3 and 9 story semi-active isolated benchmark buildings located at close vicinity to the fault, the probabilistic analyses of the buildings under the historical and synthetic near-fault earthquakes are carried

out by using Monte-Carlo simulation technique. The results are presented in the form of comparative probability of failure and reliability plots.
May 2018, 128 pages.

Keywords: Monte-Carlo Simulation, semi-active control, seismic base isolation, structural reliability, near-fault earthquakes



1. GİRİŞ

Modern mühendislik uygulamalarında, yapıları depremlerin yıkıcı etkilerinden etkin bir şekilde korumak için yapısal kontrol sistemleri kullanılabilir. Yapısal kontrol sistemleri esas olarak pasif, aktif ve yarı-aktif olarak sınıflandırılır. Pasif kontrol (sismik izolasyon) sistemleri, yapısal sistemin hakim periyodunu uzatarak etkin deprem kuvvetlerini düşürür; ayrıca, izolasyon sisteminin sağladığı sönüm sayesinde izolasyon sistemi seviyesinde enerjiyi sönümleyerek üst yapıya iletilen enerjiyi azaltır. Böylece hem kat ivmeleri hem de göreceli kat ötelemesi oranları istenilen sınırların altına düşürülebilir. Bu tür sistemlerin karşı karşıya kaldıkları temel zorluk, yakın-fay depremlerinin meydana gelmesi durumunda, pratik ve ekonomik sınırları aşan büyük izolasyon sistemi deplasmanları oluşturmalarıdır (Heaton ve diğ., 1995; Alhan ve Öncü-Davas, 2016). Oluşacak büyük taban deplasmanları bırakılan sismik boşluğu aşabilir ve ciddi riskler oluşturabilir (Taflanidis ve Jia, 2011). Yüksek taban deplasmanlarını düşürebilmek için ek pasif sönüm kullanılabilir, ancak bu tür bir çözüm, deprem özelliklerine bağlı olarak kat ivmelerinde ve göreceli kat ötelemelerinde artışa neden olabilir (Kelly, 1999). Pek çok çalışma (Heaton ve diğ., 1995; Hall, 1999; Alhan ve Gavin, 2004; Mazza ve Vulcano, 2009) taban deplasmanlarını kontrol etmek için ek sönümlemenin gerekli olduğunu ortaya koymuştur; ancak ek sönümün kullanılması dahi hastaneler gibi içinde titreşime duyarlı cihazlar barındıran kritik görevli binaların yakın-fay depremlerine maruz kalması durumunda iyi performans sergileyeceklerini garanti etmeyebilir (Alhan ve Gavin, 2005; Alhan ve Öncü-Davas, 2016). Böylece, aktif veya yarı-aktif izolasyon sistemleri gibi farklı frekans içeriğine sahip deprem hareketlerine uyum sağlayabilen yöntemlerin kullanılmasının gerekli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu anlamda, aktif kontrol sistemleri oldukça etkin olmasına rağmen, çalışabilmesi için yüksek güç gereksinimi duyması gibi bazı dezavantajlara sahiptir (Singh ve diğ., 1997; Yamada ve Kōbori, 2001). Dahası, binaya aktif olarak mekanik enerji katması sebebiyle kararlılık sorunlarına neden olabilir (Wang ve Kim, 1991; Symans ve Constantinou, 1999; Casciati ve diğ., 2012). Aktif kontrolün sahip olduğu bu dezavantajlar, herhangi bir kararlılık problemi yaratmadan, uygun sönüm miktarını sağlayabilen yarı-aktif kontrol sistemlerine olan ilgiyi arttırmaktadır. Ayrıca, yarı-aktif kontrol sistemlerinin çalışmaları sırasında duyduğu güç gereksinimi aktif kontrol sistemlerine göre çok daha azdır, hatta bir pil ile sağlanabilir (Symans ve Constantinou, 1999; Casciati ve diğ., 2012). Symans ve diğ. (2000), hem taban deplasmanının hem de üst yapı cevap

parametrelerinin yarı-aktif sismik izolasyon sistemleri ile sınırlandırılabilceğini göstermiştir. Benzer bir şekilde, Yang ve Agrawal (2002), Madden ve diğ. (2003) ve Alhan ve diğ., (2006), yarı-aktif sönümleyicilerle donatılmış bir sismik izolasyon sisteminin güvenlik performansının oldukça yüksek olduğunu ve aynı zamanda hem taban deplasmanının hem de üst yapı tepki parametrelerinin sınırlandırılmasında etkili olduğunu doğrulamıştır.

Öte yandan izolatörlerin mekanik özelliklerinin geometriye, sınır koşullarına, malzemelerin temel davranışlarına (Chaudhuri ve Chakraborty, 2006), sıcaklığa ve yaşlanmaya (Shenton ve Holloway, 2000), bağlı neme, lokal hasarlara bağlı olarak değişebileceği (Aly, 2014) bilinmektedir. Benzer şekilde, yarı-aktif kontrol cihazlarındaki belirsizlikler, doğrusal olmayan doğaları, termal değişimler, kalibrasyondaki hatalar veya cihazların arızaları ile ilgilidir (YeganehFallah and Taghikhany, 2014). Bazı araştırmacılar (De la Llera ve Inaudi, 1994; Shenton ve Holloway, 2000; Politopoulos ve Pham, 2009; Gazi ve Alhan, 2013) pasif izolasyon sistemi parametrelerindeki değişkenliğin üst yapı tepkisi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Sonuçlar, bu parametrelerin izole edilmiş (yalıtılmış) binaların tepki parametreleri üzerindeki değişkenliğinin önemini vurgulamıştır. Bu noktada, bu belirsizlikleri hesaba katan olasılıksal sismik risk analizinin, yarı-aktif kontrol sistemlerine sahip sismik izolasyonlu binaların sismik performansını gerçekçi bir şekilde belirlemek için en iyi yöntem olduğu söylenebilir. Bütün problemin olasılık özelliklerini analitik olarak tanımlamanın zorluğu nedeniyle, Monte-Carlo Simülasyon tekniği uygun bir alternatif olarak kullanılabilir (Alhan ve diğ., 2005). Emniyet ve güvenilirlik analizlerini gerçekleştirmek için kesin bir yöntem olan Monte-Carlo simülasyonu (Pradlwarter ve diğ., 1998), belirli olasılık dağılımlarını takip eden rastgele değişkenleri tanımlayarak belirsizlikleri hesaba katan, tekrar eden bilgisayar analizleri ve matematiksel modelleme üzerine kuruludur.

Literatürdeki pasif izolasyon sistemleri ve/veya pasif sönümleyicilerle ilgili sismik risk araştırmaları bulunmaktadır. Güneyisi ve Altay (2008) tarafından, sentetik olarak geliştirilmiş yer hareketleri altında çeşitli efektif sönüm oranlarına sahip olan viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmiş yüksek katlı betonarme bir binanın sismik kırılabilirliğini sunulmuştur. Harici sönümleyicilerin etkililiğini değerlendirmek için, harici metalik sönümleyiciler ile küresel bir depolama tankının sismik güvenilirlik analizi Curadelli (2011) tarafından yapılmıştır. Colombo ve Almazán (2015), harici enerji sönümleme cihazları kullanılan sıvı depolama tanklarının sismik güvenilirliğini değerlendirmiştir. Yapının güvenilirlik analizi, harici enerji sönümleme

sisteminin sınır durumuna ulaşma ihtimalini %81 oranında azaltma kabiliyetine sahip olduğunu göstermiştir. Chakraborty ve Debberma (2015) tarafından yapılan bir başka araştırmada, ayarlanmış sıvı sönümleyicilerin optimum tasarımını yapmak için bu sistemlerdeki belirsizlikler göz önüne alınmıştır. Alhan ve Gavin (2005), titreşime duyarlı cihazları korumak için kullanılan doğrusal pasif kat izolasyon sistemlerinin güvenilirliğini sentetik depremlere maruz bırakarak incelemişler ve fay hattına yakın mesafelerde bulunan binalar için pasif izolasyon sistemlerinin yeterli olmayabileceğini ve bunların yerine yarı-aktif izolasyon sistemlerinin daha güvenilir olabileceğini belirtmişlerdir. Gazi (2015) ise, doğrusal olmayan pasif sismik izolatörlerin mekanik özelliklerinde olan belirsizliklerin, sismik izolasyonlu binaların sismik cevap parametreleri üzerindeki etkisini sentetik ve tarihi depremler altında Monte-Carlo simülasyonu kullanarak değerlendirmiştir. Pasif izolasyon sistemleri ve/veya pasif sönümleyiciler ile ilgili olasılıksal sismik risk analizi son yıllarda büyük ilgi görmesine rağmen, literatürde yarı-aktif kontrol sistemleri ile donatılmış sismik izolasyonlu binalar üzerinde olasılıksal araştırma çalışmaları çok azdır. Bunlardan bir diğeri olan çalışmada, Chase ve diğ. (2004) bir çeşit yarı-aktif kontrol stratejisinin yapısal tepki parametreleri üzerindeki etkisini karşılaştırmış ve sonuçları istatistiksel dağılımlar açısından değerlendirmiştir. Akıllı sönümleme teknolojisinin etkinliğini belirlemek için, Aly ve Christenson (2008) tarafından enerji temelli bir olasılık yaklaşımı sunulmuştur.

Bu tez çalışmasının amacı, etkin deprem yüklerindeki ve yarı-aktif izolasyon sistemlerinin mekanik parametrelerindeki belirsizlikleri göz önüne alarak titreşime duyarlı cihazları ve yapısal bütünlüğü korumada, yarı-aktif izolasyonun etkinliğini olasılıksal bir yaklaşımla incelemek ve yarı-aktif izolasyon sistemlerinin yakın-fay depremleri altındaki güvenilirliğini belirlemektir. Bu amaçla, tarihi ve sentetik yakın-fay depremleri altında yarı-aktif izolasyon sistemlerine sahip prototip yapıların Monte-Carlo Simülasyonları gerçekleştirilmiş olup; sonuçlar başarısızlık olasılığı ve güvenilirlik grafikleri oluşturularak karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu çalışmada, rastgele değişkenler olarak dikkate alınan parametreler, yarı-aktif izolasyon sisteminin mekanik parametrelerinden, kauçuk izolatörün akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine oranı, akma kuvveti ve akma deplasmanı, yarı-aktif kontrol cihazının rijitliği, maksimum ve minimum sönümü ve sentetik yakın-fay depremleri parametrelerinden puls periyodu, puls hızı ve sinüzoidal sönüm faktörüdür. Ayrıca, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, üst yapı esnekliğinin başarısızlık olasılığı ve güvenilirlik üzerindeki etkisi de 3 katlı ve 9 katlı binaların ele alınması suretiyle incelenmiştir. Doğrusal olmayan

zaman-tanım analizleri, yarı-aktif kontrol cihazlarıyla donatılmış üç boyutlu sismik izolasyonlu binaları analiz edebilen 3DBASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programının modifiye edilmiş versiyonu olan 3DBASIS SA (Gavin ve Diğ., 2003) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında modifiye edilmiş bu versiyon (3DBASIS-SA), tekrarlı Monte-Carlo analizleri yapabilir hale getirilmiştir. Ayrıca, programın doğrulaması MATLAB’te hazırlanan bir başka program aracılığıyla yapılmıştır. Belirli olasılık dağılımlarını izleyen rastgele parametrelerin değerleri, 3DBASIS-SA programında kullanılmak üzere MATLAB (Mathworks, 2016) vasıtasıyla elde edilmiştir. 3DBASIS-SA programından elde edilen sonuçlar ile başarısızlık olasılığı profilleri, kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri ve güvenilirlik grafikleri MATLAB ortamında yazılan program aracılığıyla elde edilmiştir.

Bu tezin genel organizasyonu şu şekildedir: İlk olarak yapısal kontrol hakkında bilgi verilmiş olup; yapısal kontrol ile ilgili literatür çalışmaları özetlenmiştir. Daha sonra, puls içeren tarihi deprem kaydı sayılarının yetersizliği nedeniyle, konuyu sistematik olarak inceleyebilmek için kullanılmış olan sentetik deprem modeli anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan Monte-Carlo simülasyon yöntemi ve olasılıksal çalışmalara ait terimler kısaca özetlenmiştir. Yarı-aktif kontrol sistemlerinin analizi için geliştirilmiş olan 3DBASIS-SA (Gavin ve diğ., 2003) programının Monte-Carlo simülasyonu yapabilir hale getirilmesi anlatılmıştır. Bina modellerinin anlatıldığı bölümde, yarı-aktif izolasyon sisteminin parametrelerinden ve bu parametrelerdeki belirsizliklerden bahsedilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan yakın-fay depremleri ise tarihi ve sentetik olarak iki kısma ayrılıp; sentetik depremlerdeki belirsizliklerin ne şekilde oluşturulduğu anlatılmıştır. Ardından, çalışmada incelenen dinamik tepki parametreleri için belirlenen limit değerler ve bu değerler ile oluşturulan performans testlerine yer verilerek; söz konusu limit değerler altındaki başarısızlık olasılığı profilleri ve performans testleri için güvenilirlik seviyesi grafikleri sunulmuştur.

Çalışmanın ana kabulleri ve sınırlılıkları şu şekilde sıralanabilir: (1) Kullanılan üst yapı modeli kayma çerçevesidir. (2) Kat kütleleri döşeme hizasında toplu olarak modellenmiştir. (3) Üst yapı lineer elastik olarak modellenmiştir ve analiz sırasında da lineer elastik kaldığı varsayılmıştır. (4) Modelleme sırasında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmamıştır. (5) Çalışmada sadece puls içeren yakın-fay deprem kayıtları kullanılmıştır (6) Deprem X ve Y doğrultularında eş zamanlı etkililmiş olup; deprem geliş açılarında meydana gelebilecek değişiklikler dikkate alınmamıştır. (7) Düşey deprem etkileri dikkate alınmamıştır.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde, yapısal kontrol hakkında genel bilgilere ve literatürde bulunan çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca tez kapsamında kullanılacak olan sentetik deprem modeli anlatılmıştır.

2.1. YAPISAL KONTROL HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımı olan kapasite tasarımı yaklaşımı, başlangıçta statik yükleme koşulları için geliştirilmiştir. Daha sonra, yapısal elemanların süneklik koşullarının sağlanması doğrultusunda geliştirilmiş olup, yapıları yanal yüklerin etkisinden korumak amacıyla kullanılmaktadır. Klasik depreme dayanıklı yapısal tasarım metodu ile tasarlanan yapıların büyük kısmı, ömrü boyunca maruz kaldığı servis yükleri altında elastik kalırken, deprem gibi yanal yükler etkisi altında yapıya aktarılan enerjiyi sönmüleyebilmek için kalıcı deformasyonlar oluşturarak plastik şekil değiştirme sergileyebilirler. Ancak, klasik tasarıma göre tasarlanan bir yapıda gerçekleşen kalıcı şekil değiştirmeleri, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)'te de ifade edildiği gibi yapının toptan göçmesine izin vermeyecek yani can kaybına neden olmayacak şekilde sınırlandırılmalıdır. Bununla birlikte, yapıda oluşan hasarın büyüklüğüne göre, yapısal olan ve yapısal olmayan elemanları kullanılabilir hale getirmek için gerekebilecek onarım çok pahalı, zaman alıcı ve hatta imkânsız olabilir. Kapasite tasarımı yaklaşımının bir diğer dezavantajı da yapıda insanların konforunu sağlamaya yönelik titreşimleri azaltma olanağı sunamamasıdır. Uzun köprüler veya yüksek binalar gibi çok esnek yapılarda konfor gereksinimleri dayanım gereksinimlerinden daha önemli olabilir (Casciati ve diğ., 2006). İçerisinde yaşayan insanların can güvenliğinin sağlanması, yapısal olan ve olmayan hasarların önlenmesi ve hatta yapıların içerikleri dâhil olmak üzere yapıların maruz kaldığı deprem, rüzgar, dalga, trafik gibi etkilerden korunması şüphesiz dünya çapında bir önceliktir. Söz konusu yapılara örnek olarak genel amaçlı binalar (konut, işyeri, vb.), özel amaçlı binalar (hastaneler, finans merkezleri, çip üretim merkezi vb.), kuleler, yollar, köprüler ve boru hatları verilebilir (Forrai ve diğ., 2001). Bahsi geçen gereksinimler sebebiyle, geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımı yöntemlerine alternatif olabilecek yeni yöntemler araştırılmaya başlanmıştır. Bu sebeple, yapısal teknolojideki temel eğilim, en şiddetli depremlerde dahi can güvenliğini sağlayacak şekilde tasarlanmış olan geleneksel depreme dayanıklı yapılardan, oluşan titreşimleri kontrol altına almak için tasarlanan yapısal kontrollü binalara dönüşmektir.

Yapısal kontrol, yapının rijitlik veya sönüm gibi bazı özelliklerinin, yapının dinamik tepki parametrelerinin (ivme, deplasman, vb.) kabul edilebilir seviyeyi aşmamasını sağlayacak şekilde ayarlanabileceği dinamik bir sistem olarak düşünülebilir (Cheng ve diğ., 2008). Yapısal kontrol sistemleri pasif, aktif ve yarı-aktif olmak üzere gruplandırılabilir.

2.1.1. Pasif Kontrol

Yapısal kontrol tekniklerinden biri olan pasif kontrol, 40 yılı aşkın süredir araştırmacılar tarafından teorik ve deneysel yönlerden kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve özellikle ABD, Japonya, Çin ve İtalya'da pek çok pratik uygulamada kullanılmıştır (Casciati ve diğ., 2006). Çoğu uygulamada yapı ile temel arasına yerleştirilen pasif kontrol sistemleri için kullanılan izolasyon elemanları (izolatörler) yüksek düşey rijitliğe ve düşük yatay rijitliğe sahiptirler. İzolasyon elemanları sayesinde yapının hâkim periyodu uzatılarak; depremin hâkim periyodundan daha yüksek bir periyoda erişmesi sağlanır (Naeim ve Kelly, 1999). Böylece, yapıya etkiyen etkin deprem kuvvetlerinin azaltılması mümkün olur (Yamada ve Kabori, 2001). Deprem etkisine maruz kaldıklarında büyük yatay deplasmanlar yapabilme kapasitesine sahip olan pasif izolasyon elemanları, deprem enerjisini izolasyon seviyesinde sönümleyerek; temelden yapıya iletilecek olan hareketleri sınırlandırır (Kelly, 2001). Yer değiştirmenin önemli bir kısmı izolasyon seviyesinde meydana geldiği için yapının rijit bir blok gibi hareket eder. Bu sayede, görelî kat ötelemeleri ile kat ivmeleri eş zamanlı olarak azaltılarak üst yapıda meydana gelebilecek yapısal olan/olmayan hasarların önüne geçilebilmektedir. (Naeim ve Kelly, 1999; Komodromos, 2000).

Pasif izolasyon tekniğı, kritik öneme sahip olan taban ankastre yapılarda bulunan bilgisayar, data bankası, hastane ekipmanları gibi ivmeye duyarlı cihazların korunması veya tarihi yapılarda ve müzelerde bulunan değerli eşyaların korunması amacıyla söz konusu cihaz ve ekipmanların altına da uygulanabilir (Alhan ve Gavin, 2005). Ayrıca, deprem sırasında ve sonrasında kullanılabilirliği önem arz eden diğ er yapı türlerinde de pasif izolasyon yöntemleri uygulanabilmektedir (Komodromos, 2000).

Pasif izolasyon elemanları kauçuk esaslı ve sürtünme esaslı olmak üzere ikiye ayrılabilir. Bu tez kapsamında yarı-aktif cihazlarla donatılmış olan izolasyon sisteminde izolatör olarak kauçuk esaslı elemanlar kullanılacağından, bu kısımda kısaca bu tür izolatörlere değ inilecektir. Kauçuk tabakalar arasına yerleştirilen çelik levhalar ile düşey rijitlikleri artırılan kauçuk esaslı

sismik izolatörler, üzerlerine gelen eksenel yükleri çok fazla deformasyon yapmadan karşılayabilirler (Kelly, 2001). Kauçuk esaslı sismik izolatörler ise düşük sönümlü kauçuk izolatörler (LDRB), yüksek sönümlü kauçuk izolatörler (HDRB) ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB) olmak üzere üçe ayrılır. Düşük sönümlü kauçuk izolatörler %2-3 arasında değişen etkin viskoz sönüme sahip olup, genellikle ilave sönüm sağlayan viskoz sönümleyiciler ile birlikte kullanılır (Naeim ve Kelly, 1999). Sismik izolasyon sistemlerinde, doğal kauçuğun sönüm özelliklerinin yağ ve reçine gibi malzemelerle pekiştirilmesi ile etkin sönüm oranı %10-20 arasında olacak şekilde artırılan yüksek sönümlü kauçuk izolatörler yeteri kadar sönüm sağladığından ek sönüm sağlayan cihazlarına olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). Tipik olarak düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin ortasına yerleştirilen kurşun çekirdek ile oluşturulan kurşun çekirdekli izolatörler, uygulamada yaygın şekilde kullanılan elemanlardır (Naeim ve Kelly, 1999). Bu izolatörler, kurşun çekirdek akmadan önce düşük yanal yükler altında yüksek yatay rijitlik sergilerken; yüksek yatay yüklere maruz kaldığında kurşun çekirdeğin akmasıyla yatay rijitlikleri düşer. Böylece, kurşun çekirdek aktıktan sonra meydana gelen büyük yanal deplasmanlar ile histeretik döngüler oluşarak %15-35 arasında değişen eşdeğer viskoz sönüm sağlar (Cheng ve diğ., 2008).

2.1.2. Aktif Kontrol

Pasif kontrol sistemlerinin yetersiz kalabildiği durumlar nedeniyle yapıların ömürleri boyunca maruz kalacakları dış yüklere kendilerini uyarlayabilme gereksinimi yani aktif kontrol sistemlerinin kullanım ihtiyacı doğmuştur. Şöyle ki; yapısal bütünlüğü korumak ve taban deplasmanlarını pratik ve ekonomik sınırlar altında tutarak aynı zamanda kat ivmelerini azaltmak suretiyle yapının içeriğinin korunmasını sağlamak gibi iki ana görevi olan pasif kontrol sistemleri, uzak-fay depremleri altında başarı göstermekle birlikte, uzun periyotlu yüksek hız pulsalarını içeren yakın-fay depremlerine maruz kalması sırasında oluşan büyük taban deplasmanları nedeniyle bu sistemlerin bu tür durumlar altındaki başarısı on yılı aşkın süredir sorgulanmaktadır. Pasif kontrol sistemleri şiddetli yakın-fay depremleri için tasarlandığında, orta şiddetli depremler altında daha az başarı gösterebilmektedir (Johnson ve diğ., 1998). Yapıların depremler, güçlü rüzgârlar gibi farklı dış yüklere adapte olarak alabilecekleri hasarları azaltmak için; mikro işlemciler, sensörler ve yük vericiler (actuator) ile ilgili son gelişmelerin de katkısıyla aktif ve yarı-aktif kontrol sistemleri gibi akıllı elemanların kullanımına başlanmıştır.

Aktif kontrol sistemleri, dış yükün etkidiği anda yapı tepkilerini anlık olarak ölçen ve bilgisayar sistemine aktaran sensörlerden, bu tepkilere karşı anlık olarak kontrol kuvvetlerinin oluşturulmasında rol alan hidrolik yük vericilerden oluşmaktadır. Aktif kontrol sistemi tarafından yapısal sisteme aktarılan kontrol kuvvetleri, önceden belirlenmiş bir kontrol kuralına uygun şekilde oluşturulur. Bu kuvvetler yapıya enerji eklemek ya da enerjiyi sönmölemek için kullanılabilir. Aktif kontrol teknikleri, teorik, nümerik ve son zamanlarda deneysel olarak kapsamlı şekilde incelenmektedir (Chang ve Spencer, 2010; Chang ve diğ., 2010; Aly, 2014; Yanık ve diğ., 2014; Miyamoto ve diğ., 2016). Depreme dayanıklı tasarım için en etkili yöntemlerden biri olan aktif kontrol, oluşturulan kontrol kuvvetlerinin yapısal sisteme aktarılması sırasında harici büyük güç kaynaklarına ihtiyaç duymasından dolayı, deprem sırasında meydana gelebilecek olan elektrik kesintileri sebebiyle işlevsiz hale gelebilir. Ayrıca, aktif kontrol cihazları yapıya aktardıkları mekanik enerji sebebiyle, yapıda stabilite sorunlarına yol açabilmektedir (Casciati ve diğ., 2006; Symans ve Constantinou, 1999; Wang ve Kim, 1991).

2.1.3. Yarı-aktif Kontrol

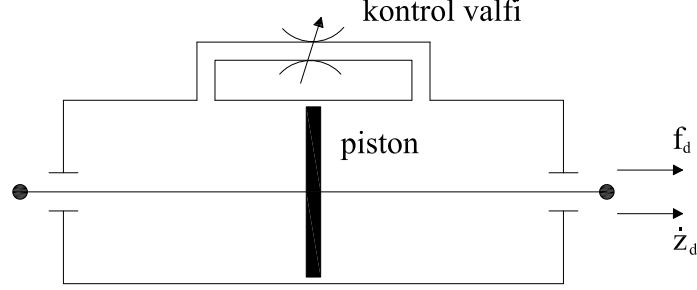
Yarı-aktif kontrol sistemleri, sönmö ve rijitlik gibi mekanik özellikleri değiştirebilen sönmöleme cihazlarının kullanıldığı kontrol sistemleridir. Yarı-aktif kontrol sistemleri, pasif sönmöleme cihazının karakteristiğini, küçük enerjilerle çalışan valf, sürgülü sürtünme bağlantısı (bolt friction connection) gibi mekanik bileşenler ile değiştirir. Bu nedenle, genellikle yarı-aktif kontrol sistemleri, tipik aktif kontrol sistemlerinden daha küçük enerji gereksinimleri duyarlar. Tipik olarak, pil enerjisi gibi küçük bir enerji ile çalıştırılabilirler. Bu kontrol cihazları, mekanik enerjiyi yapı sistemine aktarmadıkları için stabilite sorununa neden olmaz. Bu sebeple, yarı-aktif kontrol sistemlerini, aktif kontrolün dış yüklere adapte olabilme avantajını pasif kontrolün güvenilirliği ile sunan bir yöntem olarak tanımlayabiliriz. Yarı-aktif kontrol sistemleri ilk kez Crosby ve diğ. (1974) tarafından, otomotiv alanında kullanılan hidrolik sönmöleyicinin açılabilen bir valf ile kontrol edilmesi şeklinde önerilmiştir. Bu sistemlerin, inşaat mühendisliği alanında kullanılmasını ise ilk kez Hrovat ve diğ. (1993) önermiştir.

Makris (1997), yarı-aktif sismik izolasyon sisteminin, yakın-fay depremleri altındaki avantajlarını ortaya koymuştur. Yarı-aktif cihazlar kullanılarak gerçekleştirilen sismik izolasyon, depremlere karşı yapıları korumak için şiddetli ve orta şiddetli sismik olaylar sırasında performanstan ödün vermeden etkili bir şekilde başarı gösterebilmektedir.

Yarı-aktif kontrol sistemlerinin pek çok çeşidi vardır. Örneğin, yarı-aktif hidrolik cihazlar, değişken sürtünmeli cihazlar (yarı-aktif birleşim bağlantıları, sürtünme kontrollü kayıcı mesnetler), ayarlanabilir kütle sönümleyiciler ve elektro-indükleyici cihazlar (electro-inductive device) ve kontrol edilebilir akışkan sönümleyiciler (controllable fluid damper) yarı-aktif kontrol alanında kullanılırlar. Yarı-aktif cihazlara kontrol edilebilir rijitlikli cihazlar da örnek olarak gösterilebilir. Bu tür cihazlar, binanın bir kısmının rijitliğini değiştirip binanın frekansını dış etkilerin frekansından uzaklaştırarak; binanın rezonans durumuna girmesini önlemek için tasarlanmışlardır (Casciati ve diğ., 2006). Bu sistemler, yapının destekleme sistemine kelepçelenen hidrolik aygıtlar ile oluşturulur. Sistem tamamen açık olduğunda düşük rijitlik değeri elde edilir ve destekleme sistemi etkin olmazken; kapalı olduğunda rijitlik artar ve destekleme sistemi etkin hale gelir. Magnetoreolojik ve elektoreolojik sönümleyiciler yarı-aktif kontrol alanında son yıllarda sıklıkla kullanılan ve üzerinde araştırmaların yapıldığı cihazlardandır (Makris, 1997; Christenson ve diğ., 2008; Erkuş ve Johnson, 2011; Chen ve diğ., 2014; Przybylski ve diğ., 2016). Bu cihazların çalışma prensipleri içlerindeki akışkanlara dayanmaktadır. 1947 yılında, viskozitesi elektrik alan etkisi ile ani olarak değişen akışkanlar üzerinde geniş bir araştırma yapan W. Winslow, bu akışkanlara elektoreolojik akışkanlar (ER) adını vermiştir. 1951 yılında J. Rabinow manyetik alan etkisinde akışkan halden yarı-katı hale geçen akışkanlara magnetoreolojik akışkanlar (MR) adını vermiştir. Bu sıvılar ile doldurulan cihazlar, manyetik veya elektrik alana maruz bırakıldıklarında milisaniyeler içinde karakteristikleri değişerek doğrusal viskoz sıvıdan yarı-katı hale geçerek, yapıyı dış etkilere karşı olumlu hale getirebilirler (Casciati ve diğ., 2006). Kontrol edilebilen sıvı viskoz sönümleyiciler ile rijitlik sağlayan yayların seri bağlanması ile de elde edilebilecek (Vu ve diğ., 2016) Maxwell türü bir sönümleyici davranışı gösteren yarı-aktif hidrolik sönümleyiciler (controllable (semi-active) hydraulic damper (device)) içlerindeki sıvının sıkıştırılması ile sönüm elde edilen cihazlardır (Patten ve diğ., 1998). Bu çalışmada kullanılan yarı-aktif cihaz da, kontrol edilebilen sönüm katsayısına sahip visko-elastik Maxwell türü bir elemandır.

Yarı-aktif hidrolik sönümleyiciler, bir piston yardımı ile akışın bir oluktan diğerine geçmesiyle sönüm elde edilen bu cihazlardır. İki hazneden birbirine olan akış sabitse (yani akışı kontrol eden vana açıklığı sabit ise) pasif viskoz sönümleyici gibi davranan bu cihazlar, akışın anlık olarak kontrol edilen geçiş vanası (servo-valf) yardımıyla değiştirilmesi sonucu yarı-aktif sönümleyici gibi davranır. Valf, söz konusu cihazın sönüm seviyesini geniş bir aralıkta değiştirmeye olanak verir. Valfin konumu, ölçülen yapı tepkisine göre ayarlanabilir; bunun

sonucu olarak, sönümleyicinin kuvvet-hız ilişkisi gerçek zamanda kontrol edilebilir (Casciati ve diğ., 2006). Bu cihazlar, ortalama 50 W güç ile çalışır (Spencer ve Nagarajaiah, 2003).



Şekil 2.1: Yarı-aktif hidrolik sönümleyici şematik gösterimi.

Yarı-aktif hidrolik cihazların, sismik hareketlere maruz kalan köprülere uygulanması ilk kez Feng ve Shinozuka (1990) tarafından önerilmiştir. Ardından birkaç araştırmacı (Kawashima ve Unjoh, 1994; Sack ve Patten, 1993; Patten ve diğ., 1996; Symans ve Constantinou, 1999) bu konuyu analitik ve deneysel olarak çalışmıştır. Sack ve Patten (1993) tarafından standart boşluk akış denklemlerini (standard orifice flow equations) kullanarak tanımladıkları yarı-aktif hidrolik sönümleyiciyi, Patten ve diğ., (1999) trafikten kaynaklanan titreşimleri azaltmak için Oklahoma'da eyaletler arası otobanda bulunan Walnut Creek Köprüsü'nde uygulamıştır (Spencer ve Nagarajaiah, 2003). İki yıl boyunca test edilen köprüde, araçların yarattığı gerilmelerin yarı-aktif sönümleyici sayesinde azaltılması ile köprü ömrünün 50 yıl artırıldığı belirtilmiştir (Patten ve diğ., 1999).

Yarı-aktif kontrol sistemleri üst yapıda kullanılabildiği gibi, sismik izolasyon sistemlerinin ek sönümü olarak da kullanılabilir. Walnut Creek Köprüsü yarı-aktif kontrol sisteminin sismik izolasyon sisteminde kullanıldığı duruma örnek gösterilirken; üst yapıda kullanıldığı duruma örnek olarak yarı-aktif hidrolik sönümleyicinin uygulandığı ilk bina olan Japonya'daki Kajima Shiozuka binası (Kurata ve diğ., 1999) gösterilebilir. Yapılan incelemelerde, bu binanın şiddetli depremlere maruz kaldığında; binaya yerleştirilmiş yarı-aktif hidrolik sönümleyicilerin binanın tepki parametrelerini etkin bir şekilde, küçük miktarda enerji kullanarak kontrol altına aldığı görülmüştür.

2.2. YAPISAL KONTROL İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Bölüm 1 ve 2.1 kapsamında yapısal kontrol ile ilgili literatürde yer alan bazı önemli çalışmalara yer verilmiştir. İlgili bölümlerde bahsedilmeyen çalışmalar ve bahsedilen çalışmaların bazılarının daha geniş özeti ise buradaki literatür taraması kısmında yer almaktadır.

Sadek ve Mohraz (1998) üç farklı kontrol kuralı kullanarak değişken sönümleyici sistemlerin pasif sönümleyici sistemlere göre etkinliğini deprem etkisi altında araştırmıştır. Bu çalışmada, esnek yapıların deplasmanlarını azaltmak için artırılan pasif sönüm değerinin kat ivmelerini artırdığı; ancak pasif sönüm etkisinin aksine değişken sönümleyicinin hem deplasmanları hem de kat ivmelerini önemli şekilde azalttığı belirtilmiştir. Symans ve diğ. (2000), farklı depremlere maruz bıraktıkları kayıcı mesnetler ve ayarlanabilir sönümleyiciden (adaptive fluid damper) oluşturulmuş ölçekli bir bina modeli üzerinde yaptıkları deneysel ve analitik çalışmaların birbiriyle uyumlu olduğunu belirtmiştir. Ayarlanabilir sönümleyiciden elde edilen sönüm kuvveti anlık olarak yarı-aktif kontrol algoritmasına göre değişmektedir. Bu çalışmada, yarı-aktif sönümleyici ve kayıcı mesnetlerden oluşan izolasyon katı ve üst yapı tepki parametrelerinin eş zamanlı olarak değişik depremler altında azaltıldığı gösterilmiştir. Yang ve Agrawal (2002), pasif kontrol sistemlerinin küçük ve orta büyüklükteki depremlerde oldukça etkin olduğunu; fakat bu sistemlerin kullanıldığı binaların yakın-fay depremlerine maruz kalması durumunda güvenilir kalamayacaklarını belirtmiştir. Çalışmada, farklı türdeki yarı-aktif cihazların kullanıldığı modellerin farklı yakın-fay depremleri altındaki etkinliği incelenerek; bu sistemlerin yapı güvenliğini sağlamada oldukça başarılı olduğundan bahsedilmiştir. Madden ve diğ. (2003) çalışmasında, ek sönüm kullanılmayan taban izolasyonlu binaların yakın-fay depremlerine maruz kalması durumunda, beklenildiği gibi özellikle taban deplasmanlarının arttığını belirtmiştir. Kayıcı mesnetler ve ayarlanabilir sönümleyiciler (adaptive fluid damper) ile oluşturdukları yarı-aktif kontrollü analitik modeli yakın-fay ve uzak-fay depremlerine maruz bırakarak; binadaki sönüm miktarının ayarlanabilir sönümleyici ile depremin davranışına uygun şekilde anlık olarak düzenlenmesi sayesinde taban deplasmanları ile eş zamanlı olarak üst yapı tepki parametrelerinin de minimize edildiği gösterilmiştir. Gavin ve diğ. (2003), kütle dış merkezliği bulunan taban izolasyonlu bir binaya pasif viskoz ek sönüm ve yarı-aktif hidrolik sönümleyici eklenmesi ve eklenmemesi durumlarını içeren farklı modelleri, tarihi yakın-fay ve uzak-fay depremlere maruz bırakarak performanslarını incelemiştir. Yarı-aktif hidrolik sönümleyici ilave edilen taban izolasyonlu binanın, özellikle

yakın-fay deprem kayıtlarında sadece taban izolasyonu uygulanmış binaya göre daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Alhan ve diğ. (2006) çalışmasında, sentetik yakın-fay depremlerine maruz kalan taban izolasyonlu binalarda artan taban deplasmanlarını azaltmak için kullanılan pasif sönümün kat ivmelerini artırabileceğini belirtmiştir. Bu etkiyi inceleyebilmek için, farklı kontrol kurallarının uygulandığı yarı-aktif sönümlü izolasyonlu model ile farklı oranlarda sönüm ihtiva eden pasif sönümleyici eklenen taban izolasyonlu modellerin ivme ve taban deplasmanı performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda, artan pasif viskoz sönümün taban deplasmanlarını azalttığı; ancak kat ivmelerini ve görel kat ötelemelerini artırdığı görülmüştür. Bu durumun üstesinden gelebilmek için kullanılması öngörülen yarı-aktif sönümün ise pasif viskoz sönüme göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Gavin ve Alhan (2005) kontrol edilebilir rijitlikli ve kontrol edilebilir sönümlü sistemlerin ivme iletimlerini inceleyebilmek için ölçekli bir model üzerinde analitik ve deneysel çalışmalar yapmıştır. Çalışmada, yarı-aktif kontrollü modelin kontrol edilebilir rijitlik ve sönüm etkilerinin incelenebilmesi için Maxwell visko-elastik modeli kullanılmıştır. Düşük ivme iletimini başarması için cihazın minimum sönüm parametresinin mümkün olan en düşük sönüm değerini alması gerektiği belirtilmiştir. Maxwell elemanının sönüm/rijitlik oranı yüksek iken kontrol edilebilir rijitlik durumunun; sönüm/rijitlik oranı düşük iken kontrol edilebilir sönüm durumunun elde edileceği ifade edilmiştir. Analizler sonucunda, kontrol edilebilir sönümün, kontrol edilebilir rijitliğe göre daha düşük ivme iletimi sağladığı görülmüştür. Ayrıca, kontrol edilebilir sönüm durumu iyi tasarlanmış bir sistemin, lineer taban izolasyonlu bir sisteme göre daha başarılı davrandığı belirtilmiştir. Bidokhti ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, 3 ve 10 katlı çerçevelerin görel kat ötelemesi ve kat ivmesi değerlerini minimize etmek için bulanık mantık algoritmasına dayanan yarı-aktif kontrol kuralı uygulamışlardır. Chevron desteklerinin üstünde kullanılan yarı-aktif hidrolik sönümleyicileri Maxwell modeli ile tanımlamışlardır. Tarihi depremler altında yapılan analizler sonucunda, maksimum yapısal tepki parametrelerinin tüm katlarda azaldığı görülmüştür.

Yarı-aktif sönümleyicilerin bir türü olan magnetoreolojik (MR) ve elektoreolojik (ER) sönümleyiciler, içerisinde elektrik veya manyetik alanla kontrol edilebilen sıvılar bulundurlar. Elektrik ve manyetik alana maruz kaldıklarında milisaniyeler içinde sıvı halden yarı katı bir hale dönüşerek sönümleme yapabilirler. Magnetoreolojik sönümleyiciler için bir model Spencer ve diğ. (1997) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada, optimal kontrol önerisinde bulunarak, bu kontrolün aktif kontrol sistemlerinden daha iyi performans

gösterebileceğini ifade etmişlerdir. Barroso ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada magnetoreolojik sönümleyicilerin farklı yer hareketleri etkisi altında yapıların performansını nasıl etkilediğini incelemiştir. Bahar ve diğ. (2010a) çalışmalarında girdi-çıkı sistemine döngüsel davranışına Bouc-Wen tanımına dayanan magnetoreolojik sönümleyici ters modeli önerisinde bulunarak; yarı-aktif kontrol sisteminde kullanılmasını önermişlerdir (Bahar ve diğ., 2010b).

Yarı-aktif kontrol sistemleri ile ilgili bazı çalışmalar kontrol algoritmalarının kıyaslanması ile ilgilidir. Yapıların yarı-aktif kontrolünde ters Lyapunov yöntemi Hiramoto ve diğ. (2010) tarafından kullanılmıştır. Geleneksel Lyapunov yarı-aktif kontrolünde, öncelikle kinetik ve potansiyel enerjinin her andaki toplamı şeklinde tanımlanan Lyapunov fonksiyonu tanımlanır. Bang-bang kontrolü tanımlanan bu toplam enerjinin türevinin minimize edilmesi ile elde edilir. Hiramoto ve diğ. (2010)'nin bang-bang yarı-aktif kontrolü uyguladıkları çalışmaları belirsiz Lyapunov fonksiyonuna dayanmaktadır. Daha sonra, titreşim kontrolü ile ilgili performans ölçütünün ölçülmesi için Lyapunov fonksiyonu tanımlanan parametreler uzayında aranmıştır. Lee ve diğ. (2010) çalışmalarında, clipped-optimal (CO), Lyapunov stabilite teoremi (LYAP: Lyapunov Stability Theory), maksimum enerji sönümleme algoritması (MEDA: maximum energy dissipation algorithm) ve maliyet fonksiyonu tabanlı yarı-aktif neuro kontrol (SNC: Semi-active neuro-control) algoritmalarını dikkate almıştır. CO kontrol stratejisinde MR sönümleyicilerin kontrolü ivme geri bildirimine dayanır. Bu çalışmada, Clipped algoritmasına neuro kontrolcülerin eklenmesi ile oluşturulan SNC algoritması önerilmiştir.

Yukarıda pasif, yarı-aktif ve aktif kontrol ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir. Bu alanda olasılıksal çalışmalar da mevcuttur. Kontrol sistemlerinin mekanik parametrelerinde, üretim sırasındaki hatalardan, kullanım esnasındaki ısı etkisinden, kullanım sırasındaki yüklemelerden kaynaklanan sapmalar olabilir. Bu parametreler yapının davranışını etkilediğinden; bu parametrelerde oluşabilecek sapmalar da önem arz etmektedir. Yapılan literatür taramasında, söz konusu sapmaların pasif kontrollü sistemlerde dikkate alındığı; olasılıksal çalışmaların yapıldığı görülmüştür. De La Llera ve Inaudi (1994) Monte-Carlo Simülasyonu kullanarak yaptıkları olasılıksal çalışma sonucunda, pasif kontrollü sistemlerin taban tasarım deplasmanlarında, izolatörlerin rijitlik belirsizliklerinden kaynaklanan artış olduğunu belirtmiştir. Politopoulos ve Pham (2009) yaptıkları çalışmada, izolatör parametrelerindeki küçük sapmaların ve üst yapı parametrelerinde oluşabilecek sapmaların pasif kontrollü yapıların performanslarını nasıl etkilediğini Monte-Carlo simülasyonu ile incelemişlerdir.

Çalışmalarının sonucunda, üst yapı parametrelerindeki sapmaların pasif kontrol sisteminin performansını neredeyse etkilemediği; ancak izolatör parametrelerinin izolasyon performansını etkilediği belirtilmiştir. Gazi (2015), pasif sismik izolatörlerin mekanik özelliklerinde olan belirsizliklerin, sismik izolasyonlu binaların sismik cevap parametreleri üzerindeki etkisini Monte-Carlo simülasyonu kullanarak değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında, üç boyutlu sismik izolasyonlu yapıların zaman-tanım alanı analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan 3DBASIS programı tekrarlı analizler yapabilir hale getirilerek yakın ve uzak fay tarihi ve sentetik deprem kayıtları altında Monte-Carlo analizleri gerçekleştirilmiştir. Saha ve diğ. (2016) kurşun çekirdekli izolatörlerin mekanik parametrelerindeki belirsizliklerin, sıvı depolama tankının tepki parametreleri üzerindeki etkisini kırılmalık eğrileri kullanılarak değerlendirmiştir. Castaldo ve diğ. (2017) ise, sürtünmeli sarkaç izolatörleri ile izole edilen elastik bir yapısal sistemin sismik güvenilirlik analizlerini sismik girdi ve sürtünme katsayısı ile ilgili belirsizlikleri dikkate alarak gerçekleştirmiştir. Diğer bir çalışmada (Tajammolian ve diğ., 2018) ise, yakın-fay depremlerindeki belirsizlikleri dikkate alarak, üçlü iç bükey sürtünme sarkaçlarıyla donatılmış asimetrik bir çelik yapının sismik performansı incelenmiştir. Sonuçlar, kat ivmeleri ve katlar arası göreceli ötelenme açısından kırılmalık eğrileri şeklinde ortaya konulmuştur.

Aktif kontrol sistemleri ile ilgili olasılıksal çalışmalar ise kontrol algoritmalarındaki değişiklikler ile gerçekleştirilmiştir. Min ve diğ. (2003) yaptıkları çalışmada, aktif kontrol sistemleri için yeni bir kontrol algoritması önermişlerdir. Söz konusu algoritmanın yapısal tepki parametrelerinde düşürmede daha iyi performans sağladığı belirtilmiştir. Hwang ve diğ. (2005) ise önerilen bu analitik modeli, aktif kütle sürücüsü ile kontrol edilen üç katlı test binasını bir sinüzoidal yükleme, ölçekli tarihi bir deprem kaydı ve geniş bantlı Gaussian beyaz gürültü yüklemelerini etkilerken doğrulamışlardır. Ayrıca, test binasını modelleme esnasında yaşanacak belirsizliklerin de etkisini dikkate almak için rijitlik matrisi +%15, %0 ve -%15 belirsizlik için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Belirsizliklerin analiz sonuçlarını belirgin şekilde etkilemediği görülmüştür. Li ve diğ. (2011) çalışmasında, olasılıksal yoğunluk değerlendirme teorisine göre olasılıksal optimal kontrol yöntemi için olasılıksal kriter ailesini geliştirmiştir. Bu çalışmada, nümerik bir örnek olarak, aktif tendonlarla kontrol edilen sekiz katlı kayma çerçevesi kullanılmıştır. Yer hareketine maruz bırakılan bu kontrollü bina modeli ve kontrolsüz bina modeline ait ilk ve en üst kat ivme grafikleri zamana bağlı olarak çizdirilmiştir. Kontrollü modelde ilk katın ivme değerleri kontrolsüz modele göre neredeyse değişmezken; en üst katta

ciddi bir azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca, ilk ve üst kata ait görelî kat deplasmanlarının kontrollü modelde etkin bir şekilde azaldığı görülmüştür. Li ve diğ. (2012) fiziksel olasılıksal optimal kontrol yöntemi ile parametreleri tasarlanan iki adet magnetoreolojik sönümleyici aracılığıyla kontrol ettikleri altı katlı tek açıklıklı taban ankastre kayma çerçevesine, üretilen rastgele deprem kayıtlarını etkilerak deneysel çalışma yapmışlardır. Magnetoreolojik sönümleyici ile kontrol ettikleri binada görelî kat ötelemelerinde özellikle ilk katlarda belirgin bir azalma gözlemlenirken; kat ivmelerinde elde edilen azalmaların da o kadar çarpıcı olmadığı belirtilmiştir.

Gerçekleştirilen literatür taramasında, yarı-aktif kontrol sistemlerine haiz sismik izolasyonlu yapılarda çok az sayıda olasılıksal çalışmaya rastlanmıştır. Chase ve diğ. (2004) yarı-aktif kontrol alanında yapısal davranış parametrelerini istatistiksel dağılıma göre sunmuş ve sonuçların çeşitli sismik risk analizi metodlarına uygulanabileceği belirtmiştir. Bu çalışmada, toplam yapısal ivme enerjisini minimize eden kuadratik ivme düzenleyicisi geliştirilmiştir. Toplam yapısal ivme düzenlemesinin, yapısal davranış enerjisini düzenlemek anlamına geldiği ve yüksek sismik etkilere maruz kalan yapıların performanslarının bu düzenleme ile iyileştirilebileceği belirtilmiştir. Geliştirilen bu yöntem, lineer olmayan yarı-aktif kontrollü bir yapıda test edilmiştir. Bu yöntem ile pik kat ivmeleri azaltılarak toplam ivme azaltılırken; aynı zamanda yapısal hasara neden olan deplasmanlar da azaltılmıştır. Yarı-aktif kontrolün pasif ve aktif kontrol stratejilerine göre etkinliğini karşılaştırmak için ise Aly ve Christenson (2008) tarafından eşdeğer enerjiye dayanan olasılıksal bir yaklaşım önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen yöntem “clipped optimal state feedback” kontrol teorisi ile doğrudan uygulanabilir. Bu yaklaşım oldukça hızlı bir şekilde sonuç verdiğiinden; yarı-aktif kontrol performansı hızla değerlendirebilir. YeganehFallah ve Taghikhany (2014), sayısal simülasyonlar yoluyla gürbüz (robust) yarı-aktif kontrolün performansını değerlendirmiştir. Yapısal modeldeki ve sönümleyici kuvvetindeki belirsizlikler göz önünde bulundurularak, simülasyonlarda tek bir magnetoreolojik sönümleyici ile donatılmış üç katlı protorip yapı kullanılmıştır. Diğer bir çalışmada (YeganehFallah ve Taghikhan, 2017) ise, tarihi depremler altında magnetoreolojik amortisörler ile donatılmış kablolu bir köprünün yapısal tepkileri üzerindeki belirsizliklerin etkilerini azaltmak için gürbüz (robust) bir kontrolör önerilmiştir.

2.3. YAKIN-FAY DEPREMLERİ VE SENTETİK OLARAK MODELLENMESİ

Yakın-fay depremleri, genellikle faya olan en yakın mesafenin 10 km'den küçük olduğu mesafelerde elde edilen yer hareketi kayıtlarında yaygın olarak görülen uzun periyotlu ve büyük genlikli hız pulsarı ile karakterize edilir. Yakın-fay yer hareketleri yönelim (directivity) veya sıçrama adımı (fling step) gibi yakın-fay etkileri içerirler. Yönelim, yer hareketinin uzun periyotlu enerji içeriğini ve yer hareketinin süresini fay kırığının normal bileşeni içinde etkiler. Fay kırığının bir bölgeye doğru kırıldığı anda, faya normal doğrultuda kısa frekanslı ve yüksek genlikli hareket pulsu üretir. Bu hareket ileri-yönelim (forward-directivity) etkisi olarak tanımlanır. Dikkate alınan bölgenin fay kırığından uzakta olması halinde, uzun frekanslı ve göreceli olarak düşük genlikli yer hareketleri meydana gelir. Bu yer hareketlerine geri-yönelim (backward-directivity) etkisi neden olmaktadır. Dikkate alınan bölgenin fay kırığına dik olması durumunda ise nötr-yönelim (neutral-directivity) etkisi ortaya çıkarak uzun frekanslı ve düşük genlikli hareket üretir. Fay kırığı boyunca meydana gelen ve kalıcı yer hareketlerine sebep olan yakın-fay yer hareketlerinin sonucu ortaya çıkan sıçrama etkisi ise, büyük genlikli ve tek yönlü hız pulsu meydana getirir (Stewart ve diğ., 2001).

Yirmi yılı aşkın süredir, birçok araştırmacının (Heaton ve diğ., 1995; Makris 1997; Hall ve Ryan, 2000; Jangid ve Kelly, 2001; Lu ve diğ., 2003, Alhan ve Gavin, 2005; Dicleli ve Buddaram, 2007; Mazza ve Vulcano, 2009; Matsagar ve Jangid, 2010; Öncü, 2011; Taflanidis ve Jia, 2011; Mazza ve diğ., 2012; Öncü-Davas ve Alhan, 2012; Lu ve diğ., 2013; Öncü-Davas ve Alhan, 2013; Öncü-Davas ve Alhan 2016) odak noktası, yakın-fay depremlerine maruz kalan sismik izolasyonlu yapıların davranışlarını anlamaya yönelik olmuştur. Yakın-fay depremlerinin tipik özelliklerini taşıyan (uzun ve yüksek genlikli hız pulsarı olan) tarihi deprem kayıtları bulunsa da, bu konudaki parametrik çalışmaları yapmak için sayıca yetersiz kalabilmektedirler. Dahası, tarihi deprem kayıtları deprem büyüklüğü ve faya olan en yakın mesafe çeşitliliği bakımından da sayıca yeterli olmadığından, sismik izolasyonlu yapıların davranışlarını anlamaya yönelik gerçekleştirilecek olan nümerik çalışmaların sistematik olarak incelenmesi konusunda yetersizliğe sebep olmaktadır. Bu nedenle, sistematik olarak gerçekleştirilecek araştırmaların ihtiyaçlarına yanıt vermek için, araştırmacılar (Makris ve Chang, 2000; Menun ve Fu, 2002; Agrawal ve He, 2002; He, 2003; He ve Agrawal, 2008) çeşitli analitik puls modelleri önerilmiştir. Söz konusu modeller aracılığıyla, belirli bir deprem büyüklüğüne ve faya olan mesafeye sahip puls benzeri depremlerin üretilmesi sağlanmıştır.

Yakın-fay deprem hareketlerinin simülasyonu için önerilen puls modelleri hakkındaki detaylı bilgi Öncü (2011) tarafından yapılan çalışmada verilmiştir.

Litatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılan söz konusu deprem modellerinden biri olan ve Makris (1997) ve Makris ve Chang (1998) tarafından geliştirilen döngüsel puls modelleri, tarihi deprem kayıtlarını oldukça başarılı şekilde temsil etmektedir. Makris (1997) tarafından sunulan çalışmada, ileri-yönlü (forward) ve ileri-geri yönlü (forward-and-backward) puls hareketleri, sırasıyla yarım çevrim ve bir tam çevrim puls ile karakterize edilmiştir. Ancak, yakın-fay depremleri her zaman yarım çevrim (ileri-yönlü) veya bir tam çevrim (ileri-geri yönlü) puls üretecek şekilde gerçekleşmeyebilir. Bu sebeple Makris ve Chang (1998) n adet puls sayısını temsil eden puls-benzeri sentetik deprem modeli önermiştir. Daha sonra yapılan bir başka çalışmada (Agrawal ve He, 2002), yakın-fay deprem hareketlerinin sönümlenen sinüzoidler içerdiğini belirterek; He ve Agrawal (2008) puls modelinin özel hali olan ve ileri yönelim etkilerini içeren kapalı-form denklemleri önermiştir. Söz konusu modele göre, puls-benzeri sentetik depremin hız kaydında sönümlenen bir sinüs fonksiyonu kullanılmıştır. Agrawal ve He (2002) ürettikleri puls modelinin tarihi deprem kayıtlarını oldukça başarılı şekilde temsil ettiğini belirtmiştir. Makris (1997) ve Agrawal ve He (2002) puls modellerinin sismik izolasyonlu binaların yapısal tepki parametrelerini yansıtmadaki başarısı, tarihi deprem kayıtları ve onların bahsi geçen puls modellerine göre üretilmiş sentetik eşlenikleri altında kıyaslamalı olarak Öncü-Davas ve diğ. (2015), Gazi ve diğ. (2015) tarafından incelenmiştir.

Bu modeller (Makris, 1997; Makris ve Chang, 1998; Agrawal ve He, 2002) basitlik ve yüksek temsiliyet kabiliyeti gibi oldukça etkileyici iki özelliğe sahip olduğundan, literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, yazarın yüksek lisans tez çalışmasında da (Öncü, 2011) kullanmış olduğu tek bir parametreye (puls sönüm oranı) bağlı olarak farklı sayıda puls (ileri, ileri-geri veya çoklu) üretebilme kapasitesine sahip olan Agrawal ve He (2002) puls modeli kullanılmıştır. Agrawal ve He (2002) puls modelini çalışmalarına adapte eden Dicleli ve Buddaram (2007), yakın-fay depremleri etkisi altındaki sismik izolasyonlu köprülerin tasarımı için eşdeğer lineer analiz prosedürünü, bu puls modeli ile Somerville (1998) tarafından önerilen ve maksimum puls hızı, v_p ve puls periyodu, T_p ile depremin büyüklüğü, M_w ve yapının faya olan en yakın mesafesi, r arasındaki ilişkiyi ortaya koyan fonksiyonlar ile kombine şekilde kullanmak suretiyle değerlendirmiştir (Dicleli ve Buddaram (2007) yaklaşımı). Öncü (2011), Öncü-Davas ve Alhan (2012) ve Alhan ve Öncü-Davas (2016) ve Kurtuluş (2012), Dicleli ve

Buddaram'ın (2007) bu yaklaşımıyla-farklı deprem büyüklüğü ve farklı fay mesafeleri için ürettikleri farklı deprem büyüklüğüne haiz (veya farklı maksimum puls hızı ve puls periyoduna haiz) çok sayıda sentetik depremi, farklı parametrelere sahip sismik izolasyonlu bina modellerine uygulayarak sismik izolasyonlu binaların yakın-fay depremleri altındaki performanslarını incelemişlerdir. Buna ek olarak, Öncü-Davas ve Alhan (2013) tarafından farklı puls sönüm oranları için yine Dicleli ve Buddaram'ın (2007) yukarıda bahsedilen yaklaşımıyla üretilen sentetik depremlerin farklı karakteristiğe sahip sismik izolasyonlu binalara etkiltilmesi ile kapsamlı bir değerlendirme gerçekleştirilmiş ve bu parametrenin önemi ortaya konmuştur. Yakın-fay depremlerindeki ve izolasyon sistemi parametrelerindeki belirsizliklerin sismik izolasyonlu binaların dinamik davranışları üzerindeki etkisini Monte-Carlo yöntemiyle inceleyen Gazi (2015) de yukarıda bahsedilen çalışmalarda olduğu gibi farklı deprem büyüklüklerine haiz ve farklı fay mesafelerindeki sentetik yakın-fay deprem hareketlerini üretebilmek için Dicleli ve Buddaram (2007) yaklaşımıyla Agrawal ve He (2002) puls modelini Sommerville (1998) fonksiyonlarıyla birlikte kullanmıştır.

He ve Agrawal (2008) modeline ait hız pulsı Denklem (2.1)'de verilmiştir. Hız denkleminin türevinin alınması ile elde edilen ivme denklemi ise Denklem (2.2)'de sunulmuştur.

$$v(t) = Ct^n e^{-\beta t} \sin(\omega_p t + \varphi) \quad t \geq t_0 \quad (2.1)$$

$$a(t) = Ct^n e^{-\beta t} \left[(n/t - \eta) \sin(\omega_p t + \varphi) + \omega_p \cos(\omega_p t + \varphi) \right] \quad t \geq t_0 \quad (2.2)$$

Burada, genlik ölçek faktörü, C , sinüzoidal bileşenin faz açısı, φ , sönüm faktörü, η , puls zarf eğrisinin keskinliğini kontrol eden parametre, n , pulsun başlangıç zamanı, t_0 , puls frekansı, $\omega_p = 2\pi/T_p$ ve puls periyodu, T_p değişkenleri ile ifade edilmiştir. Bahsi geçen parametreler belirlendikten sonra gerçek bir deprem He ve Agrawal (2008) puls modeli ile karakterize edilebilir. Bu durum, ilgili gerçek deprem parametrelerinin ifade edildiği vektör, $\Theta = [C, \eta, T_p, n, t_0]$, doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi ile elde edilir. Bu yöntem, gerçek deprem kaydının hız kaydı ile simüle edilmiş depremin hız kaydı arasındaki farkların karelerinin toplamının en aza indirilmesine dayanır. Bu modelin, yakın-fay deprem pulslarının kinematik özelliklerini diğer puls modellerinden daha iyi yakaladığı gösterilmiştir. He ve Agrawal (2008) puls modelinin puls eğrisinin keskinliğini kontrol eden şekil parametresinin ihmal edilmesi ile

($n=0$) oluşturulan Agrawal ve He (2002) puls modeli, özellikle parametrik çalışmalar için uygundur.

Agrawal ve He (2002) puls modeline ait zamana bağlı hız ($\dot{u}(t)$) ve ivme ($\ddot{u}(t)$) fonksiyonları Denklem (2.3) ve (2.4)'de sunulmuştur.

$$\dot{u}(t) = s e^{-\zeta_p \omega_p t} \sin \omega_p \sqrt{(1-\zeta_p^2)} t \quad (2.3)$$

$$\ddot{u}(t) = s e^{-\zeta_p \omega_p t} [-\zeta_p \omega_p \sin \omega_p \sqrt{(1-\zeta_p^2)} t + \omega_p \sqrt{(1-\zeta_p^2)} \cos \omega_p \sqrt{(1-\zeta_p^2)} t] \quad (2.4)$$

Burada, ζ_p sönüm faktörü, s hız pulsunun başlangıç genliği, ω_p $s\omega_p$ sinüzoidin frekansı ve t süre (sn)'dir. Bu model, Dicleli ve Buddaram (2007) tarafından adapte edilerek kullanılmıştır. Yakın-fay depremini simüle etmek için kullandıkları bu modelde; maksimum yer hareketi hızı, v_p , puls periyodu, T_p ve sönüm faktörü, ζ_p olmak üzere, ω_p sinüzoidin frekansı, pik yer hızının oluştuğu zaman t_p ve s hız pulsunun başlangıç genliği ile ilgili denklemleri aşağıdaki aşamalara göre hesaplamışlardır:

Bunun için öncelikle sinüzoidin frekansı, ω_p :

$$\omega_p = 2\pi / (T_p \sqrt{(1-\zeta_p^2)}) \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Daha sonra, Denklem (2.4)'ün sıfıra eşitlenmesi ile elde edilen t değeri elde edilir. Pik yer hızının oluştuğu zamanı, t_p , ise Denklem (2.6)'da verilmektedir.

$$t_p = \tan^{-1} (1/(\zeta_p^2 - 1) / (\omega_p \sqrt{(1-\zeta_p^2)})) \quad (2.6)$$

Elde edilen pik yer hızının t_p değeri, Denklem (2.3)'de yerine yerleştirildiğinde, denklemin değeri maksimum yer hareketi hızı v_p 'ye eşit olur. Bu eşitlikten elde edilen hız pulsunun başlangıç genliği, s Denklem (2.7)'de sunulmuştur.

$$s = \frac{v_p}{\left(e^{-\zeta_p \omega_p t_p} \sin \omega_p \sqrt{(1-\zeta_p^2)} t_p \right)} \quad (2.7)$$

Görüldüğü gibi söz konusu hız ve ivme pulslarının üretilebilmesi için maksimum puls hızı, v_p , ve puls periyodu, T_p , değerlerini belirlemek gerekir. Somerville (1998) tarafından önerilen

fonksiyonlar ile maksimum yer hareketi hızının, v_p , depremin büyüklüğü, M_w ve yapının faya olan en yakın mesafesi, r , arasındaki ilişki Denklem (2.8)'de ve puls periyodunun, T_p , depremin büyüklüğü, M_w , arasındaki ilişki Denklem (2.9)'da sunulmuştur. Agrawal ve He (2002) puls modelinde kullanılacak maksimum puls hızı ve puls periyodu değerleri söz konusu denklemler aracılığıyla elde edilebilir (Dicleli ve Buddaram, 2007).

$$\ln(v_p) = -2.31 + 1.15M_w - 0.5\ln(r) \quad (2.8)$$

$$\log_{10}(T_p) = -2.5 + 0.425M_w \quad (2.9)$$

3. MALZEME VE YÖNTEM

Sismik izolasyon sistemlerinin güvenilirliği ile ilgili öncül çalışmalardan biri Alhan ve Gavin (2005) tarafından gerçekleştirilmiş olup bu çalışmada titreşime duyarlı cihazları korumak için kullanılan doğrusal pasif kat izolasyon sistemleri ele alınmıştır. Monte-Carlo analizi yöntemiyle gerçekleştirilen bu çalışmada farklı fay mesafelerinde sentetik deprem kayıtları üretilmiş olup diğer parametrelerin yanı sıra bu kayıtların ana parametrelerinden olan puls periyodu, puls hızı ve yer hareketi sönümünün nominal değerleri fay mesafesine bağlı olarak belirli bir bölgesel azalım ilişkisine uyacak şekilde belirlenmiş ve bu parametreler Monte Carlo analizlerinde rastgele değişkenler olarak ele alınmıştır. Ayrıca, kullanılan sentetik deprem modelinde ana puls hareketinin yanı sıra yüksek frekanslı yer hareketi bileşenleri de vardır. *Doğrusal* olarak modellenen pasif kat izolasyon sistemine ait rijtlik ve sönüm katsayıları da rastgele değişkenler olarak modellenmiştir. Güvenilirlik incelemesi ise sadece bu katın pik ivmelerine bağlı olarak ortaya konmuştur. Bu alanda daha sonra gerçekleştirilen diğer bir önemli çalışmada (Gazi 2015) ise kat izolasyon sistemi yerine örnek üç katlı çelik çaprazlı betorname bir çerçevenin tümünün izole edildiği bir taban izolasyon sistemini olasılıksal olarak yine Monte-Carlo analizi yöntemiyle incelenmiş ve bu sistemdeki izolatörler Alhan ve Gavin'in (2005) çalışmasından farklı olarak *doğrusal olmayan* elemanlar olarak modellenmiş olup bu tür izolatörlerin ana parametreleri olan akma deplasmanı, akma öncesi rijitliği ve akma sonrası rijitliği rastgele değişkenler olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada, farklı deprem büyüklüklerine haiz ve farklı fay mesafelerindeki sentetik yakın-fay deprem hareketleri Bölüm 2.3'te detaylı olarak anlatılan Dicleli ve Buddaram (2007) yaklaşımıyla üretilmiş olup puls periyodu, puls genliği ve puls sönüm oranı ana parametreler olduğundan söz konusu olasılıksal çalışmada rastgele parametreler olarak üretilmiştir. Güvenilirlik değerlendirmeleri ise Alhan ve Gavin (2005)'de dikkate alınan kat ivmelerine ek olarak taban deplasmanları da dikkate alınmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. İşbu tez çalışmasında ise, pasif izolatörlerle paralel olarak çalışan yarı-aktif cihazlardan oluşan *yarı-aktif* bir izolasyon sistemi vasıtasıyla tamamı izole edilen farklı yükseklikteki (üst yapı esnekliğini de dikkate almak amacıyla) prototip binaların güvenilirlik incelemeleri yine Monte-Carlo analizi yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. İzolasyon sisteminin elemanları olan doğrusal olmayan izolatörlerin ana parametreleri olan akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı, akma kuvveti ve akma deplasmanının yanı sıra yarı-aktif cihazların ana parametreleri olan cihazın rijitliği, maksimum sönüm miktarı ve minimum sönüm miktarı da rastgele değişkenler olarak modellenmiştir. Sentetik depremler, daha önce

yazarın yüksek lisans tez çalışmasında da (Öncü, 2011) kullanmış olduğu Dicleli ve Buddaram (2007) yaklaşımı ile üretilmiş olup (Bkz Bölüm 2.3) Monte Carlo analizlerinde kullanılabilecek ana sentetik deprem kaydı parametreleri puls periyodu, puls genliği ve puls sönüm oranıdır. Bu parametrelerin sismik izolasyonlu binalar üzerindeki etkinliği, sismik izolasyonlu binaların bu parametrelere olan duyarlılığı yapılan önceki çalışmalarda ortaya konduğundan (Öncü-Davas ve Alhan, 2012; Öncü-Davas ve Alhan, 2013), söz konusu parametrelerin tamamının rastgele değişken olarak dikkate alınması gerektiğine karar verilmiştir. Güvenilirlik incelemeleri ise Alhan ve Gavin (2005)'de dikkate alınan kat ivmelerine ek olarak taban deplasmanlarının yanı sıra üst yapı göreceli kat ötelemesi oranlarının da dikkate alınması suretiyle gerçekleştirilmiştir.

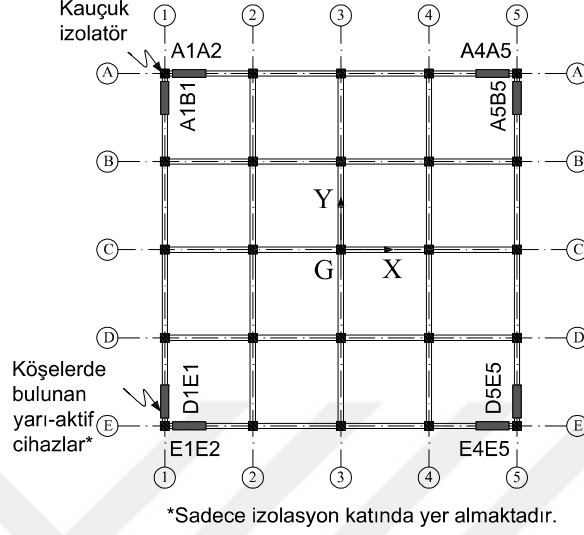
Bu bölümde, ilk olarak, çalışmada kullanılan yarı-aktif izolasyonlu prototip modeller ve modellere ait rastgele değişkenler anlatılmıştır. Daha sonra Monte-Carlo simülasyon yöntemine ve olasılıksal çalışma terimlerine kısaca yer verilmiştir. Ardından, yarı-aktif izolasyonlu binaların doğrusal olmayan zaman-tanım alanı analizlerini yapabilen ve bu çalışma kapsamında modifiye edilen 3DBASIS-SA (Gavin ve diğ., 2003) programının detaylarına yer verilmiştir. 3DBASIS-SA programının doğrulanması, 3DBASIS-SA programından farklı bir nümerik yöntemle dayalı olarak çözüm yapan ve MATLAB ortamında yazılan bir program ile yapılmıştır. Analiz sayıları gerekli simülasyon zamanı açısından önem arz ettiğinden, bu çalışma için yeterli kesinlikte sonuç verebilecek simülasyon sayısı Alhan ve Gavin (2005)'tekine benzer bir yaklaşımla belirlenmiştir. Son olarak, çalışmada kullanılan puls içeren tarihi yakın-fay depremleri ve sentetik yakın-fay depremleri ile ilgili bilgiler verilmiş ve sentetik deprem modeli için seçilen rastgele değişkenlere ait olasılık dağılımlarına yer verilmiştir.

3.1. YARI-AKTİF İZOLASYONLU BİNA MODELLERİ

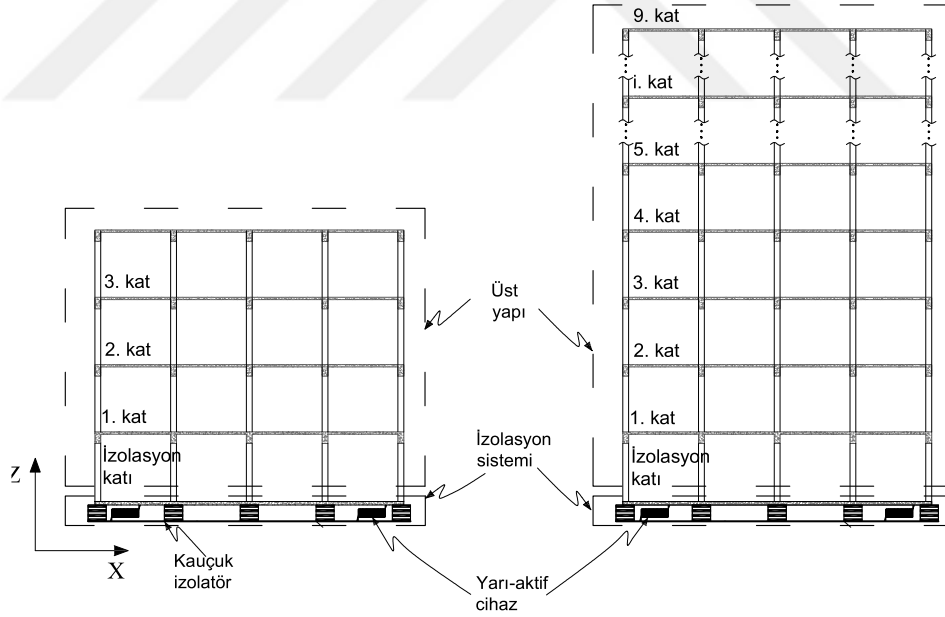
3.1.1. Üst Yapı Modeli

Bu çalışmada, Alhan ve Sürmeli (2011)'nin çalışmalarında da kullandıkları, plan ve kesit görünümü Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görülen 3 katlı ve 9 katlı üst yapılar yarı-aktif izolasyonlu binalar olarak modellenmiştir. Her model iki ana bölümden oluşmaktadır: (1) 3-boyutlu kayma çerçevesi ve (2) kauçuk izolatörler ile yarı-aktif kontrol cihazlarından oluşan yarı aktif taban izolasyon sistemi. Üst yapı planı simetrik olup; kat kütleleri eşit ve katların ağırlık merkezinde toplanmış olduğu kabul edilmiştir. Kat rijitlikleri eşit olarak ve sırasıyla 3 katlı ve 9 katlı modellerin taban ankastre birinci mod periyotları 0.34s ve 0.91s'ye denk gelecek şekilde

seçilmiştir. Üst yapı modal sönüm oranı, her modeldeki tüm modlar için %5 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.1: Prototip 3 katlı ve 9 katlı binaya ait plan görünümü.



Şekil 3.2: Prototip 3 katlı ve 9 katlı binaya ait kesit görünümü.

3.1.2. Yarı-aktif İzolasyon Sistemi

İzolasyon sistemi, her kolonun altında bulunan toplam 25 kauçuk izolatörden ve izolasyon sisteminin her köşesine birbirine dik olarak yerleştirilen 8 yarı-aktif kontrol cihazından (A1A2,

A4A5, E1E2, E4E5, A1B1, A5B5, D1E1, D5E5) oluşmaktadır (Şekil 3.1). Kauçuk izolatörlerin davranışları ikili lineer histeretik olarak modellenmiştir (Nagarajaiah ve diğ., 1991). Prototip binaların nominal izolasyon periyotları (rijit-cisim periyotları), binaların toplam ağırlıklarına (W) ve izolasyon sisteminin toplam akma sonrası rijitliklerine (K_{2t}) bağlı olarak Denklem (3.1) aracılığıyla elde edilir (Nagarajaiah ve diğ., 1991).

$$T_0 = 2\pi \sqrt{W / (gK_{2t})} \quad (3.1)$$

Burada, g , yer çekimi ivmesidir ve 3 ve 9 katlı prototip binaların toplam ağırlıkları (W) sırasıyla 12557 kN ve 31392 kN'dir. Böylece, nominal toplam akma sonrası rijitlik değeri (K_{2t}), her iki modele ait izolasyon sistemi için varsayılan nominal izolasyon periyodu 4 s için elde edilebilir. Ardından, nominal toplam akma öncesi rijitlik (K_{1t}) Denklem (3.2) ile (Naeim ve Kelly, 1999) elde edilir. Burada, Q_t nominal toplam karakteristik kuvvet ve D_y bu çalışmada 20 mm olarak kabul edilen akma deplasmanıdır.

$$K_{1t} = Q_t / D_y + K_{2t} \quad (3.2)$$

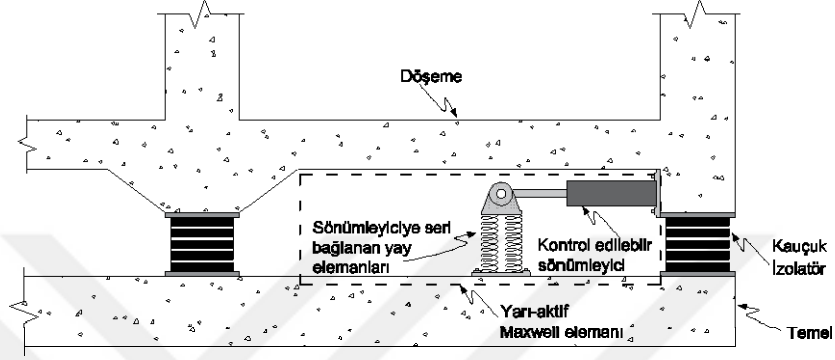
Nominal toplam karakteristik kuvveti (Q_t) belirlemek için nominal toplam karakteristik kuvvet oranı (Q/W), sismik izolasyon sistemlerinin yüksek sismisiteye sahip bölgeler için tipik tasarım değerini temsil eden %10 olarak alınabilir. Nominal toplam akma sonrası rijitlik ve nominal toplam akma öncesi rijitlik hesaplandıktan sonra, nominal toplam akma kuvveti (F_{yt}) ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı (α), sırasıyla Denklem (3.3) ve Denklem (3.4) ile elde edilebilir.

$$F_{yt} = K_{1t} D_y \quad (3.3)$$

$$\alpha = K_{2t} / K_{1t} \quad (3.4)$$

Ardından toplam akma öncesi rijitlik (K_{1t}), toplam akma sonrası rijitlik (K_{2t}) ve toplam akma kuvveti (F_{yt}), toplam izolatör sayısı olan 25'e bölünerek, her bir kauçuk izolatör için nominal akma öncesi rijitlik (K_1), nominal akma sonrası rijitlik (K_2) ve nominal akma kuvveti (F_y) elde edilir. Akma öncesi rijitliğin akma sonrası rijitliğe oranının (α) ve akma deplasmanının (D_y) nominal değeri hem izolasyon sistemleri hem de her bir izolatör için aynı olacaktır. İzolasyon sisteminin diğer ana elemanı kontrol edilebilir Maxwell elemanı olan yarı aktif kontrol cihazıdır. Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, yarı-aktif Maxwell elemanı, kontrol edilebilir bir

sönümleyici elemana seri bağlanmış yay elemanı olarak veya modelleme ayrıntıları Gavin ve diğ. (2003) tarafından yapılan çalışmada kapsamlı olarak verilmiş olan yarı-aktif hidrolik bir sönümleyici olarak düşünülebilir. Maxwell modeli, daha önce literatürde farklı çalışmalarda (Zhang ve Xu, 2000; Gavin ve Alhan, 2005; Nakajima ve diğ., 2012; Bidokhti ve diğ., 2012) da kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Maxwell elemanı (Vu ve diğ., 2016'dan esinlenilmiştir).

Bu çalışmada, yarı-aktif kontrol cihazı bang-bang pseudo-skyhook kontrol kuralı kullanılarak modellenmiştir (Crosby ve diğ., 1974).

$$u = H(f_d \cdot V_a) \quad (3.5)$$

Burada, u , kontrol sinyali, $H(.)$ Heaviside basamak fonksiyonu, f_d kontrol kuvveti ve V_a cihazın mutlak hızıdır. Kontrol kuralı, amortisörü açıp kapatarak en uygun sönümlemeyi sağlar. Kontrol kuralı, $f_d \cdot V_a \leq 0$ olduğu durumda yarı aktif cihazın sönümlemesini ($u=0$) en aza indirmeye karar verir. Aksi takdirde, kontrol sinyali (u) 1'e ayarlanır ve sönümleme maksimize edilir. Denklem (3.6)'da görüldüğü gibi, kontrol edilebilir cihazın sönümlemesi ($c_d(u)$), kontrol sinyaline (u) bağlı olup; kontrol sinyali değerine göre değişmektedir.

$$c_d(u) = c_{\min}(1-u) + c_{\max}u \quad (3.6)$$

Burada, $c_{\max}$ maksimum sönüm değeri, $c_{\min}$ minimum sönüm değeridir. Maxwell elemanına ait kontrol kuvveti (f_d) ise, k_d cihazın rijitliği ve $\dot{z}_d$ cihazın göreceli hızı olmak üzere Denklem (3.7) ile hesaplanır.

$$\dot{f}_d = -\frac{k_d}{c_d(u)} f_d + k_d \dot{z}_d \quad (3.7)$$

3.1.3. Yarı-aktif İzolasyon Sistemine ait Rastgele Değişkenler ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (PDF)

Sismik izolasyonlu binalarda kullanılacak izolasyon elemanlarının malzeme özellikleri, eleman boyutları, üretim metodu, üretim sonrasındaki kalite kontrolündeki belirsizlikler ve montajı sırasındaki hatalar sebebiyle mekanik özelliklerinin tasarımda kullanılacak nominal değerlerin gerçek değerlerden farklı olup olmadığının prototip testleriyle doğrulanması gerekmektedir. Bunlara ek olarak, izolasyon sistemi elemanlarının karakteristik özelliklerinin yükleme geçmişi, aşınma ve sıcaklık değişimi gibi sebeplerle de değişebileceği bilinmektedir. Benzer şekilde yarı-aktif Maxwell hidrolik sönümleyici elemanının tasarıma esas alınan mekanik özellikleri de gerçek değerlerinden sapabilir.

Bu çalışma kapsamında, kauçuk izolatörlerin mekanik özellikleri rastgele değişkenler olarak ele alınmış dolayısıyla akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı (α), akma kuvveti (F_y) ve akma deplasmanı (D_y) ana rastgele değişkenler olarak modellenmiştir. Benzer şekilde, yarı-aktif kontrol cihazının mekanik özelliklerinden cihazın rijitliği (k_d), maksimum sönüm miktarı (c_{max}) ve minimum sönüm miktarı (c_{min}) rastgele değişken olarak modellenmiştir. İzolasyon sistemi parametrelerinin tümünün, çoğu mühendislik sistemi parametresi için tipik olan %10 varyasyon katsayısı (*c.o.v.*) ile normal dağılım izlediği varsayılmıştır (Halдар ve Mahadevan, 2000). 3 katlı ve 9 katlı binalar için söz konusu parametrelerin seçilen nominal (ortalama) değerleri Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1: Kauçuk izolatörlere ve yarı-aktif cihazlara ait mekanik parametrelerin nominal değerleri.

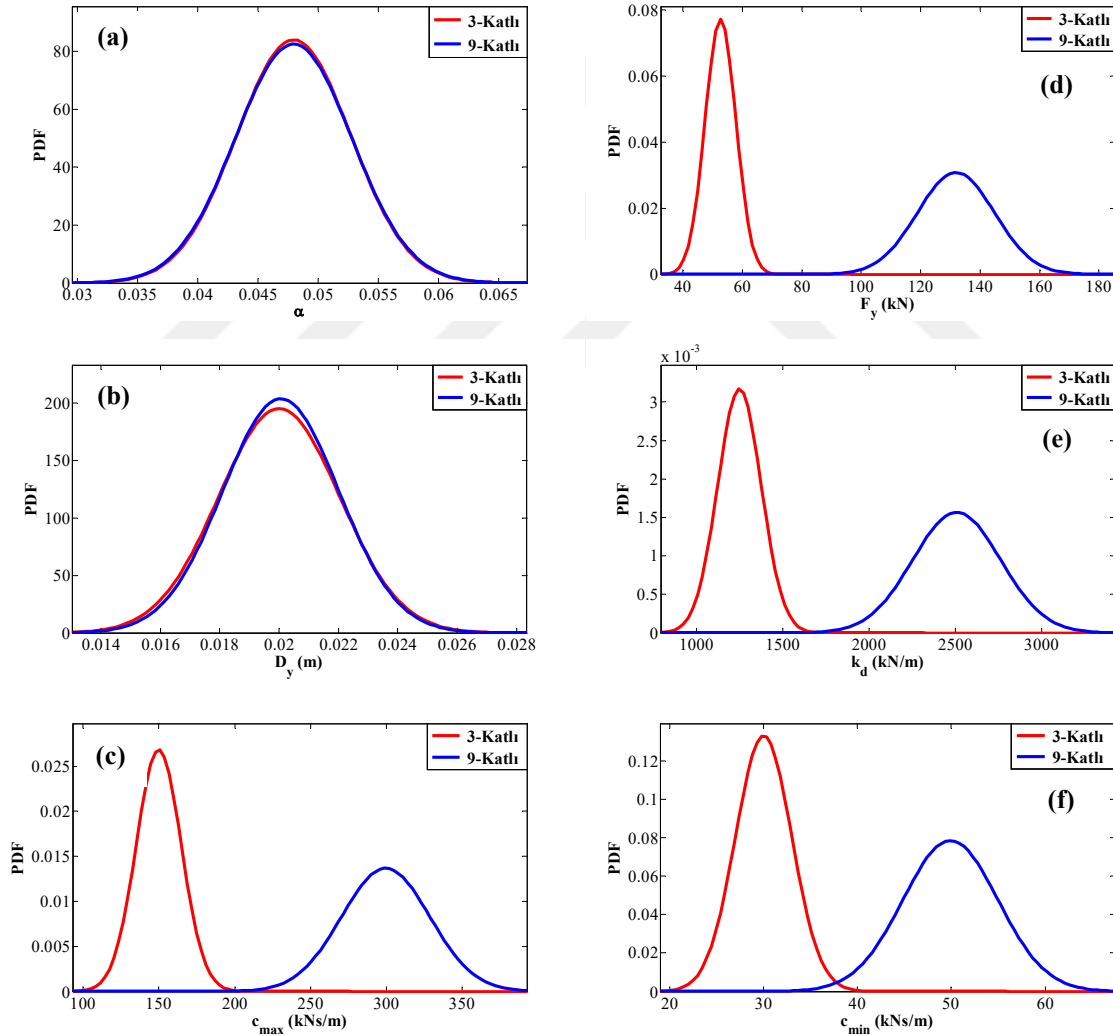
Model	α	F_y (kN)	D_y (m)	k_d (kN/m)	c_{max} (kNs/m)	c_{min} (kNs/m)
3-katlı	0.048	52.754	0.02	1250	150	30
9-katlı	0.048	131.89	0.02	2500	300	50

Rastgele bir değişkenin olasılık dağılımı, olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) ile tanımlanabilir. Seçilen rastgele değişkenlere ait olasılık dağılımı bilgisi ise Tablo 3.2’de verilmiştir. 3 katlı ve 9 katlı binalara ait yarı-aktif izolasyon sistemlerinin dikkate alınan rastgele değişkenlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) grafikleri MATLAB (Mathworks, 2011) vasıtasıyla elde edilmiş ve Şekil 3.4 (a)-(f)’de gösterilmiştir. Kauçuk izolatörler için akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı (α), akma kuvveti (F_y) ve akma deplasmanı (D_y) rastgele değişkenleri üretildiğinde, bu değişkenlerle ilişkili diğer değişkenler akma öncesi

rijitlik (K_1), akma sonrası rijitlik (K_2) ve karakteristik kuvvet (Q_t), Denklem (3.2)-Denklem (3.4) aracılığı ile elde edilir.

Tablo 3.2: Yarı-aktif izolasyon sistemine ait rastgele değişkenlerin olasılık dağılımı bilgisi.

Rastgele değişken	Dağılım türü	c.o.v.
α	normal	10%
F_y	normal	10%
D_y	normal	10%
k_d	normal	10%
$c_{\max}$	normal	10%
$c_{\min}$	normal	10%



Şekil 3.4: Yarı-aktif izolasyon sistemine ait rastgele değişkenlerin olasılık yoğunluk fonksiyonları (PDF).

3.2. MONTE-CARLO SİMÜLASYON YÖNTEMİ

Her şeyin kesin olarak bilindiği ortamlarda, problemi etkileyen değişkenlerin değerini matematiksel olarak belirlemek mümkündür. Oysaki problemi etkileyen değişkenlerde her zaman kesinlik olması beklenemez. Değişkenlerde belirsizliklerin olduğu problemlerdeki belirsizlik durumu, matematiksel bir model ve bilgisayar aracılığı ile oluşturulan simülasyon teknikleri ile dikkate alınabilir. Ranganathan (1999), olasılıksal yapısal güvenilirlik yaklaşımını kullanan tasarımın bir “mühendislik disiplini” haline geldiğini belirtmiştir. Birinci dereceden güvenilirlik yöntemi (First Order Reliability Method-FORM), ikinci dereceden güvenilirlik yöntemi (Second Order Reliability Method-SORM) ve Monte-Carlo Simülasyon yöntemi gibi çeşitli olasılık yöntemleri vardır (Haldar ve Mahadevan, 2000). Güvenilirlik analizinde sıklıkla kullanılan FORM yöntemi, karmaşık olmayan pratik tasarım problemlerinde yeterince doğru sonuç verebilir. Öte yandan, bu yöntem yüksek dereceli doğrusal olmayan problemler için yeterli doğrulukta sonuçlar vermeyebilir ve hatta güvenilirmez tasarımlara bile yol açabilir. Dolayısıyla, doğrusal olmayan problemlerde Monte-Carlo tekniğini kullanmak daha uygun olabilir (Padmanabhan ve diğ., 2006). Ayrıca, Monte-Carlo Simülasyonu, bu tür problemlerin çözümünde SORM ve FORM yöntemlerinden daha doğru sonuçlar verir (Der Kiureghian, 2000). Bu nedenle, bu çalışmada yarı-aktif izolasyonlu binaların olasılık analizlerini yapmak için Monte-Carlo Simülasyon tekniği kullanılmıştır. Risk ve güvenilirlik analizlerini gerçekleştirmek için mühendisliğin birçok alanında tercih edilen ve kesin bir yöntem olan bu teknik (Pradlwarter ve diğ., 1998), belirli olasılık dağılımlarını takip eden rastgele değişkenleri tanımlayarak belirsizlikleri dikkate alan, matematiksel modelleme ve tekrarlayıcı bilgisayar analizi üzerine kuruludur (Haldar ve Mahadevan, 2000). Ayrıca, yöntem ile ilgili ayrıntılı bilgiye Perros (2009) tarafından yapılan çalışmada yer verilmiştir.

3.2.1. Rastgele Değişken (X) ve Olasılık Dağılımı

Monte-Carlo simülasyonu, belirsizlikler içeren parametrelerin rastgele değişkenler olarak tanımlandığı bir yöntemdir. Rastgele değişkenlerin değeri herhangi bir durum için bilinmemesine karşın, bu değişkenlerin alabileceği değer aralığı bilinebilir. Rastgele değişken (X) ile ilgili tek bir deneyin sonucu tam olarak tahmin edilememesine karşın, geniş bir örnek uzayda yapılan deneyler daha doğru tahmin edilmesini sağlar (Yalçın, 2005). Rastgele değişken, geniş bir örnek uzayda bulunan her bir ζ noktasına denk gelen x_i gerçek değişken değerini alan bir fonksiyondur. Rastgele değişkenler sürekli ya da süreksiz olmalarına göre

ayrılırlar. Eğer değişken herhangi bir aralıkta değerler içeriyorsa sürekli rastgele değişken olarak adlandırılırken; değişken belirli aralıkta bulunmuyor, belirli ayırık noktalarda bulunuyorsa süresiz rastgele değişken olarak adlandırılır (Hsu, 1996). Rastgele değişkenin (X) ortalama değeri üzerinden hangi şekilde saçılarak hangi rastgele değerleri (x_i) alacağını belirleyen matematiksel fonksiyonlara ise olasılık dağılımları denir. Her bir rastgele değişken, kendi doğası ile uyumlu olan belirli bir olasılık dağılımını izleyecek şekilde üretilir. Literatürde normal, lognormal, üniform, Weibull veya üslü olmak üzere çeşitli dağılım fonksiyonları vardır; ancak, bunlarla sınırlı değildir (Haldar ve Mahadevan, 2000). Uygulamalı mühendislik problemlerinde sıkça kullanılan normal ve Weibull dağılımları, bu çalışmada tanımlanan rastgele parametreler için uygundur. Söz konusu dağılımları matematiksel olarak ifade etmek için olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) ve kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) kullanılır.

3.2.2. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF) ve Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF)

Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Probability Density Function: PDF), sürekli rastgele değişkenin (X) olasılık dağılımının matematiksel modelidir. Rastgele değişkenin $[a, b]$ aralığında değer alma olasılığı (P), bu limit değerler arasındaki alana eşittir (Denklem (3.8)). Burada, $f_x(x)$ olasılık yoğunluk fonksiyonudur (Haldar ve Mahadevan, 2000).

$$P(a < X \leq b) = \int_a^b f_x(x) dx \quad (3.8)$$

Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (Cumulative Distribution Function: CDF) ise x değerine eşit veya daha küçük değerler alan sürekli rastgele değişkenin (X) olasılık değerini temsil eder. Diğer deyişle, olasılık yoğunluk fonksiyonunun $-\infty$ ile x arasında integre edilmesi ile Denklem (3.9)'da görüldüğü gibi hesaplanır (Haldar ve Mahadevan, 2000).

$$P(X \leq x) = F_x(x) = \int_{-\infty}^x f_x(x) dx \quad (3.9)$$

3.2.3. Normal Dağılım ve Weibull Dağılımı

Mühendislik problemlerinde sıklıkla kullanılan normal dağılım, Denklem (3.10)'da gösterilen kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) ile belirtilir (Haldar ve Mahadevan, 2000).

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x} \right)^2} dx \quad (3.10)$$

Normal dağılımın şekli, rastgele değişkenin ortalaması, μ_x , ve standart sapması, σ_x , olmak üzere iki parametreye bağlıdır. Bu dağılım ortalama değer (μ_x) etrafında, standart sapma (σ_x) etkisinde simetrik olarak yayılım gösterir. Dağılımın standart bir ölçüsü varyasyon katsayısı (*c.o.v.*) ise söz konusu iki parametreye bağlı olarak $c.o.v. = \sigma_x / \mu_x$ şeklinde hesaplanır. Varyasyon katsayısı, aynı zamanda dağılımın keskinliği hakkında bilgi sağlar. Eğer değişkende var olan belirsizlik küçükse, bu katsayı küçük bir değer alır (Haldar ve Mahadevan, 2000).

Weibull dağılıma sahip sürekli X rastgele değişkeninin PDF fonksiyonu Denklem (3.11)'deki gibidir. Burada, k_x terimi X rastgele değişkeninin varyasyonunu değiştiren şekil parametresi; γ_x ise X rastgele değişkeninin PDF fonksiyonunun formunu değiştiren şekil parametresidir (Haldar ve Mahadevan, 2000).

$$F_x(x) = \frac{k_x}{\gamma_x} \left(\frac{x}{\gamma_x} \right)^{k_x-1} e^{-\left(\frac{x}{\gamma_x} \right)^{k_x}} \quad (3.11)$$

Sürekli rastgele değişkenin (X) Weibull dağılımına ait CDF fonksiyonu Denklem (3.12)'de verilmiştir.

$$F_x(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\gamma_x} \right)^{k_x}} \quad (3.12)$$

Belirli bir olasılık dağılımını takip eden rastgele değişkenlerin değerleri, gerekli sayıda simülasyon kadar (n_{mcs}) üretilir. Ardından, problem rastgele değişkenleri dikkate alarak ayrı ayrı deterministik olarak analiz edilir. Son olarak, tüm deterministik analizlerin sonuçlarından olasılık bilgisi çıkartılır (Haldar ve Mahadevan, 2000; Ayyub ve Klir, 2006).

3.2.4. Rastgele Sayıların ve Değişkenlerin Üretilmesi

Belirsizlikler içeren parametrelerin rastgele değişkenler olarak tanımlandığı mühendislik sistemlerinin güvenilirliğini belirlemede kullanılan Monte-Carlo simülasyonunda, her rastgele parametre, doğası ile uyumlu belirli bir olasılık dağılımını izlemek üzere üretilir. Bu sayıların uniform dağılıma sahip olması, daha sonra söz konusu sayıların istenilen dağılıma ait sayılara

dönüştürülebilmesi açısından kolaylık sağlamaktadır (Ayyub ve Klir, 2006). Bunu yapmak için, ilk olarak, 0 ile 1 arasında değişen, düzgün şekilde dağıtılan rastgele sayılar üretilir. Ardından, ters kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) yöntemini kullanarak, sayıları belirlenen bir dağılım karakteristiğine uygun olan rastgele sayılara dönüştürülürler. Bu yöntemde, x_i rastgele değişkeninin CDF'si oluşturulan rastgele u_i sayısına eşitlenir ($u_i = F_x(x_i)$) ve ardından bu denklem x_i için çözülerek $x_i = F_x^{-1}(u_i)$ şeklinde elde edilir (Haldar ve Mahadevan, 2000).

Normal dağılıma sahip olan bir X rastgele değişkeninin CDF fonksiyonunun (Denklem (3.10)) çözümü için, 0 ile 1 aralığındaki üniform dağılımlı rastgele sayılar (u_i) Denklem (3.13)'te görüldüğü gibi standart normal rastgele sayılara (s_i) dönüştürülür. Standart normal rastgele değişkenin CDF fonksiyonu ise Denklem (3.14)'te verilmiştir. Daha sonra, bu denklem u_i değeri ile eşitlenir (Denklem (3.15)). Ardından, ters CDF metoduna göre, u_i sayılarının s_i sayılarına dönüşümü ise $s_i = \Phi^{-1}(u_i)$ şeklinde gerçekleşir. Son olarak, normal dağılımlı rastgele değişkenin (X) her bir x_i değeri Denklem (3.16)'den elde edilir (Haldar ve Mahadevan, 2000).

$$s_i = \frac{x_i - \mu_x}{\sigma_x} \quad (3.13)$$

$$\Phi(s_i) = \int_{-\infty}^s \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{s^2}{2}} ds \quad (3.14)$$

$$u_i = F_x(x_i) = \Phi(s_i) = \Phi\left(\frac{x_i - \mu_x}{\sigma_x}\right) \quad (3.15)$$

$$x_i = \mu_x + \sigma_x s_i \quad (3.16)$$

Weibull dağılıma sahip sürekli rastgele değişkenin (X) Denklem (3.12)'de sunulan CDF fonksiyonu, u_i değeri ile eşitlenerek ve ters CDF yöntemi ile çözülerek (Bkz. Denklem (3.15)) elde edilen Weibull dağılımına sahip rastgele değişkenin her bir değeri (x_i) Denklem (3.17)'de verilmiştir (Alhan ve Gavin, 2005).

$$x_i = \gamma_x [-\ln(1 - u_i)]^{1/k_x} \quad (3.17)$$

3.2.5. Başarısızlık olasılığı (P_f)

Olasılıksal analizin temel sonucu başarısızlık olasılığı (Probability of failure: P_f) yani risktir (Yalçın, 2005). Rastgele X değişkeninin başarısızlık olasılığı, Denklem (3.18)'de verilen limit durum fonksiyonu, $g(X)$, kullanılarak Denklem (3.22)'deki gibi sunulmaktadır (Alhan ve Gavin, 2005).

$$g(X) = \text{limit} - x_i \quad (3.18)$$

Burada, X rastgele değişkeni için belirlenen limit değer ile bu değişkenin her bir simülasyonda elde edilen değerinin (x_i) farkını gösteren $g(X)$ fonksiyonunun 0'a eşit veya 0'dan küçük olması başarısızlık durumu $g(X) \leq 0$ şeklinde tarif edilebilir. Başarısızlık olasılığı (P_f -Denklem(3.19)) ise başarısızlık durumunun gerçekleşme sayısının ($n_{[g(X) \leq 0]}$) toplam simülasyon sayısına (n_{mcs}) oranıdır (Alhan ve Gavin, 2005; Halder ve Mahadevan, 2000). Ayrıca, Monte Carlo Simülasyonunun tüm basamaklarının uygulanmasını gösteren kapsamlı bir örnek Alhan ve Gazi (2014)'de bulunabilir.

$$P_f = \frac{n_{[g(X) \leq 0]}}{n_{mcs}} \quad (3.19)$$

3.3. YARI-AKTİF KONTROL SİSTEMLERİNİN MONTE-CARLO ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLEBİLMESİ İÇİN 3DBASIS-SA PROGRAMININ UYARLANMASI

Orjinal 3DBASIS programı (Nagarajaiah ve diğ., 1991), üç boyutlu sismik izolasyonlu yapıların lineer (doğrusal) ve nonlinear (doğrusal olmayan) zaman-tanım alanı analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan, akademik alanda yaygın bir şekilde kullanılan bir programdır. Program ile düşük ve yüksek sönümlleme özellikleri olan elastomer mesnetler, kurşun çekirdekli elastomer mesnetler, kayıcı mesnetler ve viskoz sönümleyicileri ve/veya bunların kombinasyonlarını içeren sismik izolasyon sistemlerine sahip binalar modellenerek, binaların sismik hareketler altındaki analizleri yapılabilmektedir.

Sismik izolasyonlu bir yapı, 3DBASIS programında, üst yapı ve izolasyon sistemi olarak iki aşamada modellenir. Ayrıca, programda farklı izolasyon periyoduna ve farklı üst yapı özelliklerine sahip yapıların tam üç boyutlu modeli ve kayma çerçevesi modeli ile

modellenmesi mümkündür. Programda, hareket denkleminin çözümü için Newmark sabit ortalama ivme yöntemi, doğrusal olmayan izolasyon elemanlarının davranışını temsil eden diferansiyel denklemlerin çözümü için yarı-kapalı (semi-implicit) Runge Kutta yöntemi kullanılmıştır. Kendisi ile aynı periyoda sahip yapıları temsilen araştırmalarda kullanılan kayma çerçevesi modeli (Alhan ve Sürmeli, 2011) için her katın kütlesi, rijitliği, atalet kütle momenti, üst yapı sönüm oranı ve kat yükseklikleri kullanılır. İzolasyon sisteminin modellenmesinde ise, izolasyon katının kütlesi, atalet kütle momenti ve izolasyon sistemi elemanlarının karakteristik mekanik özelliklerine ait değerler kullanılır. Program ile ilgili daha fazla ayrıntı, Nagarajaiah ve diğ. (1991) tarafından hazırlanan raporda verilmektedir.

Gavin ve diğ. (2003) tarafından, 3DBASIS programına elastomer mesnetler ile birlikte çalışan yarı-aktif hidrolik sönümleyiciyi temsil eden Maxwell visko-elastik modeli eklenmiş ve üç boyutlu yarı-aktif izolasyonlu bir binanın doğrusal olmayan zaman-tanım alanı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında, söz konusu programa 3DBASIS-SA adı verilmiştir. Programda tanımlanan Maxwell yarı-aktif elemanı ile ilgili ayrıntılar Bölüm 3.1.2’de verilmiştir. Söz konusu elemanı tanımlamak için kullanılan birinci-derece diferansiyel denklemin (Denklemler (3.7)) çözümü dördüncü-dereceden Runge-Kutta yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Program .exe uzantılı olup; çalışması için kullanıcı tarafından oluşturulan girdi (3DBASIS.DAT) dosyasına ve deprem data dosyalarına ihtiyaç duyar. Girdi dosyasında, ilk olarak üst yapının kayma çerçevesi (3D Shear Building-ISEV=1) veya tam üç boyutlu (Full3D-ISEV=2) olarak modelleneceğini belirleyen kontrol parametreleri ile integrasyon, Newmark yöntemi ve deprem datası ile ilgili kontrol parametreleri kullanıcı tarafından oluşturulmaktadır. Ardından, üst yapı kayma çerçevesi olarak modellenecekse kat rijitlikleri, tam üç boyutlu olarak modellenecekse üst yapının ankastre olarak SAP2000 gibi bir başka programda modellenmesi ve modal analiz yapılması suretiyle elde edilen özdeğer ve özvektörler girdi dosyasına işlenmektedir. Bunların dışında, üst yapıya ait kat kütleleri, eksantirisite değerleri, üst yapı doğal sönüm oranları ve kat yükseklikleri gibi değerler söz konusu data dosyasına girilir. Son olarak, yarı-aktif izolasyon sistemine ait kat kütlesi değerleri, izolasyon sistemi elemanlarından olan izolatörlerin tek eksenli veya çift eksenli olarak çalıştığını belirten değerler ile lineer elastik veya histeretik olarak modellendiğini belirten değerler girilir. Bu tez kapsamında, yarı-aktif izolasyon sistemi elemanlarından olan izolatör elemanları ikili lineer histeretik olarak modellendiğinden, bu kısımda izolatörlere ait akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı, akma deplasmanı ve akma kuvveti değerleri ile yarı-

aktif izolasyon sisteminin diğer elemanları olan yarı-aktif kontrol cihazına ait rijitlik ve sönüm değerleri girilmiştir. 3DBASIS-SA programı oluşturulan girdi dosyası ile deprem datalarını kullanarak gerçekleştirdiği zaman-tanım alanı analizlerinden sonra çıktı dosyaları oluşturur.

Bu tez kapsamında ele alınacak yapı kayma çerçevesi olarak modellenmiş olup 3DBASIS-SA programının STIFF 1 alt programı vasıtasıyla üst yapıya ait sistem rijitlik matrisi oluşturulmaktadır. Matrislerin oluşturulması sırasında girdi dosyasında kullanıcı tarafından tanımlanan kat ve izolasyon rijitlikleri dikkate alınır. Programda yer alan MASS alt programı, üst yapısı kayma çerçevesi olarak modellenecek izolasyonlu yapıya ait diyagonal kütle matrisini oluşturmaktadır. Ardından, kayma çerçevesi olarak modellenecek binanın mod şekillerini hesaplayabilmek için tanımlanan özdeğer problemini çözmek için JACOBI alt programı devreye girer. DAMP alt programı ise, üst yapının kayma çerçevesi olarak ya da tam üç boyutlu olarak modellenmesine göre ya JACOBI alt programında çözülen üst yapı modal sönüm oranlarını kullanır ya da girdi dosyasından okuduğu üst yapı modal sönüm oranlarını kullanır. Ardından, izolasyon sistemi için tanımlanan sönüm oranlarını kullanarak, sistem sönüm matrisini oluşturur. SOLUTION alt programı, izolasyonlu bina için kurulan hareket denklemlerini çözmektedir. 3DBASIS programının SOLUTION alt programının içinde çağrılan HSYT alt programında tanımlanan çeşitli izolasyon elemanlarına (doğrusal elastik elemanlar, doğrusal viskoz elemanlar, elastomerik mesnetler için tanımlanan tek ve iki eksenli histeretik elemanlar, kayma tipi mesnetler için için tanımlanan tek ve iki eksenli histeretik elemanlar), 3DBASIS-SA versiyonunda (Gavin ve diğ., 2003) yarı-aktif Maxwell sönümleyici elemanlar eklenmiş olup; bu elemanların çözümü için ayrı ayrı alt programlar çağırılmaktadır. Yarı-aktif kontrol cihazının modellenmesinde kullanılan birinci dereceden diferansiyel denklemin (Denklem (3.7)) çözümü için kullanılan dördüncü derece Runge-Kutta yöntemi DEVICE alt programında tanımlanmıştır. DEVICE alt programı ise denklemin çözümü sırasında, kontrol kuralının (Denklem (3.5)) tanımlandığı CONSTD1 alt programını çağırılmaktadır.

Daha önce 3DBASIS programı, *pasif* izolasyon sistemlerinin sentetik ve tarihi depremler altında Monte-Carlo analizlerini gerçekleştirebilmek için Gazi (2015) tarafından modifiye edilmiş ve *pasif* izolasyon sistemlerine sahip binaların güvenilirliğinin incelemesi için kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında ise üç boyutlu *yarı-aktif* izolasyonlu binaların doğrusal olmayan zaman-tanım alanı analizlerini gerçekleştirebilen 3DBASIS-SA (Gavin ve diğ., 2003) programı sentetik ve

tarihi depremler altında Monte-Carlo analizi yapabilir hale getirilmiş ve bu versiyon *yarı-aktif* izolasyonlu binaların güvenilirliklerinin incelenmesi için kullanılmıştır. Bu kapsamda, yarı-aktif izolasyon sisteminin mekanik özelliklerinin (Bölüm 3.1.3) belirli bir olasılık dağılımına göre üretilmiş rastgele değerleri ile oluşturulmuş izolasyon sistemlerine sahip n_{mcs} adet üç boyutlu yarı-aktif izolasyonlu binanın tarihi yakın-fay depremi altında veya sentetik deprem parametrelerindeki belirsizlikleri dikkate alan, n_{mcs} adet sentetik yakın-fay depremleri altındaki dinamik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu sebeple, öncelikle, sentetik deprem oluşturabilmek için programa kod eklenmiştir. Pasif izolasyon sistemlerinde zamana bağlı ivme kaydı girdi olarak yeterli olurken yarı-aktif izolasyon sistemlerine sahip binaların incelenmesi için ivme kaydına ek olarak hız kaydının da girdi verisi olarak sağlanması gerekmektedir. Ardından, Monte-Carlo simülasyon tekniğinin kullanılabilmesi için 3DBASIS-SA programı tekrarlı analizler yapabilecek hale getirilmiştir. Son olarak, programdan n_{mcs} adet analizin her bir adımı için elde edilen sonuçlar çıktı dosyalarına yazdırılmış ve ilgili sonuçlar Monte-Carlo simülasyonunun son adımı olarak MATLAB ortamında grafiksel verilere dönüştürülmüştür.

3.3.1. Sentetik Deprem Modelinin 3DBASIS-SA Programına Eklenmesi

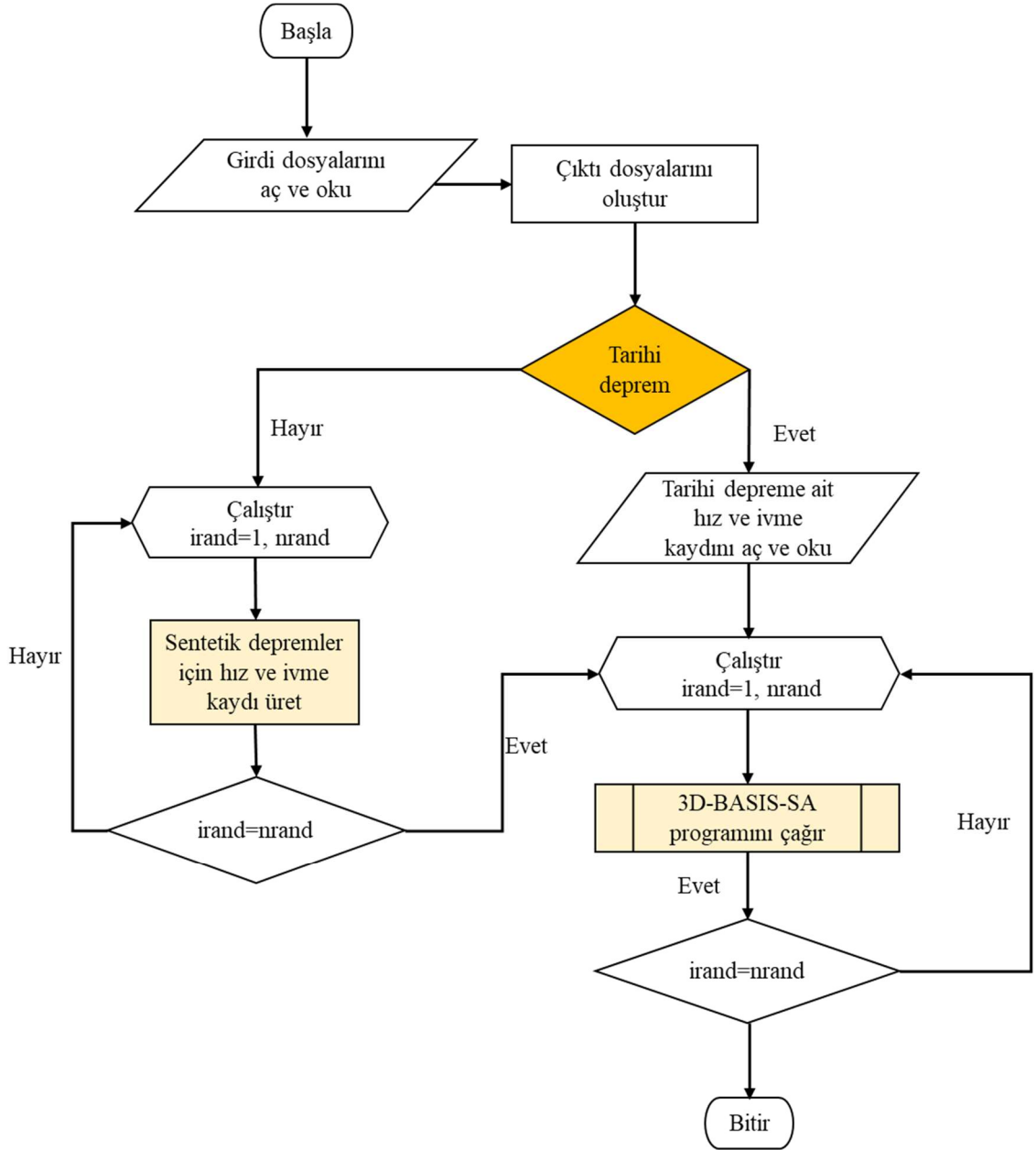
Kayıt edilen tarihi yakın-fay deprem hareketlerini depremin büyüklüğü, bölgenin faya olan en yakın uzaklığı, deprem sönüm oranı gibi parametreler etkilemektedir. Mevcut yakın-fay depremi kayıtlarında, söz konusu parametrelerin düzenli olarak değişmemesi sebebiyle; depremleri gruplandırarak sistematik çalışma yapmak mümkün olmamaktadır. Yakın-fay deprem kaydı sayısındaki yetersizlik sebebiyle, literatürde farklı deprem modelleri araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada kullanılacak olan sentetik deprem modeli Agrawal ve He (2002) tarafından sunulmuştur. Bu modele ait ayrıntılar Bölüm 2.3’de verilmiştir. Sırasıyla Denklem (2.3) ve (2.4)’te verilen hız ve ivme denklemleri 3DBASIS-SA programında kodlanarak, programda sentetik deprem kaydı (hem ivme hem de hız kaydı) üretilmesi sağlanmıştır (Şekil 3.5). Söz konusu denklemlerde dikkate alınan rastgele değişkenler ve temsil ettikleri olasılık dağılımları Bölüm 3.5.3’te detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

3.3.2. Monte-Carlo Simülasyonunun 3DBASIS-SA Programına Entegrasyonu

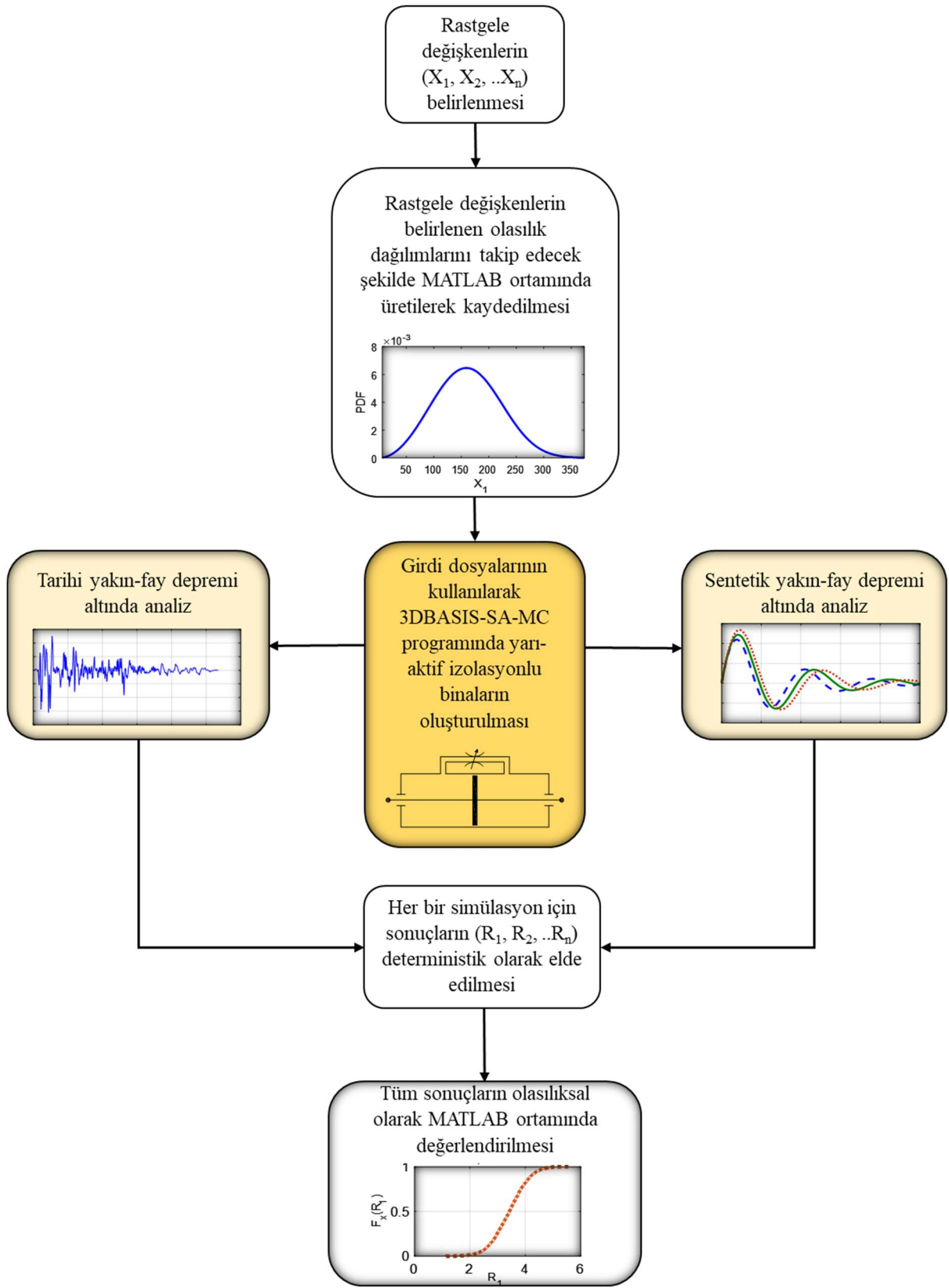
Bu tez kapsamında, Monte-Carlo simülasyonlarının gerçekleştirilebilmesi için elastomer mesnetler ile birlikte çalışan yarı-aktif sönümleyiciyi temsil eden Maxwell visko-elastik modeli de içeren 3DBASIS-SA programının tekrarlı analizler yapabilir hale getirilmesi gerekmiştir. Programda öncelikle, detaylarından Bölüm 3.3'te bahsedilen, kullanıcı tarafından hazırlanan ve modelin oluşturulmasında kullanılan girdi dosyası (3DBASIS.DAT); yarı-aktif izolasyon sisteminin tüm elemanlarına ait rastgele değişkenleri içeren girdi dosyası; sentetik yakın-fay depremlerinin modellenmesinde kullanılan rastgele değişkenleri içeren girdi dosyası açılarak okutulmaktadır. Yarı-aktif izolasyon sistemindeki rastgele değişkenler olan izolatörlere ait akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı (α), akma dayanımı (F_y) ve akma yer değiştirmesi (D_y) değerleri; yarı-aktif kontrol cihazına ait rijitlik (k_d), maksimum sönüm oranı (c_{max}) ve minimum sönüm oranı (c_{min}) değerleri her bir eleman için ayrı ayrı ve belirli bir olasılık dağılıma uygun şekilde MATLAB ortamında üretilmiştir. Puls modeline ait rastgele değişkenler olan puls sönüm oranı (ζ_p), puls periyodu (T_p) ve maksimum puls hızının (v_p) değerleri belirli bir olasılık dağılımına uygun olarak yine MATLAB ortamında üretilmiştir. Rastgele değişkenler, Monte-Carlo simülasyonu kapsamına yapılacak her bir analiz için, simülasyon sayısı kadar ($n_{mcs}=nrand$) üretilmiştir. Ardından, 3DBASIS-SA programı döngü içine alınarak, programın simülasyon sayısı ($n_{mcs}=nrand$) kadar tekrarlı analiz yapması sağlanmıştır.

Tekrarlı analizler başlatıldığında, 3DBASIS.DAT dosyasından okutulan bir veri ile analizlerde kullanılacak deprem yüklemesinin tarihi deprem ya da sentetik yakın-fay depremi olacağına karar verilir. Bu veri, 3DBASIS-SA programının içinde çalıştırılan LOAD alt programında yer alan mantıksal sınamada tanımlanmış bir değişkendir. Eğer 3DBASIS.DAT veri dosyasında deprem tanımlaması için girilen değer sentetik yakın-fay depremi için tanımlanan değere eşitse, 3DBASIS-SA alt programı döngü içerisinde çalıştırıldığında, daha önce üretilen yakın-fay depremine ait ivme ve hız değerlerini kullanır. Eğer okutulan veri tarihi depremler için tanımlanan değere eşitse, program daha önce kullanıcı tarafından tanımlanan yer hareketine ait X ve Y doğrultusundaki ivme kayıtlarını (ACCEW.DAT, ACCNS.DAT) ve yer hareketine ait X ve Y doğrultusundaki hız kayıtlarını (VELEW.DAT, VELNS.DAT) okur ve bu yüklemeler altında analiz yapar. Eğer sentetik deprem kullanılacaksa, program n_{mcs} adet analizin her biri için farklı değerler atanmış rastgele değişkenler ile üretilen deprem yüklemelerini kullanır.

Bölüm 3.3.1 ve 3.3.2’de tarif edilen işlemlerin sonucunda elde edilen ve kullanılan programa bu tez kapsamında 3DBASIS-SA-MC adı verilmiştir. Yarı-aktif izolasyonlu binaların Monte-Carlo Simülasyonunu anlatan grafiksel özet Şekil 3.6’daki gibidir.



Şekil 3.5: Tekrarlı analiz yapabilen 3DBASIS-SA-MC programının genel yapısı.



Şekil 3.6: Yarı-aktif izolasyonlu binaların Monte-Carlo Simülasyonunu gösteren grafiksel özet.

3.3.3. Kullanılacak Rastgele Değişkenlerin Oluşturulması ve 3DBASIS-SA-MC Programına Aktarılması

Sentetik yakın-fay depremlerin üretilmesi sırasında kullanılan ve tez çalışması kapsamında rastgele değişkenler olarak belirlenen sentetik deprem parametrelerinden puls hızı (v_p) ve puls periyodu (T_p) Weibull dağılıma, deprem sönüm oranı ise (ζ_p) ise normal dağılıma uygun olarak (Bölüm 3.5.3) MATLAB (Mathworks, 2011) ortamında üretilmiştir. Bunun için öncelikle, deprem moment büyüklüğü (M_w), fay hattına olan en yakın mesafe (r), deprem sönüm oranı (ζ_p) ve Monte-Carlo Simülasyonu sayısı (n_{mcs}) belirlenmiştir.

Benzer şekilde, belirsizlik içeren yarı-aktif izolasyon sisteminin tanımlanması amacıyla, normal dağılıma uygun olan rastgele değişkenler MATLAB (Mathworks, 2011) ortamında üretilmiştir. Bunun için öncelikle X ve Y yönünde kullanılacak yarı-aktif cihaz sayısı, izolatör sayısı ve Monte-Carlo Simülasyonu sayısı (n_{mcs}) girilmiştir. Ardından, n_{mcs} sayısı kadar üretilecek yarı-aktif izolasyon sisteminin elemanlarından olan yarı-aktif cihaz için seçilen rastgele değişkenlerin (Bölüm 3.1.3) nominal değerleri (c_{min} , c_{max} , k_d), izolatörlerin tanımlanmasında kullanılan rastgele değişkenlerin (Bölüm 3.1.3) nominal değerleri (α , F_y , D_y) ve bu değişkenleri normal dağılıma uygun şekilde dağıtmak için kullanılan *c.o.v.* değerleri kullanılmıştır. Yarı-aktif izolasyon sistemine ait rastgele değişkenler için n_{mcs} adet normal dağılıma uygun olarak rastgele değişken üretilir.

3.4. ANALİZLERİN DOĞRULANMASI VE SİMÜLASYON SAYISININ TESPİTİ

3.4.1. Analizlerin Doğrulanması

Bu tez çalışmasında, Alhan ve Sürmeli (2011)'nin çalışmalarında da kullandıkları, Şekil 3.1'de planı verilen örnek model üç boyutlu kayma çerçevesi olarak modellenmiştir. Üst yapı esnekliğinin dinamik tepki parametreleri üzerindeki etkisini incelemek için Şekil 3.2'de kesiti verilen 3 ve 9 katlı modeller 3DBASIS-SA programında oluşturulmuştur. Programın doğrulanması için MATLAB'de ayrı bir kod hazırlanmıştır. Programda kullanılan modelleme tekniği için Alhan (2003) ve Alhan ve Gavin (2004) tarafından yapılan çalışmalardan faydalanılmıştır. Konu ile ilgili teorik bilgiler de aşağıda Alhan (2003) ve Alhan ve Gavin (2004) çalışmalarından özetlenerek aktarılmıştır.

G kat ağırlık merkezidir. Kat rijitlik matrisi (K_s), binanın X, Y yönleri ve Z eksenini etrafındaki dönme yönü (Θ) için aşağıda verilmiştir. Burada, k_{xi} ve k_{yi} sırasıyla i'nci kolonun X ve Y yönündeki rijitliği, X_i ve Y_i sırasıyla i'nci kolonun katın ağırlık merkezine olan X ve Y yönündeki mesafeleridir.

$$K_s = \begin{bmatrix} \sum_i k_{xi} & 0 & -\sum_i k_{xi} Y_i \\ 0 & \sum_i k_{yi} & \sum_i k_{yi} X_i \\ -\sum_i k_{xi} Y_i & \sum_i k_{yi} X_i & \sum_i (k_{xi} Y_i^2 + k_{yi} X_i^2) \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Her bir kata ait rijitlik matrisinin bir araya getirilmesi ile ankastre tabanlı üç boyutlu kayma binası modeli için rijitlik matrisi K^{fix} elde edilir. İzolasyon katı rijitlik matrisi K_I Denklem (3.20)'dekine benzer şekilde her bir izolasyon elemanı için hesaplanarak, oluşturulur. Daha sonra K^{fix} ile K_I Nagarajaiah ve diğ. (1989) tarafından anlatıldığı şekilde birleştirilerek taban izolasyonlu binaya ait rijitlik matrisi K_{iso} elde edilir.

Taban ankastre binanın sönümü ise C^{fix} Denklem (3.21)'deki gibi hesaplanmaktadır. Burada, Γ matrisi diyagonaldir ve i'nci elemanlarında $2\zeta_i \omega_{ni}$ değeri yer alır. f_{fix} değeri sistemin öz değer probleminden elde edilir. ζ_i ve ω_{ni} sırasıyla, i'nci yapı moduna ait sönüm oranı ve binanın doğal frekansıdır. Bu çalışmada, ζ_i her mod için %5 alınmıştır.

$$C^{fix} = (f_{fix})^T \Gamma (f_{fix})^{-1} \quad (3.21)$$

Sönüm matrisi C_F , Denklem (3.22)'de verilmiştir. Örneğin bu matris, 3 katlı izolasyonlu model için i, j binanın X yönündeki modlarını (1, 4 ve 7); k, l binanın Y yönündeki modlarını (2, 5 ve 8); m, n binanın Z eksenini etrafındaki dönme (Θ) modlarını (3, 6 ve 9) temsil edecek şekilde doldurulacaktır.

$$C_F = \begin{bmatrix} \sum_{i,j} C_{i,j}^{fix} & 0 & 0 \\ 0 & \sum_{k,l} C_{k,l}^{fix} & 0 \\ 0 & 0 & \sum_{m,n} C_{m,n}^{fix} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Denklem (3.23)'da, izolasyon katının sönüm matrisi C_I verilmiştir. C_{Ixx} , C_{Iyy} ve $C_{I\theta\theta}$ değerleri sırasıyla izolasyon elemanlarının X, Y ve Θ yönündeki sönüm değerlerinin toplamıdır.

$$C_I = \begin{bmatrix} C_{Ixx} & 0 & 0 \\ 0 & C_{Iyy} & 0 \\ 0 & 0 & C_{I\theta\theta} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

İzolasyonlu sistem sönüm matrisi C_{iso} ise Denklem (3.24)'teki gibidir.

$$C_{iso} = \begin{bmatrix} C_I + C_F & -C_F & 0_{3 \times 6} \\ -C_F & C^{fix} & \\ 0_{6 \times 3} & & \end{bmatrix}_{12 \times 12} \quad (3.24)$$

İzolasyonlu sistemin kütle matrisi M_{iso} ise, izolasyon katı da dahil olmak üzere tüm katların X, Y ve Z eksenleri etrafındaki dönme (Θ) yönlerindeki kütle değerlerini içeren diyagonal matristir. Yarı-aktif kontrol uygulanan taban izolasyonlu bina için hareket denklemi Denklem (3.25)'te verilmiştir. Burada, kontrol etkisinin parametreleri gereği denklemin lineer olmadığı görülmektedir.

$$M_{iso} \ddot{r} + C_{iso} \dot{r} + K_{iso} r + B_0 f_d = -M_{iso} H \ddot{z} \quad (3.25)$$

$$\ddot{r} = -M_{iso}^{-1} C_{iso} \dot{r} - M_{iso}^{-1} K_{iso} r - M_{iso}^{-1} B_0 f_d - M_{iso}^{-1} M_{iso} H \ddot{z} \quad (3.26)$$

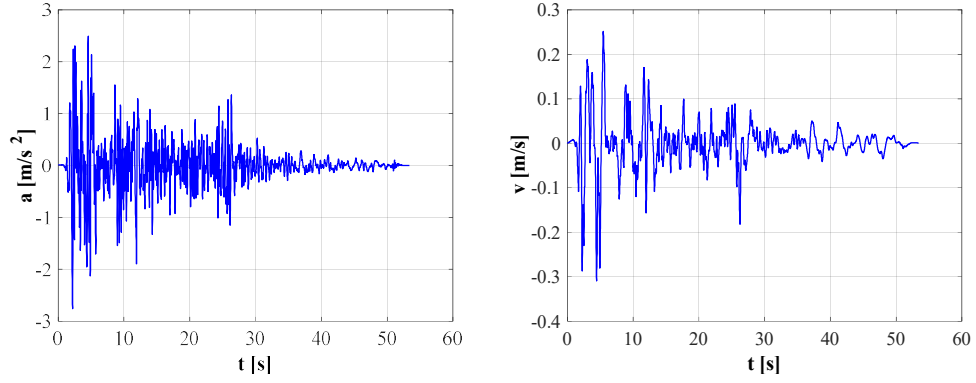
Burada, kontrol kuvveti, f_d (Denklem (3.7)); bu denklemin çözümü için gerekli olan kontrol edilebilir sönüm oranı $c_d(u)$ fonksiyonu ise kontrol sinyali (u) bağlıdır (Denklem (3.6)). B_0 yarı-aktif hidrolik elemanların X, Y ve Z eksenleri etrafındaki dönme (Θ) yönlerindeki yerleşimini gösteren matris; H ise $\ddot{z}$ yer hareketine ait ivmenin X, Y ve Θ yönlerindeki yerleşimini gösteren matristir. Ayrıca, $\ddot{r}$ yapısal ivme, $\dot{r}$ yapısal hız ve r yapısal deplasman matrisleridir.

MATLAB programında, tüm bilinmeyenleri tek hamlede çözebilmek için, Denklem (3.27)'de sunulan kapalı-döngü formunda birinci dereceden diferansiyel denklem kullanılacaktır. Burada, kontrol etkisinin parametreleri gereği denklemin lineer olmadığı görülmektedir. Oluşturulan bu kapalı-döngüdeki denklemi çözebilmek için Dördüncü Dereceden Açık (Explicit) Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır.

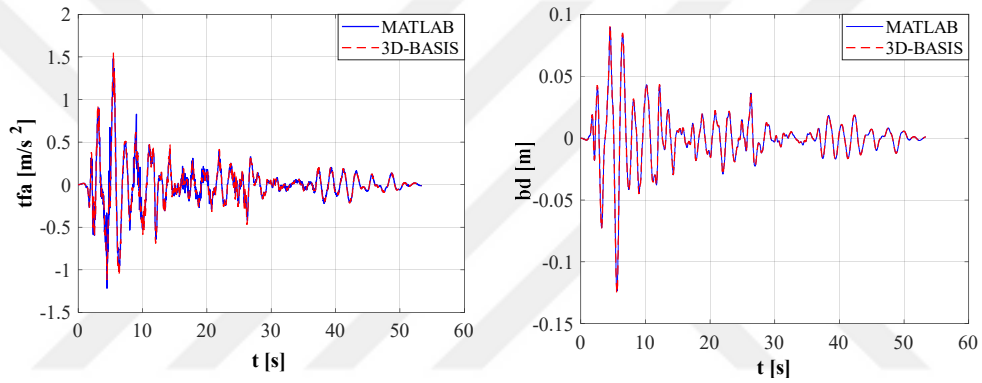
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} r \\ \dot{r} \\ f_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{r} \\ -M_{iso}^{-1} K_{iso} r - M_{iso}^{-1} C_{iso} \dot{r} - M_{iso}^{-1} B_0 f_d - H \ddot{z} \\ -k_d / c_d(u) f_d + k_d \dot{z}_d \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

3DBASIS-SA programı sonuçları, MATLAB'de oluşturulan ve doğrusal izolatörle yarı-aktif cihazların paralel kullanılması durumunun modellenbildiği bu program ile kıyaslanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken bir konu, 3DBASIS-SA programında hareket denkleminin çözümü için Dördüncü Derece Yarı-kapalı (Semi-implicit) Runge-Kutta Yöntemi kullanılması ve alt ve üst yapı ayrı ayrı çözümlenerek birleştirmesidir. Buna karşın, oluşturulan MATLAB kodunda hareket denkleminin çözümü için Dördüncü Dereceden Açık (Explicit) Runge-Kutta yönteminin kullanılması; Denklem(3.27)'de verilen matrisin bir defada entegre olarak çözülmesi ile sonuçların elde edilmesidir. Böylece, program doğrulaması birbirinden farklı nümerik çözüm yöntemine dayanan iki farklı program ile yapılmıştır.

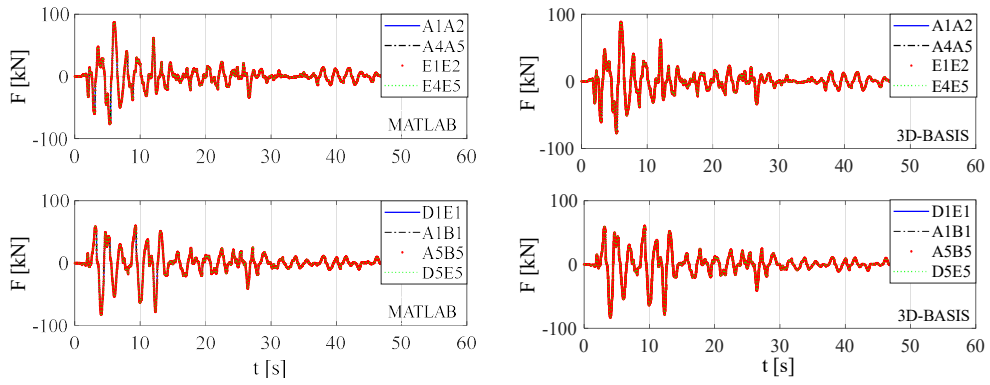
MATLAB ve 3DBASIS-SA programının çıktılarının karşılaştırması için, 3 katlı sismik izolasyonlu yapı, etkin periyodu 2.0 s olacak ve doğrusal izolasyon elemanları ile yarı-aktif cihazlar paralel olacak şekilde modellenmiştir. Şekil 3.7'deki ivme-zaman (a-t) ve hız-zaman kayıtları (v-t) verilen Imperial Valley Depreminin El Centro Array #9 istasyon kaydının etkitilmesi ile iki programdan elde edilen taban deplasmanlarının (bd) ve en üst kat ivmelerinin (tfa) zamana bağlı değişimi Şekil 3.8'de verilmiştir. Ayrıca, yarı-aktif Maxwell hidrolik sönümleyicilere ait kuvvet zaman (F-t) ilişkisine ait karşılaştırma da Şekil 3.9'da verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, birbirinden farklı iki yöntemeye dayanan iki programın sonuçlarının oldukça tutarlı olduğu görülmüştür.



Şekil 3.7: El Centro Array #9 istasyonuna ait ivme-zaman ve hız-zaman kaydı.



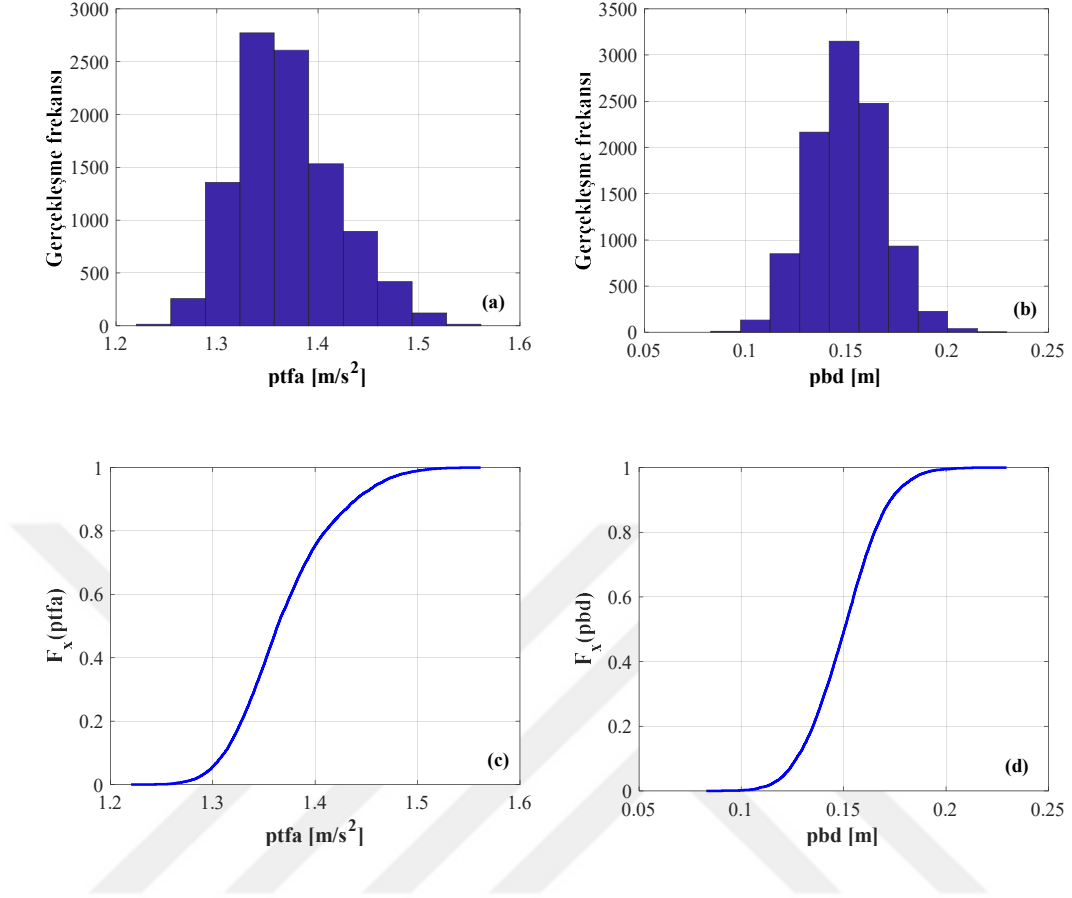
Şekil 3.8: 3 katlı modele ait en üst kat ivmesi ve taban deplasmanı grafiği.



Şekil 3.9: Yarı-aktif Maxwell sönümleyicilere ait kuvvet-zaman grafiği.

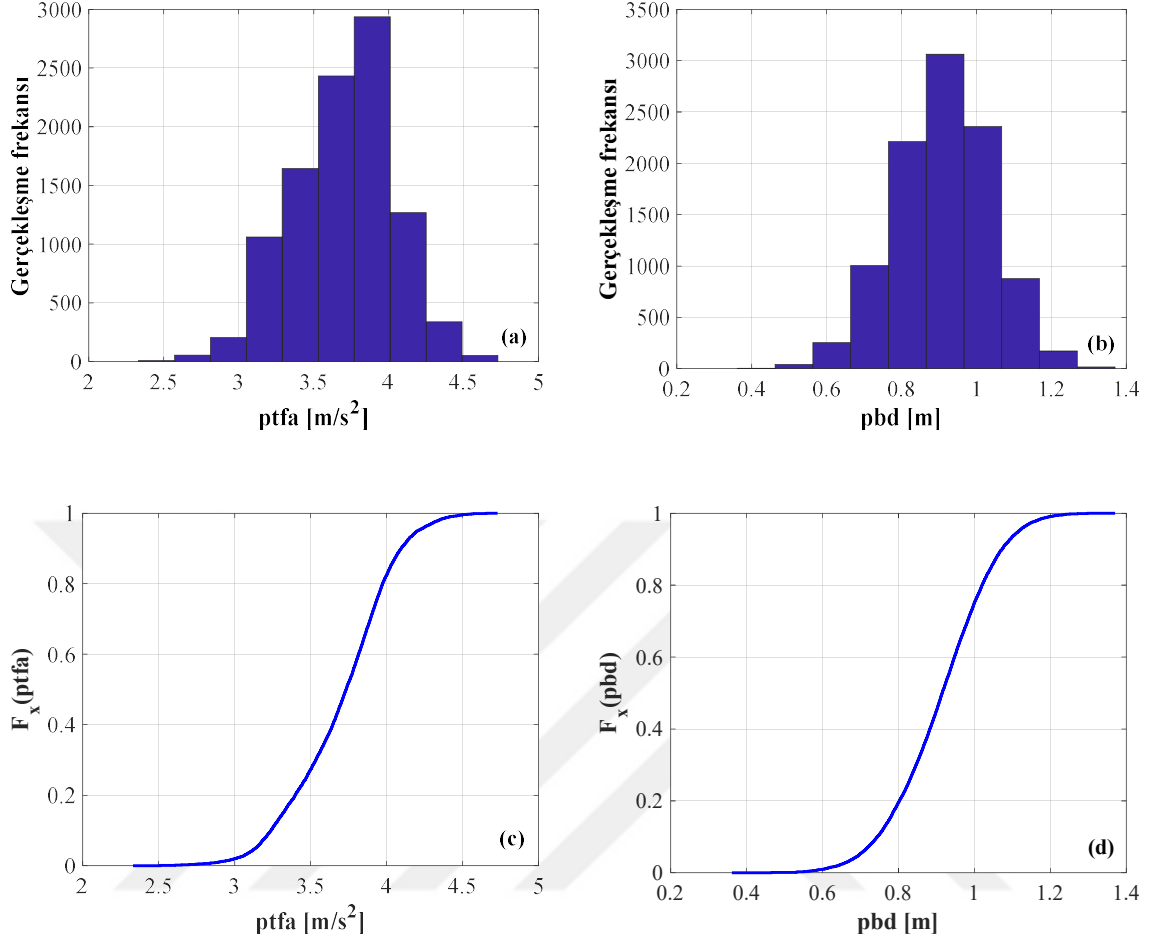
3.4.2. Simülasyon Sayısının Tespiti

Monte Carlo analizleri çok sayıda nümerik simülasyon gerektiren çalışmalar olduğundan yeterli analiz sayısının belirlenmesi, zamanın uygun şekilde kullanılması açısından önemlidir. Dolayısıyla, bu tür çalışmalarda öncelikle yeterli simülasyon sayısı tespit edilir. Bu tez çalışması da nümerik-yoğun bir Monte-Carlo çalışması olduğundan, gerçekleştirilecek olan n_{mcs} adet tekrarlı analiz sayısının doğru şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple, örnek simülasyonlar yapılarak, yeterli analiz sayısı Alhan ve Gavin'de (2005) tarif edildiği gibi belirli bir limit değer için elde edilen başarısızlık olasılığı değerlerinin analiz sayısına göre değişiminin ortaya konması ve başarısızlık olasılığının sabitlendiği minimum simülasyon sayısının tespiti yaklaşımıyla belirlenmiştir. Limit değer olarak önceden belirlenen P. Yüzdelik değerlerin kullanılması farklı başarısızlık oranı seviyeleri için yeterli simülasyon sayısının belirlenmesi açısından pratik bir yöntem olup yeterli simülasyon sayısı bu tez çalışmasında bu şekilde belirlenmiştir. Örnek olarak, varyasyon katsayısı (*c.o.v.*) %10 değeri için nominal deprem büyüklüğü $M_w=6.5$ ve faya olan en yakın mesafenin nominal değeri $r=10$ km için oluşturulan 10,000 rastgele pulsun, nominal değerleri Tablo 3.1'de verilen 3 katlı model için oluşturulan 10,000 rastgele izolasyon sistemine etkilmesi ile 3DBASIS-SA-MC programında tekrarlı analizler gerçekleştirilmiştir. Tekrarlı analizlerin pik en üst kat ivmesi (ptfa) ve pik taban deplasmanı (pbd) sonuçlarına ait histogram ve kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) grafikleri Şekil 3.10'da sunulmuştur. Benzer şekilde nominal deprem büyüklüğü $M_w=7.0$ ve faya olan en yakın mesafenin nominal değeri $r=3$ km için gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarına ait histogram ve kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) grafikleri Şekil 3.11'deki gibidir. Her iki duruma ait kırılganlık eğrileri ise Şekil 3.12'de verilmiştir.



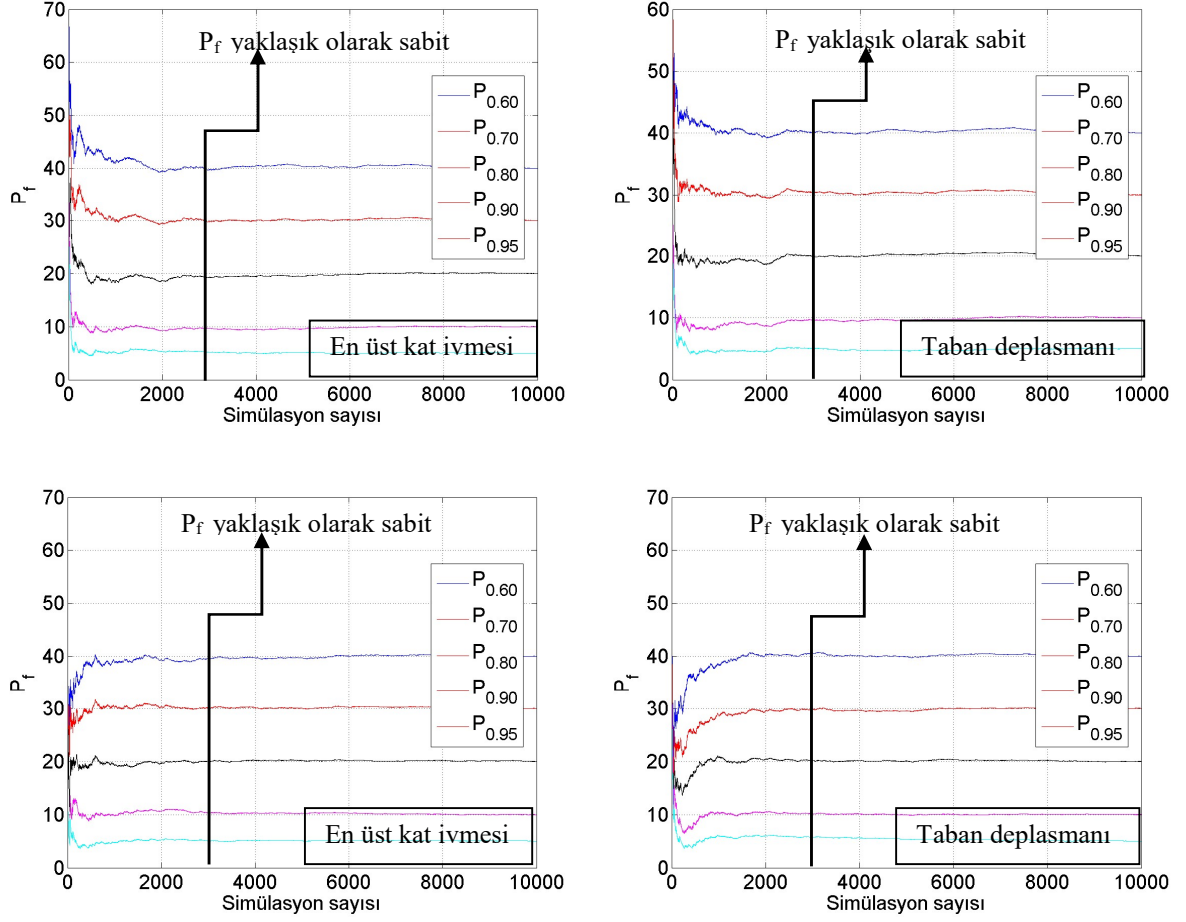
Şekil 3.10: 3 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalar için elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanına ait histogram (a, b) ve CDF (c, d) grafikleri: $M_w=6.5$, $r=10$ km.

CDF grafikleri üzerinden 60. yüzdelik değeri (P^{th} percentile value), $P_{0.60}$, 70. yüzdelik değeri, $P_{0.70}$, 80. yüzdelik değeri, $P_{0.80}$, 90. yüzdelik değeri, $P_{0.90}$, ve 95. yüzdelik değeri, $P_{0.95}$, okunmuştur. Örneğin, $M_w=6.5$, $r=10$ km nominal değerleri gerçekleştirilen simülasyonlar için taban deplasmanının 60. yüzdelik değeri, X yönünde elde edilen 10,000 adet taban deplasmanı değerinin %60'nın (6,000 adet) $P_{0.60}= 0.1548$ m değerinden daha düşük değerler aldığını, %40'ının ise (4,000 adet) söz konusu değerden daha büyük değerler aldığını göstermektedir.



Şekil 3.11: 3 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalar için elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanına ait histogram (a, b) ve CDF (c, d) grafikleri: $M_w=7.0$, $r=3$ km.

Her iki yapısal parametre için elde edilen P. yüzdelik değerler, limit değerler kabul edilerek, yapılan güvenilirlik analizlerine ait grafikler Şekil 3.12'deki gibi elde edilmiştir. Dikkate alınan limit değerler altında elde edilen her iki yapısal cevap parametresine ait başarısızlık olasılıkları değerlerinde (P_f), 3,000 simülasyona kadar bazı farklılıklar gözlemlenirken; daha fazla simülasyon sayısı için neredeyse sabitlendiği ve olması gereken başarısızlık oranlarının doğru olarak hesaplandığı görülmektedir. Analiz sürelerinin de dikkate alınması sebebiyle, 3,000 simülasyon sayısının yeterli olacağı kanaatine varılmıştır.



Şekil 3.12: Gerçekleştirilen simülasyonlardan elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanı için başarısızlık olasılıklarının değişimi: $M_w=6.5$, $r=10$ km (a, b) ve $M_w=7.0$, $r=3$ km (c,d).

3.5. DEPREM KAYITLARI

3.5.1. Tarihi Depremler

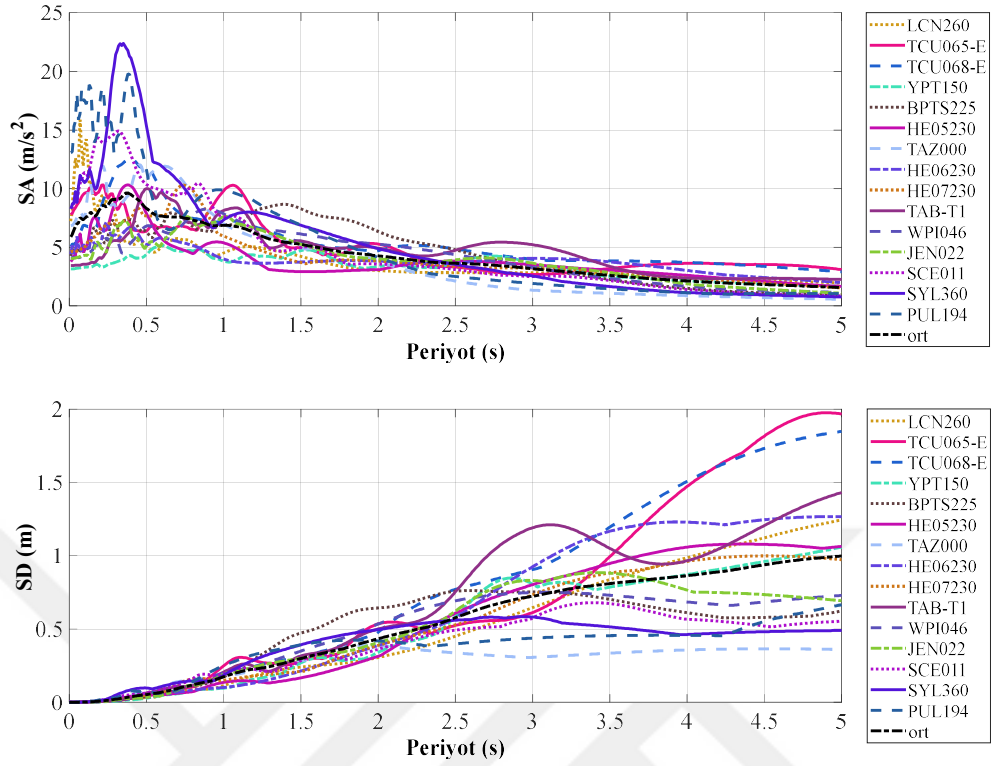
Tez kapsamında kullanılan fay hattına olan mesafeleri $r=0$ ile $r=6$ km arasında olan 15 adet deprem kaydı ile fay hattına olan mesafeleri $r=6$ ile $r=10$ km arasında olan 15 adet deprem kaydı Tablo 3.3'te listelenmiştir. Kullanılan kayıtlara ait detaylar ise Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te sunulmuştur. Çalışmada kullanılan tarihi deprem kayıtlarının büyük kısmı Alhan ve Sürmeli (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan alınmış olup; PEER data bankasında (Berkeley, 2015) yapılan tarama ile elde edilmiştir. $r=0$ ile $r=6$ km arasındaki fay mesafelerinde kaydedilen depremlere ait ivme (SA) ve deplasman (SD) spektrumları Şekil 3.13'te; $r=6$ ile $r=10$ km

arasındaki fay mesafelerinde kaydedilenler için ise Şekil 3.14’te verilmiştir. Ayrıca, depremlere ait ivme ve deplasman spektrumlarının ortalama değerleri de grafiklerde sunulmuştur.

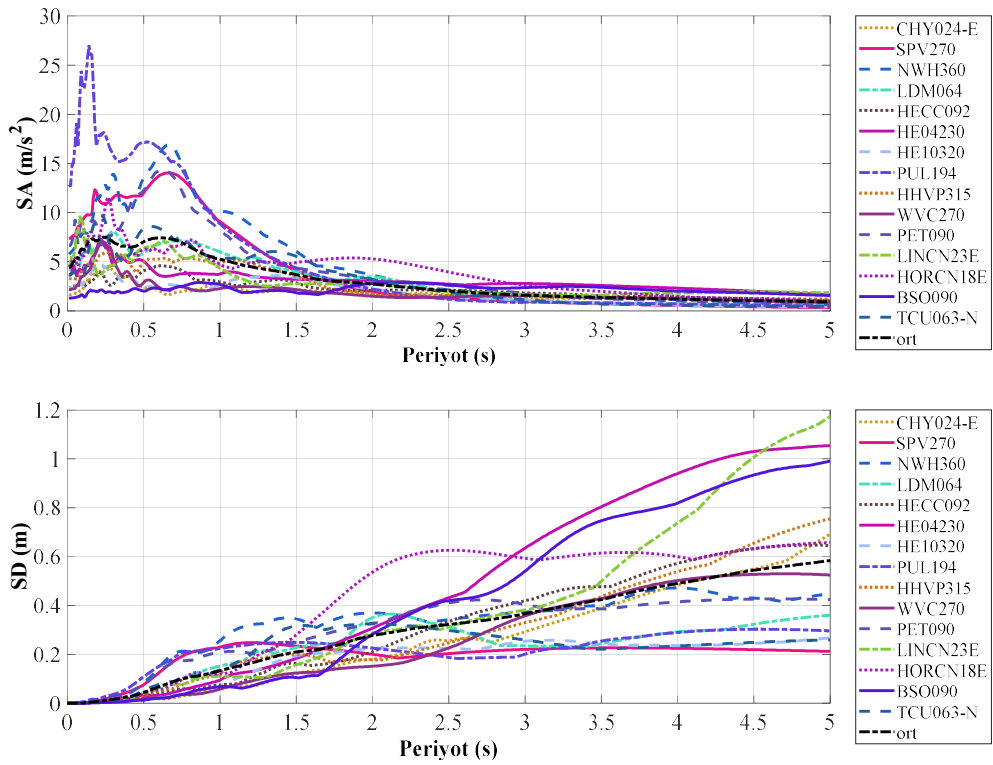
Analiz aşamasına geçildiğinde, yer hareketlerinin hız ve ivme kayıtları kullanılarak yarı-aktif izolasyonlu binaların X ve Y doğrultusundaki zaman–tanım analizleri yapılmış ve daha yüksek taban deplasmanı değerine sebep olan deprem kaydı bileşeni belirlenmiş olup bu bileşenler Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’te koyu olarak gösterilmiştir. Ardından, bu bileşenler inceleme konusu binalara X doğrultusunda, diğer bileşenler ise Y doğrultusunda etkitilerek iki doğrultulu zaman–tanım analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ise sadece X doğrultusu için verilerek irdelenmiştir.

Tablo 3.3: Fay mesafelerinde kayıt edilen ve analizlerde kullanılan tarihi yer hareketleri.

r=0 ile r=6 km						r=6 km ile r=10 km					
Kısaltma	Deprem	Tarih	M _w	r (km)	T _p (s)	Kısaltma	Deprem	Tarih	M _w	r (km)	T _p (s)
TCU065	Chi-Chi Taiwan	1999	7.6	0.6	5.7	CHY024	Chi-Chi Taiwan	1999	7.6	9.6	6.7
TCU068	Chi-Chi Taiwan	1999	7.6	0.3	12.3	SPV	Northridge	1994	6.7	8.4	0.9
YPT	Kocaeli	1999	7.5	4.8	4.9	NWH	Northridge	1994	6.7	5.9	1.4
BPTS	Superstition Hills-02	1987	6.5	1	2.4	LDM	Northridge	1994	6.7	5.9	1.6
HE05	Imperial Valley	1979	6.5	4	4.1	HECC	Imperial Valley	1979	6.5	7.3	4.4
TAZ	Kobe	1995	6.9	0.3	1.8	HE04	Imperial Valley	1979	6.5	7.1	4.8
HE06	Imperial Valley	1979	6.5	1.4	3.7	HE10	Imperial Valley	1979	6.5	8.6	4.5
HE07	Imperial Valley	1979	6.5	0.6	4.4	PUL	Northridge	1994	6.7	7	0.8
LCN	Landers	1992	7.3	2.2	5.1	WVC	Loma Prieta	1989	6.9	9.3	5.6
TAB	Tabas	1978	7.4	2.1	6.2	HHVP	Imperial Valley	1979	6.5	7.5	4.8
WPI	Northridge	1994	6.7	5.5	3	PET	Cape Mendocino	1992	7	8.2	3
JEN	Northridge	1994	6.7	5.4	3.2	LINC	Darfield	2010	7	7.1	7.4
SCE	Northridge	1994	6.7	5.2	3.5	HORC	Darfield	2010	7	7.3	9.9
SYL	Northridge	1994	6.7	5.3	2.4	GRO	Montenegro	1979	7.1	7	1.4
SFERN	San Fernando	1971	6.6	1.8	1.6	TCU063	Chi-Chi Taiwan	1999	7.6	9.8	6.6



Şekil 3.13: $r=0$ ile $r=6$ km arasındaki fay mesafelerinde kayıt edilen tarihi yer hareketlerine ait ivme (SA) ve deplasman (SD) spektrumları.



Şekil 3.14: $r=6$ ile $r=10$ km arasındaki fay mesafelerinde kayıt edilen tarihi yer hareketlerine ait ivme (SA) ve deplasman (SD) spektrumları.

Tablo 3.4: $r=0$ ile $r=6$ km arasındaki fay mesafelerinde kayıt edilen ve analizlerde kullanılan tarihi yer hareketlerine ait bilgiler.

Kısaltma	Deprem	İstasyon	Deprem Bileşeni	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
TCU065	Chi-Chi Taiwan	TCU065	TCU065-E	0.8	92.1	108.7
			TCU065-N	0.6	125.3	50.2
TCU068	Chi-Chi Taiwan	TCU068	TCU068-E	0.5	249.5	297
			TCU068-N	0.4	264	421.5
YPT	Kocaeli	Yarımca	YPT150	0.3	71.9	47.3
			YPT060	0.2	69.7	62.3
BPTS	Superstition Hills-02	Parachute Test Site	B-PTS225	0.4	134.2	46.1
			B-PTS315	0.4	53	17.8
HE05	Imperial Valley	El Centro Array #05	H-E05230	0.4	96.9	75.2
			H-E05140	0.5	48.9	48.9
TAZ	Kobe	Takarazuka	TAZ000	0.7	68.4	26.7
			TAZ090	0.6	86.2	20.8
HE06	Imperial Valley	El Centro Array #06	H-E06230	0.4	113.5	72.9
			H-E06140	0.4	67	27.9
HE07	Imperial Valley	El Centro Array #07	H-E07230	0.5	113.1	46.9
			H-E07140	0.3	51.7	28
LCN	Landers	Lucerne	LCN260	0.7	133.3	113.9
			LCN345	0.8	28.1	25.5
TAB	Tabas	Tabas	TAB-T1	0.9	123.3	93.6
			TAB-L1	0.9	98.8	37.5
WPI	Northridge	Newhall - W. Pico Canyon Rd.	WPI046	0.4	118.1	42.5
			WPI316	0.4	59.2	16
JEN	Northridge	Jensen Filter Plant	JEN022	0.4	111.4	44.6
			JEN292	0.6	97.3	23.4
SCE	Northridge	Sylmar - Converter Sta East	SCE011	0.9	120.9	34
			SCE281	0.4	60.4	18.8
SYL	Northridge	Sylmar - Olive View Med FF	SYL360	0.8	129.3	32.1
			SYL090	0.6	77.5	16
SFERN	San Fernando	Pacoima Dam (upper left abut)	PUL194	1.2	114.4	39
			PUL254	1.2	57.2	12.8

Tablo 3.5: $r=6$ ile $r=10$ km arasındaki fay mesafelerinde kayıt edilen ve analizlerde kullanılan tarihi yer hareketlerine ait bilgiler.

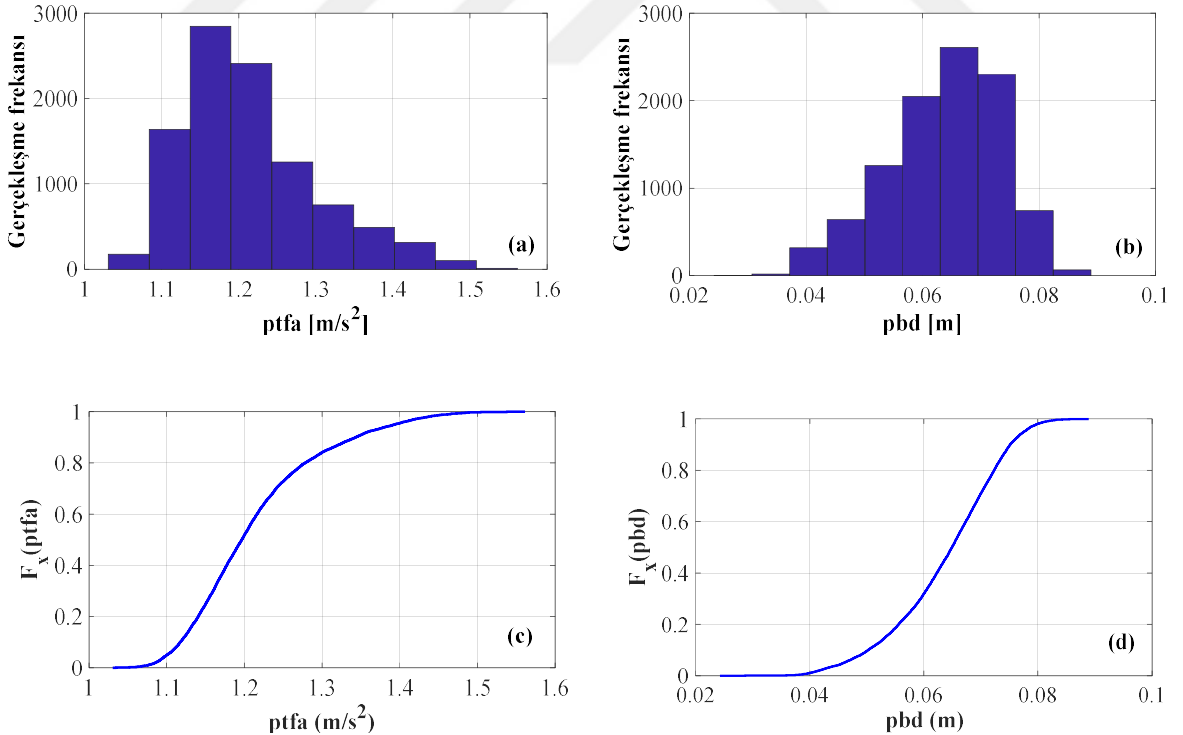
Kısaltma	Deprem	İstasyon	Deprem Bileşeni	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
CHY024	Chi-Chi Taiwan	CHY024	CHY024-E	0.28	51.11	53.73
			CHY024-N	0.17	43.5	29.81
SPV	Northridge	LA-Sepulveda VA Hospital	SPV270	0.75	77.63	11.84
			SPV360	0.93	76.23	17.66
NWH	Northridge	Newhall - Fire Sta	NWH360	0.59	96.54	34.32
			NWH090	0.58	74.86	17.54
LDM	Northridge	LA Dam	LDM064	0.43	74.8	19.05
			LDM334	0.32	47.35	24.56
HECC	Imperial Valley	EC County Center FF	H-ECC092	0.24	73.35	47.98
			H-ECC002	0.21	38.42	16.98
HE04	Imperial Valley	El Centro Array #4	H-E04230	0.37	80.37	74.23
			H-E04140	0.48	39.62	25.12
HE10	Imperial Valley	El Centro Array #10	H-E10320	0.17	50.66	35.38
			H-E10050	0.23	46.35	28.77
PUL	Northridge	Pacoima Dam (upper left)	PUL194	1.29	103.33	22.17
			PUL104	1.58	54.85	5.51
WVC	Loma Prieta	Saratoga - W Valley Coll.	WVC270	0.26	42.04	24.26
			WVC000	0.33	64.88	37.83
HHVP	Imperial Valley	Holtville Post Office	H-HVP315	0.22	51.43	35.81
			H-HVP225	0.26	53.11	39.13
PET	Cape Mendocino	Petrolia	PET090	0.66	88.47	33.2
			PET000	0.59	49.3	16.59
LINC	Darfield, New Zeland	LINC	LINC23E	0.46	108.69	66.65
			LINC67E	0.39	56.88	33.81
HORC	Darfield, New Zeland	HORC	HORCN18E	0.45	105.87	52.93
			HORCN72E	0.48	69.82	29.67
GRO	Montenegro, Yugoslavia	GRO	BSO090	0.37	52.79	15.97
			BSO000	0.37	41.22	10.4
TCU063	Chi-Chi Taiwan	TCU063	TCU063-N	0.13	82.79	52.66
			TCU063-E	0.18	43.96	43.66

3.5.2. Sentetik Deprem Parametreleri için M_w ve r Değerlerinin Belirlenmesi

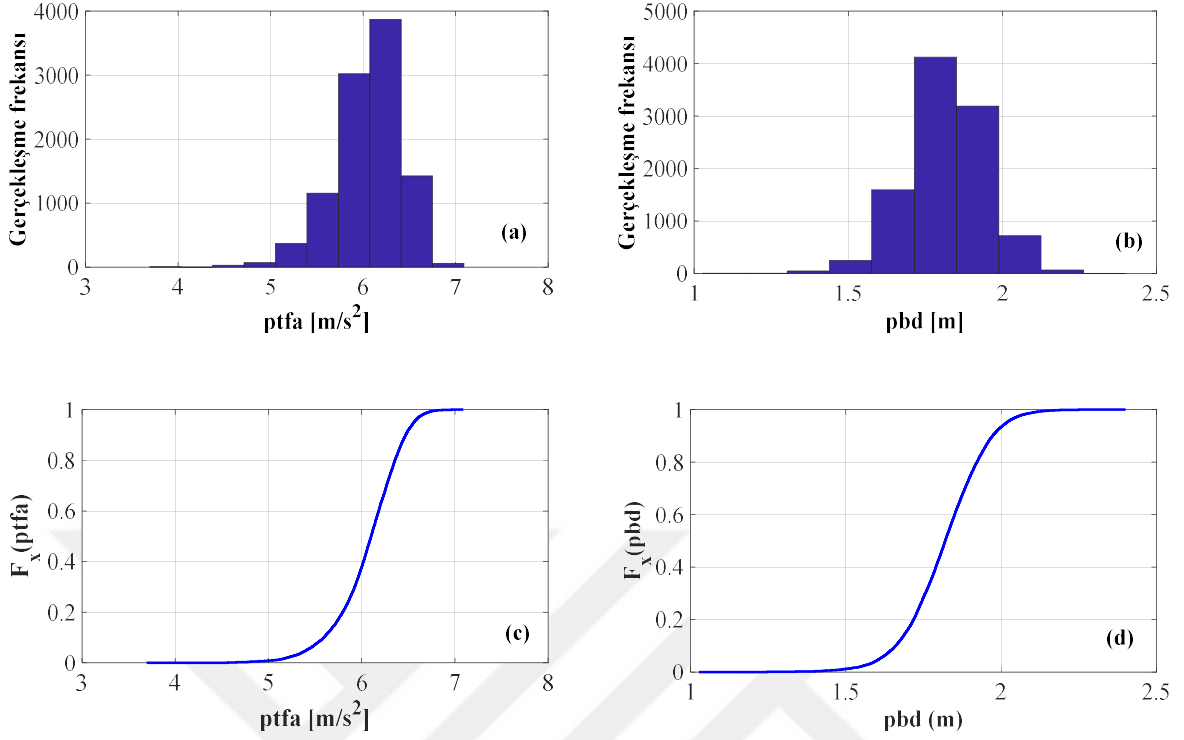
Bu çalışma kapsamında kullanılacak olan Agrawal ve He (2002) puls modelinin parametrelerinin (T_p , v_p , ζ_p) nominal değerleri deprem büyüklüğüne (M_w) ve faya olan en yakın mesafeye (r) bağlı olup öncelikle bunlara ait değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Sentetik modele ait rastgele parametreler ise belirlenen nominal değerlere göre üretilip, ardından her bir parametre için belirlenen dağılım türüne (normal ve Weibull) göre dağıtılmıştır (Bkz. Bölüm

3.2.3). Bu bölümde, M_w ve r nominal değerlerinin hangi aralıkta seçileceği ile ilgili değerlendirme yapılmıştır.

Söz konusu parametreler için olası uç değerler $M_w=6.0$, $r=10$ km ve $M_w=7.5$, $r=3$ km seçilmiş ve bu değerler için deprem kayıtları oluşturulup bu depremiller altında tekrarlı analizler gerçekleştirilmiştir. $M_w=6.0$, $r=10$ km depremi için 3 katlı binalara ait analiz sonuçlarından elde edilen en üst kat ivmesine ve taban deplasmanlarına ait histogram ve CDF grafikleri Şekil 3.15'te; $M_w=7.5$, $r=3$ km depremi için ise Şekil 3.16'da sunulmuştur. Şekil 3.15'e bakıldığında, en üst kat ivmesi ve taban deplasmanı taleplerinin oldukça düşük değerlerde kaldığı; Şekil 3.16'ya bakıldığında ise söz konusu yapısal tepki parametrelerine ait taleplerin makul değerlerin üstüne çıktığı görülmektedir. Bu sebeple, tez çalışması kapsamında faya olan en yakın mesafeler (r) için alınacak değerlerin sırasıyla 3, 6 ve 9 km; deprem büyüklüğü (M_w) için seçilecek nominal değerlerin ise 6.5, 6.75, 7.0 ve 7.25 olmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bunlara bağlı olarak elde edilen nominal T_p , v_p , ζ_p değerleri bir sonraki bölümde (Bölüm 3.5.3) ele alınmıştır.



Şekil 3.15: 3 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalar için elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanına ait histogram (a, b) ve CDF (c, d) grafikleri: $M_w=6.0$, $r=10$ km ($T_p=1.12$ s, $v_p=31.62$, $\zeta_p=0.20$).



Şekil 3.16: 3 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalar için elde edilen en üst kat ivmesi ve taban deplasmanına ait histogram (a, b) ve CDF (c, d) grafikleri: $M_w=7.5$, $r=3$ km ($T_p=4.87$ s, $v_p=324.66$, $\zeta_p=0.20$) .

3.5.3. Sentetik Depremlere Ait Rastgele Değişkenler, Nominal Değerleri ve Olasılıksal Dağılım Fonksiyonları

Bir sorunun birden fazla olası sonucu varsa, olasılıksallık tartışılabilir. Sorunun belirsizlik parametrelerinin belirlenmesi, olası değişkenliğin etkisinin hesaba katıldığı ilk aşamadır. Bu bağlamda, bu çalışmada yarı aktif izolasyon sistemi parametrelerindeki belirsizliklere ek olarak sentetik deprem parametrelerindeki belirsizlikler dikkate alınmıştır. Buna göre, sentetik deprem parametreleri olan deprem sönüm oranı (ζ_p), puls periyodu (T_p) ve puls hızı (v_p) rastgele değişkenler olarak kabul edilir. Puls periyodunun (T_p) ve maksimum darbe hızının (v_p) olasılık dağılımlarını tanımlamak için Weibull dağılım seçilmiştir (Alhan ve Gavin, 2005). Bölüm 3'te belirtildiği gibi, fay hatlarının yakınında oluşan depremler, deprem moment büyüklüğü (M_w) ve faya olan en yakın mesafe (r) gibi deterministik parametreler dikkate alınarak üretilebilir. Bu tez kapsamında, başarısızlık olasılıklarının ve olasılıksal sismik performansın söz konusu deterministik parametrelere göre nasıl değiştiği incelenmiştir. Tablo 3.6'da gösterildiği gibi, deprem moment büyüklüğünün (M_w) ve fay hattına olan en yakın mesafenin (r) deterministik değerlerine karşılık gelen deprem sönüm oranı (ζ_p), puls periyodu (T_p) ve puls hızı (v_p)

parametrelerinin nominal değerleri Denklem (2.8) ve (2.9) ile hesaplanır. Rastgele bir değişkenin olasılık dağılımı, olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) ile tanımlanabilir. Deprem sönüm oranı (ζ_p), puls periyodu (T_p) ve puls hızına (v_p) ait olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) grafikleri MATLAB vasıtasıyla oluşturulmuş ve Şekil 3.17(d)'de, deprem sönüm oranının (ζ_p) %10, %15 ve %20 kovaryans değerleri için ne şekilde dağıldığını ve fiziksel olarak gerçekçi değerlerini elde etmek için %15'in diğer kovaryans değerlerine göre nasıl daha uygun olduğu gözlemlenebilir. Kayıtlı yakın-fay depremlerinin %50'si ileri-geri hız pulsı içerdiğinden (Dicleli ve Buddaram, 2007), deprem sönüm oranının (ζ_p) nominal değeri 0.2 olarak alınmış ve %15 kovaryans değeri için normal dağılım uygulanmıştır. Ayrıca, sentetik deprem modeline ait rastgele değişkenlerin olasılık dağılımı bilgisi Tablo 3.7'de sunulmuştur.

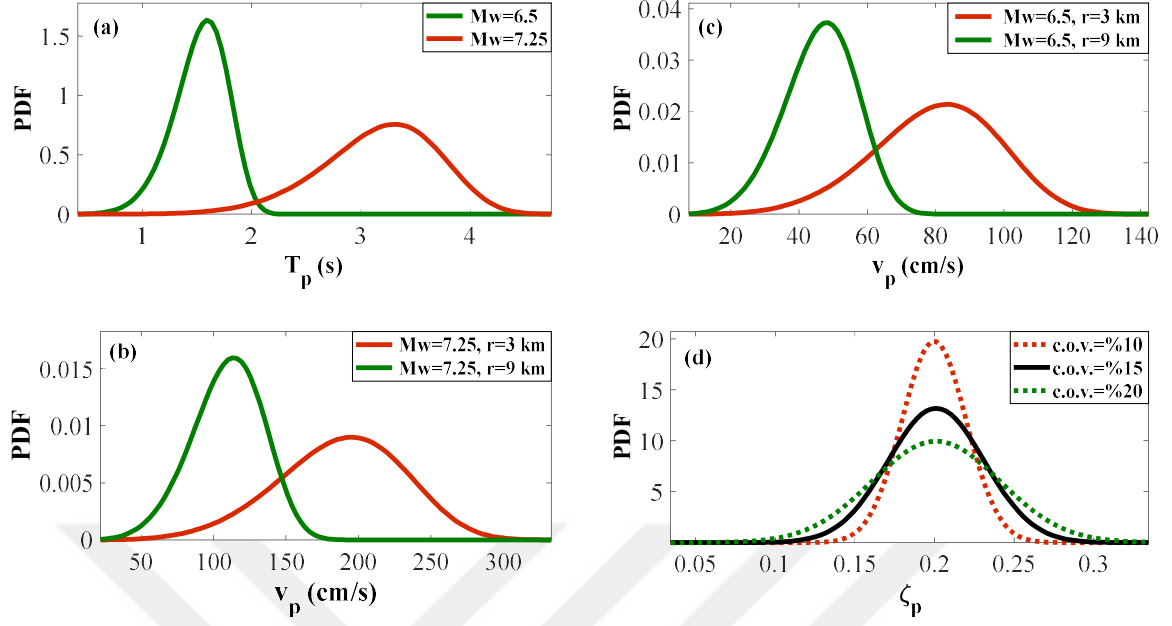
Tablo 3.6: Farklı deprem moment büyüklükleri ve faya olan mesafeler için elde edilen yakın-fay deprem parametrelerinin nominal değerleri.

r (km)	M_w	T_p (s)	v_p (cm/s)	ζ_p (%)	r (km)	M_w	T_p (s)	v_p (cm/s)	ζ_p (%)	r (km)	M_w	T_p (s)	v_p (cm/s)	ζ_p (%)
3	6.5	1.83	102.67	20	6	6.5	1.83	75.6	20	9	6.5	1.83	59.28	20
	6.75	2.33	136.91	20		6.75	2.33	96.81	20		6.75	2.33	79.05	20
	7.0	2.99	182.57	20		7.0	2.99	129.1	20		7.0	2.99	105.41	20
	7.25	3.81	243.47	20		7.25	3.81	172.16	20		7.25	3.81	140.57	20

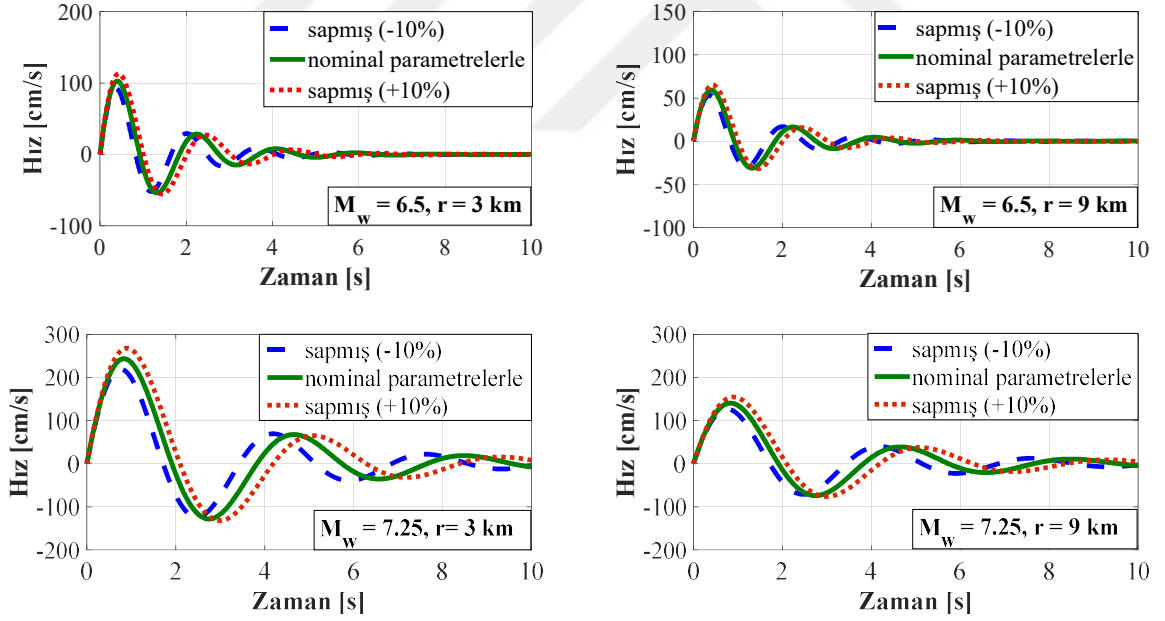
Tablo 3.7: Sentetik deprem modeline ait rastgele değişkenlerin olasılık dağılımı bilgisi.

Rastgele değişken	Dağılım türü	c.o.v./k _s
ζ_p	normal	15%
T_p	Weibull	7
v_p	Weibull	5

Monte-Carlo simülasyonlarında kullanılan farklı deprem moment büyüklükleri (M_w) ve faya olan en yakın mesafeler (r) için üretilen rastgele sentetik depremler için örnek olarak oluşturulan hız-zaman grafikleri Şekil 3.18'de sunulmaktadır. Her bir grafikte, deprem sönüm oranı (ζ_p), puls periyodu (T_p) ve puls hızının (v_p) nominal değerleri (Tablo 3.6) ile belirlenen nominal duruma karşılık gelen durumu ve söz konusu her bir parametrenin nominal değerinden $\pm\%10$ sapma değerine karşılık gelen durumları sergilenmiştir.



Şekil 3.17: Sentetik deprem parametrelerine ait rastgele değişkenlerin olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) grafikleri.



Şekil 3.18: Farklı deprem moment büyüklükleri ve faya olan en yakın mesafeler için örnek hız-zaman grafikleri (Nominal parametreler için Bkz. Tablo 3.6).

4. BULGULAR

3 katlı ve 9 katlı yarı-aktif sismik izolasyonlu binaların Monte-Carlo simülasyonları, ilk olarak tarihi yakın-fay depremleri altında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, farklı karakteristiklere sahip puls içeren 30 adet yakın-fay depremi altında (Bkz. Bölüm 3.5.1), $n_{mcs}=3,000$ simülasyon sayısı için toplam olarak 180,000 doğrusal olmayan zaman-tanım alanı analizleri gerçekleştirilmiştir. Ancak, kısıtlı sayıdaki tarihi deprem kayıtları fay hattına en yakın mesafe ve deprem büyüklüğü gibi parametreler açısından sistematik olarak yeterli detayda gruplandırılmadığından, fay hattına olan en yakın mesafelerin ve deprem büyüklüklerinin düzenli olarak artırılabilirdiği, sentetik deprem kayıtları üretilmiştir (Bkz. Bölüm 3.5.2 ve 3.5.3). Ardından, 3 katlı ve 9 katlı yarı-aktif sismik izolasyonlu binaların Monte-Carlo simülasyonları, $n_{mcs}=3,000$ simülasyon sayısı için toplam olarak 72,000 doğrusal olmayan zaman-tanım alanı analizleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde analizlerden elde edilen sonuçlar, başarısızlık olasılıkları ve güvenilirlik grafikleri olarak sunulmuş ve bulgular değerlendirilmiştir.

4.1. LİMİT DEĞERLERİN BELİRLENMESİ VE PERFORMANS TESTLERİNİN TANIMLANMASI

Yarı-aktif kontrol cihazları ile donatılmış sismik olarak izole edilmiş binaların başarısızlık olasılıklarını saptamak için, öncelikle sınır durum fonksiyonları yani performans limitleri tanımlanmalıdır. Bu çalışmada, üç sismik cevap parametresi göz önüne alınmıştır: titreşime duyarlı ekipmanların güvenliği ile doğrudan ilişkili olabilen pik kat ivmeleri (Alhan ve Şahin, 2011), yapısal olan ve yapısal olmayan elemanların (bölme duvarları, pencereler, vb.) güvenliği ile doğrudan ilişkili olabilen pik görelî kat ötelemesi oranları (Karavasilis ve Seo, 2011) ve izolasyon sisteminin güvenliği ve dolayısıyla üstyapının bütünlüğü ve güvenliği ile doğrudan ilişkili olan pik taban deplasmanları (Jangid, 2007). Farklı performans hedefleri için pik kat ivmeleri ve pik taban deplasmanları için pratik limitler, daha önce Öncü (2011) tarafından yapılan çalışmada tarif edilmiş olup bu tez çalışmasında söz konusu limitler adapte edilmiştir. Ayrıca, sismik izolasyonlu bir binanın sismik kırılganlığının incelendiği bir çalışmada (Tajammolian ve diğ., 2018) HAZUS-2003'e (FEMA-NIBS, 2003) göre dört farklı hasar durumunu temsil eden limit pik kat ivmeleri ve limit pik görelî kat ötelemeleri tarif edilmiştir. Söz konusu limit değerler, bu tez çalışması kapsamında kullanılacak değerlerle uyumludur.

Öncü (2011)'in çalışmasında da ortaya konduğu üzere, yüksek kat ivmelerinin önemli binalarda bulunan ivmeye duyarlı içeriğe zarar verme potansiyeli vardır. Ayrıca, üst yapıya uygulanan sismik tasarım kuvvetleri açısından da önem arz etmektedir (Ferrito, 1984). Yönetmeliklerde açıkça belirtilmese de ivmeye oldukça duyarlı olan tıbbi, finansal, vb. aktivitelerin devam edebilmesi için 3 m/s^2 ivme limitinin aşılmaması gereklidir (Mizuno ve diğ., 1986). Öte yandan, hassas içeriğin korunması açısından tolere edilebilir ivme sınırları içeriğe, işletim durumuna ve çalışma koşullarına göre değişir. Tajammolian ve diğ. (2018)'in gerçekleştirdikleri çalışmada az katlı (3 kata kadar) ve orta katlı (8 kata kadar) binalarda ivme sınırları az hasar, orta hasar, ağır hasar ve göçme durumları için sırasıyla yaklaşık olarak 4.5 m/s^2 , 9 m/s^2 , 18 m/s^2 ve 36 m/s^2 'dir. Buna ek olarak, Worksafe (2011) tarafından sunulan verilerde, deprem sırasında ve sonrasında disk sürücülerinin aktif olarak kullanılabilmesi için maksimum yatay ivmelerin 2.5 m/s^2 ile 10 m/s^2 arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu doğrultuda, tez kapsamındaki ivme performans limitleri, en zorlayıcı, ılımlı ve az zorlayıcı durumları temsilen sırasıyla $La_1 = 3 \text{ m/s}^2$, $La_2 = 5 \text{ m/s}^2$ ve $La_3 = 10 \text{ m/s}^2$ olarak seçilmiştir.

Pik taban deplasmanları söz konusu olduğunda, kauçuk izolatörlerin (doğal, yüksek sönümlü ve kurşun kauçuk izolatörler) maksimum tasarım deplasmanlarının Japonya'da tipik olarak 40-55 cm aralığında; ayrıca, bunların en büyük deplasmanlarının da tipik olarak 55-80 cm aralığında değiştiği bilinmektedir. Büyük çaplı izolatörler (130-150 cm) kullanılarak ve malzeme özelliklerine bağlı olarak, 80 cm'yi de aşabilen izolatörlerin kullanıldığı bilinmektedir. Bununla birlikte, bugünkü teknoloji ile bile fiziksel olarak erişilebilir izolatör deplasmanları 100 cm'nin (Pan ve diğ., 2005) altındadır. Dahası, ekonomik açıdan, izolatörlerin ve bırakılacak sismik boşluğun boyutunu sınırlamak için taban deplasmanlarını daha küçük seviyelerde sınırlamak tercih edilebilir. Sonuç olarak, bu çalışmada, pik taban deplasmanları için belirlenen performans limitleri $Ld_1 = 40 \text{ cm}$, $Ld_2 = 70 \text{ cm}$ ve $Ld_3 = 100 \text{ cm}$ şeklindedir. Burada, Ld_1 yakın-fay depremlerde ekonomik tasarım için belirlenen limiti ve Ld_3 ise tipik kauçuk-tabanlı izolatörlerin fiziksel olarak ulaşılabilir maksimum kapasitesi için belirlenen limiti temsil etmektedir.

Pik göreceli kat ötelemesi oranı, yapısal olan ve yapısal olmayan elemanların güvenliği ile ilgili gösterge niteliğinde bir cevap parametresidir. Bu sismik cevap parametresi için belirtilen yönetmelik sınırları vardır. ASCE 7-10 (2010), sismik olarak izole edilmiş bir binanın pik göreceli kat ötelemesi oranının 0.02 'yi aşmaması gerektiğini belirtmektedir. Ancak, izolasyon

sisteminin ikincil etkileri göz ardı edildiğinde, bu limit uygulamada tipik olarak tercih edilen 0.01 değerine düşürülür. Yapılan bir çalışmaya göre, 0.01 limiti üst yapının plastik davranışına denk gelen sınırı; 0.005 limiti üst yapının elastik davranışına karşılık gelen sınırı temsil etmektedir (Pan ve diğ., 2005). Ayrıca, 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girecek olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinin 14.14.5.1 maddesinde, üst yapıdaki görelî kat ötelemesi oranları, kesintisiz kullanım performans seviyesi için 0.005, sınırlı hasar performans seviyesi için 0.01, kontrollü hasar performans seviyesi için ise 0.015 değerini aşmaması gerektiği belirtilmiştir. Yapısal olmayan gevrek elemanların hasar almaması için ise 0.0025 limiti en zorlayıcı sınır olarak düşünülebilir. Ayrıca, sismik izolasyonlu bir binanın sismik kırılğanlığını değerlendirebilmek için Tajammolian ve diğ. (2018) HAZUS-2003'ün pik görelî kat ötelemesi oranı limitlerini dikkate almıştır. Bu limitler az hasar, orta hasar, ağır hasar ve göçme durumları için sırasıyla 0.002, 0.004, 0.01 ve 0.027'dir. Bu tez kapsamında belirlenen görelî kat ötelemesi oranı performans sınırları $L_{dr1} = 0.0025$, $L_{dr2} = 0.005$ ve $L_{dr3} = 0.01$ olup, Tajammolian ve diğ. (2018), Pan ve diğ. (2005) ve ASCE 7-10 (2010)'da belirtilen limitler ile uyumludur.

Yarı-aktif sismik izolasyon sistemine sahip binaların güvenilir olduğundan bahsedilebilmesi için, yapısal bütünlüğü, yapısal olan ve yapısal olmayan elemanları ve titreşime duyarlı cihazları korumayabilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, bu binaların tüm sismik cevap parametreleri için tanımlanan tüm performans limitlerinin aynı anda karşılanması ihtiyacı ortaya çıkar. Her bir sismik cevap parametresi için tanımlanan üç farklı performans limitinin farklı hedef durumlarını temsil eden testler, bu limitlerin birbirleri ile oluşturulan kombinasyonları vasıtasıyla oluşturulmuştur. Tablo 4.1, pik kat ivmeleri (L_{a1} , L_{a2} ve L_{a3}), pik görelî kat ötelemesi oranları (L_{dr1} , L_{dr2} ve L_{dr3}) ve pik taban deplasmanları (L_{d1} , L_{d2} ve L_{d3}) performans limitlerinin kombinasyonlarını içeren dokuz farklı performans testini listelemektedir. Testler üçlü olarak gruplandırılmıştır. Grup 1'de (Test 1, 2 ve 3) en zorlayıcı kat ivmesi limiti (3 m/s^2), Grup 2'de (Testler 4, 5 ve 6) ılımlı kat ivmesi limiti (5 m/s^2) ve Grup 3'te (Testler 7, 8 ve 9) en az zorlayıcı olan kat ivmesi limiti (10 m/s^2) yer almaktadır. Her bir gruptaki testler daha sonra pik taban deplasmanı performans sınırları (40, 70 ve 100 cm) ve pik görelî kat ötelemesi oranı performans sınırları (0.0025, 0.005 ve 0.01) açısından azalan zorluk derecesine göre sıralanır. Böylece, en zorlayıcı, ılımlı ve en az zorlayıcı testler sırasıyla Test 1, Test 5 ve Test 9 olur. Farklı performans limitlerinin aynı anda karşılanması gerekliliği yaklaşımı ve çeşitli seviyelerdeki performans limitlerinin çapraz kombinasyonlarından farklı zorluklarda

performans testleri oluşturulması yöntemi daha önce Öncü'nün (2011) tez çalışmasında kullanılmıştır. Ancak söz konusu çalışmada sadece pik kat ivmesi ve pik taban deplasmanlarına ilişkin performans limitleri dikkate alınmış olup testlerin oluşturulmasında bu tez kapsamında dikkate alınan pik görelî kat ötelemesine ilişkin limitler de kullanılmamıştır.

Tablo 4.1: Performans testleri için tanımlanan performans limitleri.

	Grup 1			Grup 2			Grup 3		
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9
La (m/s²)	≤3	≤3	≤3	≤5	≤5	≤5	≤10	≤10	≤10
Ld (cm)	≤40	≤70	≤100	≤40	≤70	≤100	≤40	≤70	≤100
Ldr (-)	≤0.0025	≤0.05	≤0.01	≤0.0025	≤0.005	≤0.01	≤0.0025	≤0.005	≤0.01

Oluşturulan grupların hangi durumları temsil ettiği şu şekilde tarif edilebilir:

Grup 1: Pik kat ivmeleri performans limitleri açısından en zorlayıcı kritere sahip olan bu grup, mikroçip üretim tesisleri, veri merkezleri gibi binaların pik kat ivmesi için hedeflenen 3 m/s² limitini içermektedir. Grubun en zorlayıcı testi, Test 1, pik taban deplasmanı ve pik görelî kat ötelemesi oranı bakımından da en zorlayıcı limit değerlerini içermekte olduğundan, söz konusu testi karşılamamanın teorik olarak mümkün olup olmadığını tespit etmek için bu test grubuna dahil edilmiştir. Öte yandan, Test 2 ve Test 3 pik görelî kat ötelemeleri oranı ve pik taban deplasmanı açısından daha pratik değerler içerirler.

Grup 2: Orta zorluktaki bu test grubunda, pik kat ivmelerinin 5 m/s²'yi geçmemesi gereken hastaneler, laboratuvarlar vb. gibi titreşime duyarlı cihazları barındıran özel amaçlı binalar için belirlenen performans hedefleri belirlenmiştir. Özel amaçlı binalarda yapısal sistemin elastik kalabilmesi için pik görelî kat öteleme oranının 0.005 değeri ile sınırlandırıldığı Test 5, tüm gruplar içerisindeki en ılımlı testtir.

Grup 3: Pik kat ivmeleri açısından en düşük performans limitini (La₃= 10 m/s²) içeren ve dolayısıyla en az zorlayıcı olan bu grup, konut gibi herhangi özel amaçlı titreşime duyarlı cihazı barındırmayan binalar için belirlenen performans hedeflerini içerir. Tüm gruplar içindeki en az zorlayıcı testin (Test 9) pik taban deplasmanları için kauçuk izolatörler için fiziksel olarak uygulanabilir bir değer olan 100 cm limiti ile sınırlandırılırken; pik görelî kat ötelemeleri oranı sismik izolasyonlu yapılar için yönetmelikçe belirlenen 0.01 ile sınırlandırılmıştır.

4.2. TARİHİ YAKIN-FAY DEPREMLERİ ALTINDA YARI-AKTİF SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN GÜVENİLİRLİĞİNİN İRDELENMESİ

Bu bölümde, tarihi yakın-fay depremlerine maruz kalan yarı-aktif sismik izolasyonlu binalar kapsamında izolasyon sistemi parametrelerindeki belirsizliklerin, yapısal tepki parametreleri üzerindeki etkisi incelenmiş; ayrıca, oluşabilecek değişimlerden bu binaların güvenilirliklerinin nasıl etkileneceği değerlendirilmiştir.

4.2.1. Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF) Grafiklerinin İncelenmesi

3 ve 9 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalara ait pik en üst kat ivmelerine (ptfa), pik taban deplasmanlarına (pbd) ve pik en alt kat görelî kat ötelemelerine (pdr) ait kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF, Bkz. Bölüm 3.2.2, Denklem 3.9) grafikleri fay hattına olan mesafeleri 0 ile 6 km arasında ve 6 km ile 10 km arasında değişen tarihi depremler için Şekil 4.1-Şekil 4.3’de verilmiştir. Ayrıca, tarihi depremlerin yapısal tepki parametreleri üzerindeki etkilerini daha rahat değerlendirebilmek için ortalama (ort) CDF eğrileri de aynı grafiklerde sunulmuştur. İstendiğinde, sunulan grafikler aracılığıyla, prototip binalar için seçilebilecek herhangi bir performans limitini aşıp aşmama durumu rahatlıkla elde edilerek yorumlanabilir.

Şekil 4.1 (a) ve (c)’de görüldüğü gibi, rijit üst yapıya sahip binaların (3 katlı) pik en üst kat ivmelerinin minimum değerleri, fay hattına olan mesafelerin 0-6 km arasında değişmesi durumunda 1.55 m/s^2 ile 1.75 m/s^2 arasında değişirken; fay hattına daha uzak mesafelerde ($r=6-10 \text{ km}$) 1.15 m/s^2 ile 1.25 m/s^2 arasında değişmektedir. Maksimum değerlerinin ise faya daha yakın mesafelerde gerçekleşen depremlerde ($r=0-6 \text{ km}$) 2.85 m/s^2 ile 3.2 m/s^2 arasında; fay hattına daha uzak mesafeler ($r=6-10 \text{ km}$) için 2.22 m/s^2 ile 2.57 m/s^2 arasında değiştiği görülmüştür. Benzer şekilde, pik en üst kat ivmelerinin ortalama değerleri $r=0-6 \text{ km}$ için 2.18 m/s^2 ile 2.22 m/s^2 arasında değişirken (Şekil 4.1 (a)); $r=6-10 \text{ km}$ 1.7 m/s^2 ile 1.78 m/s^2 arasında (Şekil 4.1(c)) değişmiştir. Fay hattına daha yakın bölgelerde ($r=0-6 \text{ km}$) meydana gelen depremlerde, esnek üst yapıya sahip (9 katlı) binaların maksimum ptfa değerleri 6.2 m/s^2 ile 7.5 m/s^2 arasında; ortalama değerleri ise 4.2 m/s^2 ile 4.25 m/s^2 arasındadır (Şekil 4.1 (b)). Fay hattına daha uzak bölgelerde ($r=6-10 \text{ km}$) ise maksimum değerler 5 m/s^2 ile 5.53 m/s^2 aralığında; ortalama değerler ise yaklaşık olarak 3.2 m/s^2 ’dir (Şekil 4.1 (d)). Görüldüğü gibi, fay hattına olan mesafeler azaldıkça ve üst yapı esnekliği arttıkça pik en üst kat ivmelerinde (ptfa) artış olmaktadır. Bu noktada, CDF eğrilerinin dikliğinin, izolasyon sisteminin sahip olduğu

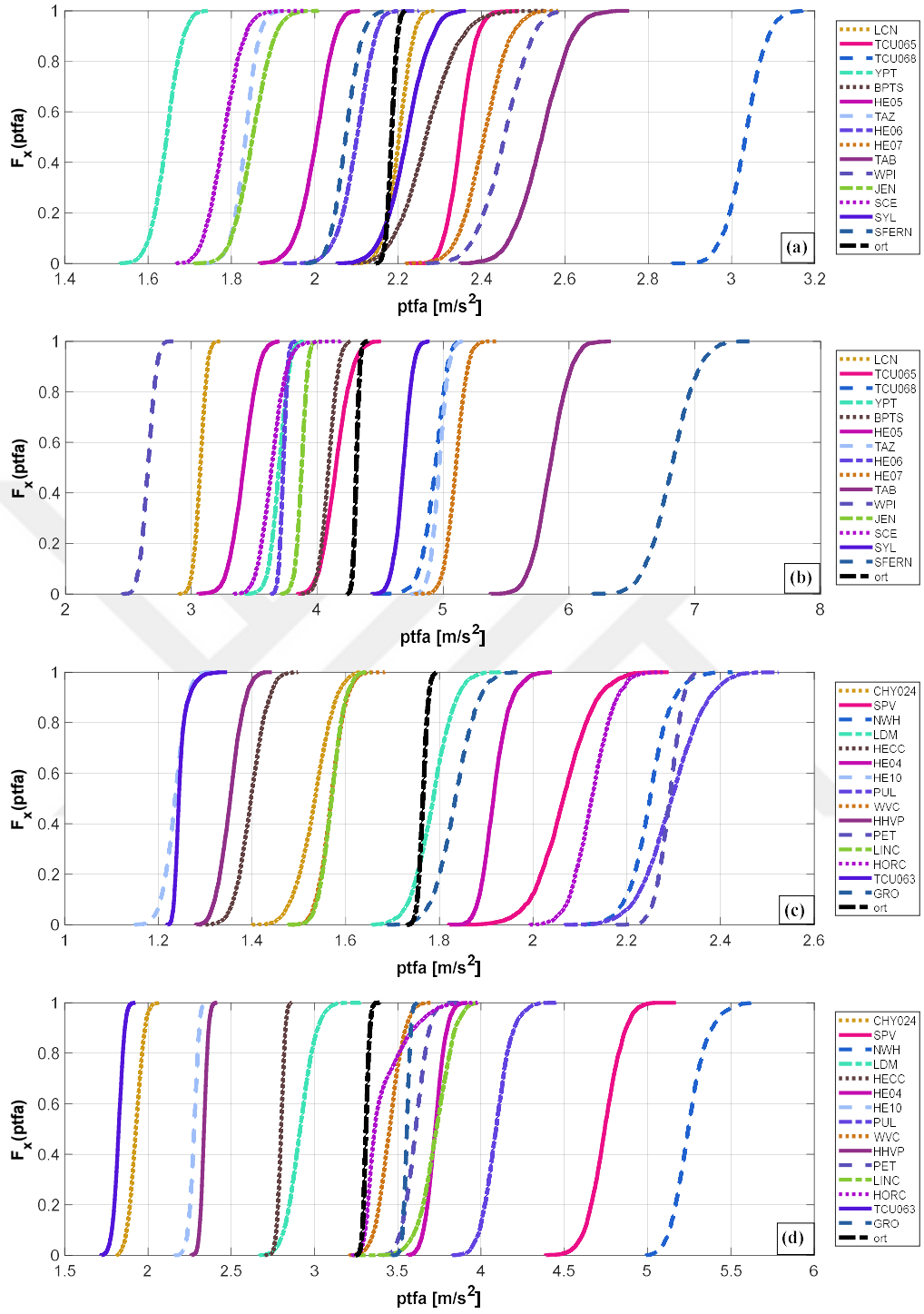
değişkenliğin, sistem cevap parametreleri üzerindeki etkisinin derecesini göstereceğini belirtmek gerekir. Örneğin, Şekil 4.1 (a) ve (b)'de görüldüğü gibi, $r=0-6$ km'de gerçekleşen TAZ depremi altında pik en üst kat ivmelerine ait eğriler, TAB depremi için elde edilen eğrilere göre daha diktir. Buradan, TAZ depremi söz konusu olduğunda yarı-aktif izolasyon sistemindeki belirsizliklerin, pfta üzerindeki etkisinin TAB depremi altındaki duruma göre daha sınırlı olduğu yorumu yapılabilir. Depremlere ait CDF ortalama eğrilerine bakılırsa, bunların dikliğinin en dik olan CDF'lere göre oldukça az olduğu, yani izolasyon sistemindeki belirsizliklerin etkisinin görece azaldığı anlaşılar. Öte yandan, elde edilen CDF eğrilerinin minimum ve maksimum olanlarına ait değerlerin birbirlerinden uzak olduğu dikkate alındığında, deprem belirsizliği etkisinin izolasyon sistemindeki belirsizliklere nazaran daha etkin olduğu söylenebilir.

3 katlı ve 9 katlı binalara ait pik taban deplasmanları için sunulan CDF grafikleri, fay hattına yakın mesafeler ($r=0-6$ km) için Şekil 4.2 (a)-(b)'de, daha uzak mesafelerde ($r=6-10$ km) Şekil 4.2 (c)-(d)'de sunulmuştur. CDF eğrilerinin dikliğine ve saçılımına (farklı deprem kayıtları için farklı CDF'ler) bakıldığında, genel olarak yarı-aktif izolasyon sistemindeki belirsizliklerin, depremlerin kayıttan kayıta gösterdiği değişiklik yanında pik taban deplasmanları açısından daha az etkin olduğu söylenebilir. Pik taban deplasmanlarının üst yapı esnekliğinden genel olarak az (%10-15 mertebesinde) etkilendiği literatürdeki deterministik çalışmalarda belirtilmiştir (Alhan ve Şahin, 2011; Kulkarni and Jangid, 2003). Bu olasılıksal tez çalışmasında biraz daha büyük etkilerin de olabileceği görülmüştür. Örneğin, TCU068 depreminde 3 katlı binaya ait pbd değerleri 0.68 m ile 0.8 m arasında değişmekte iken; 9 katlı bina için 0.95 m ile 1.1 m arasında değişmektedir (Şekil 4.2 (a)-(b)). Genel eğilimi temsilen ortalama CDF değerleri açısından faya yakın mesafelerde gerçekleşen depremler ($r=0-6$ km) için 3 ve 9 katlı binalara ait ortalama değerleri inceleyecek olursak, her iki bina için de yaklaşık olarak 0.4 m olduğu, faya daha uzak mesafelerde ($r=6-10$ km) ise 0.2 m civarında olduğu söylenebilir. Fay hattına olan mesafelerin artmasıyla, pik taban deplasmanları CDF değerlerinin azaldığı; üst yapı esnekliği etkilerinin de sınırlı olduğu söylenebilir.

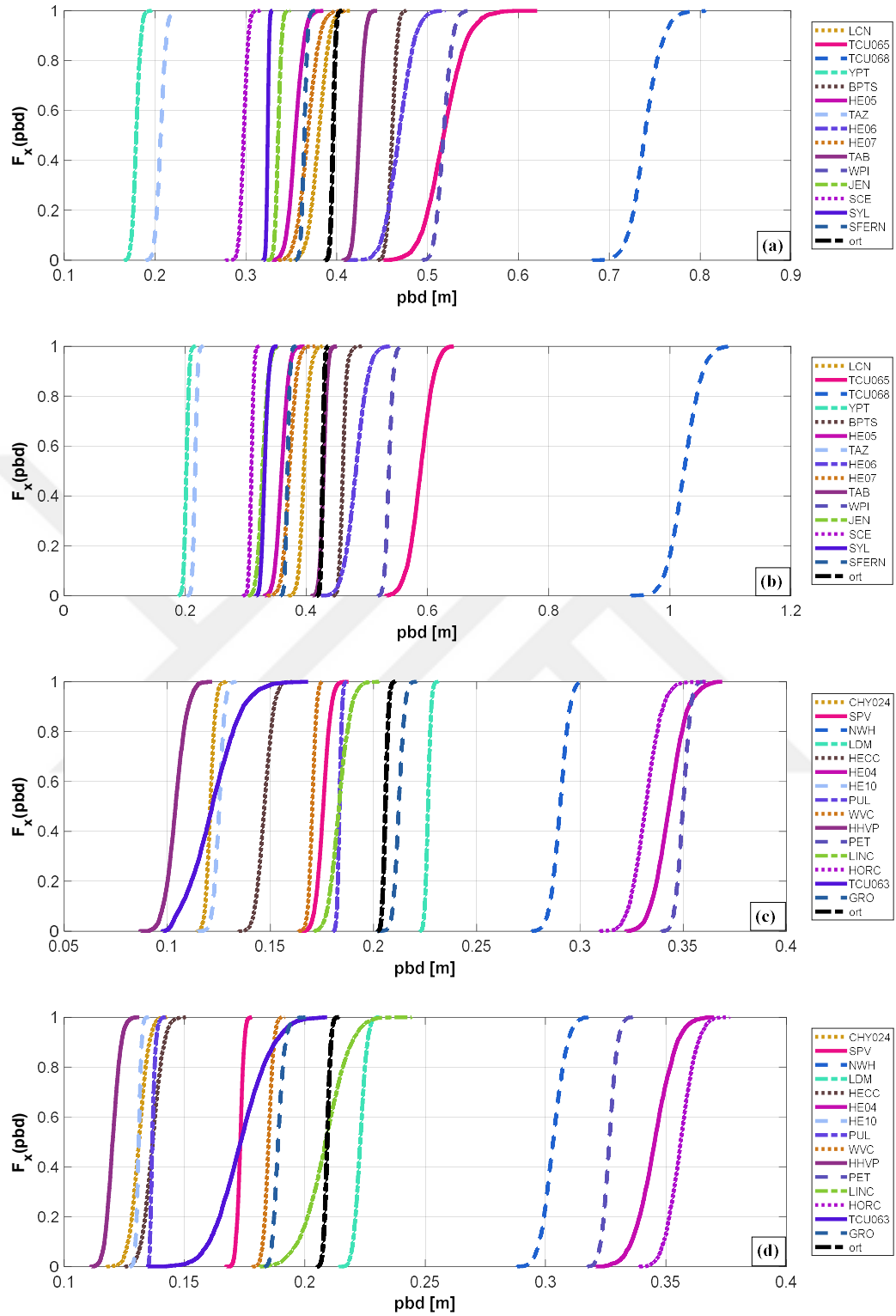
Şekil 4.3'de pik görelî kat ötelemeleri oranlarına (pdr) ait CDF grafikleri sunulmuştur. Görüldüğü üzere, fay hattına daha yakın mesafelerde ($r=0-6$ km), 3 katlı binada pdr'a ait ortalama değerler $r=0-6$ km için yaklaşık olarak 1.18×10^{-3} ; $r=6-10$ km için ise yaklaşık olarak 0.9×10^{-3} civarındadır. Maksimum CDF değeri ise 1.58×10^{-3} ile 1.78×10^{-3} arasında değişirken,

fay hattına olan daha uzak mesafelerde ($r=6-10$ km) ise 1.12×10^{-3} ile 1.35×10^{-3} arasında değişir. 9 katlı bina için maksimum CDF değerleri ise $r=0-6$ km depremleri için 4.9×10^{-3} 'ten 5.7×10^{-3} 'e değişirken; $r=6-10$ km depremleri için ise 3.4×10^{-3} 'ten 4.05×10^{-3} 'e yükselmiştir. Üst yapı esnekliğinin artması ile pik göreceli kat ötelemeleri oranı CDF değerlerinde fay hattına olan tüm mesafelerde belirgin artışlar meydana gelmiştir. Ayrıca, fay hattına olan mesafelerin artması ile pdr'a ait CDF değerleri azalmaktadır.

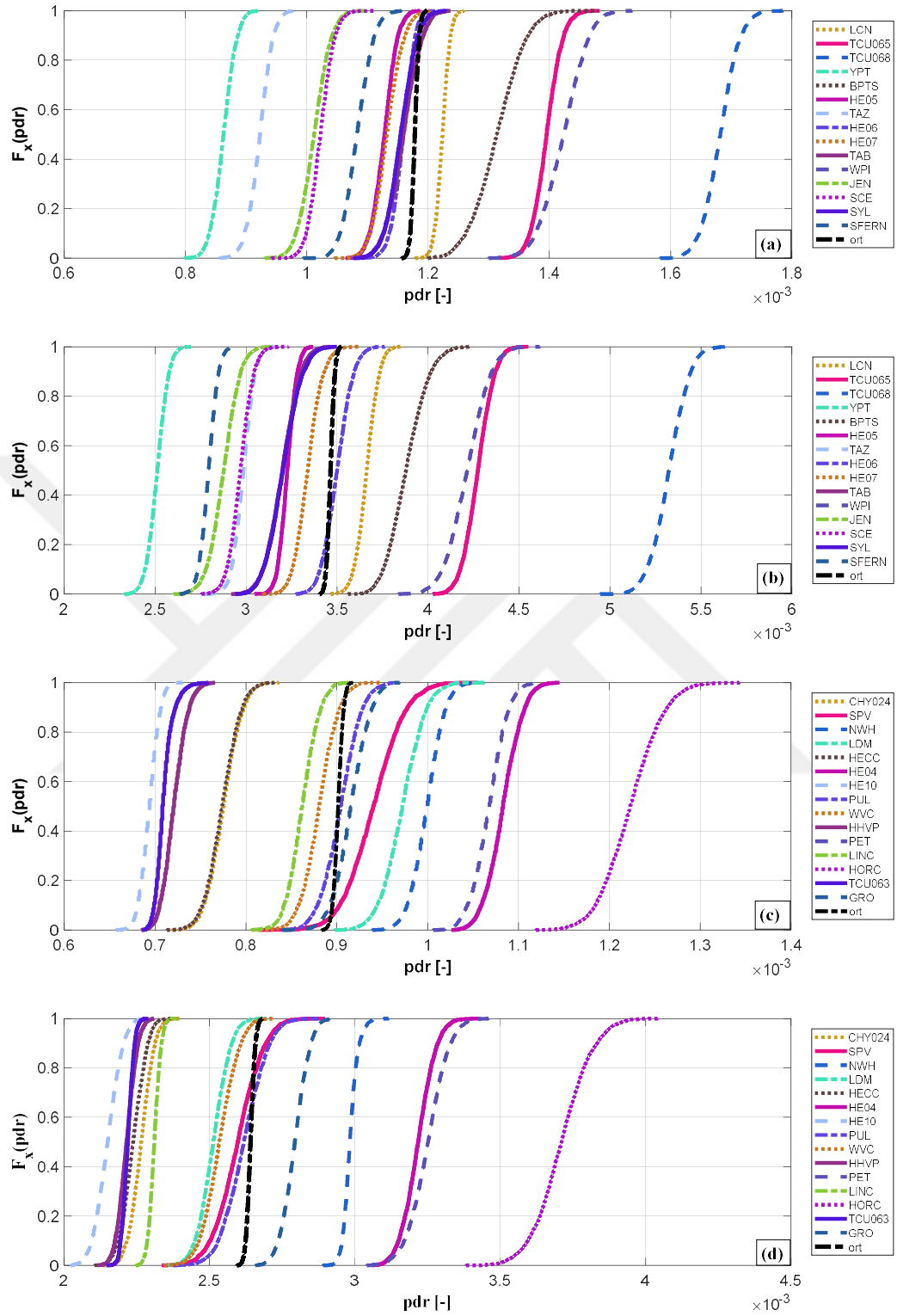




Şekil 4.1: Pik en üst kat ivmelerine ait CDF grafikleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.



Şekil 4.2: Pik taban deplasmanlarına ait CDF grafikleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.



Şekil 4.3: Pik en alt kat görece kat ötelemelerine ait CDF grafikleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.

4.2.2. Başarısızlık Olasılıkları (P_f) Grafiklerinin İncelenmesi

Başarısızlık olasılıklarının hesaplanması için öncelikle limit durum fonksiyonları ($g(X)$) belirlenmelidir. Örneğin, i. kat için, $La_1=3 \text{ m/s}^2$ limitine (Bkz. Bölüm 4.1.) denk gelen performans limit durum fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilir:

$$g(X) = 3 - \text{pik i. kat ivmesi} \quad (4.1)$$

Burada, limit durum fonksiyonunun 0'a eşit veya daha düşük olduğu koşullar başarısızlık durumunu gösterir ($g(X) \leq 0$). Başarısızlık olasılığı (P_f) ise, belirlenen limit durumunu aşan simülasyon sayısının ($n_{[g(X) \leq 0]}$) toplam simülasyon n_{mcs} sayısına bölünmesi ile hesaplanır.

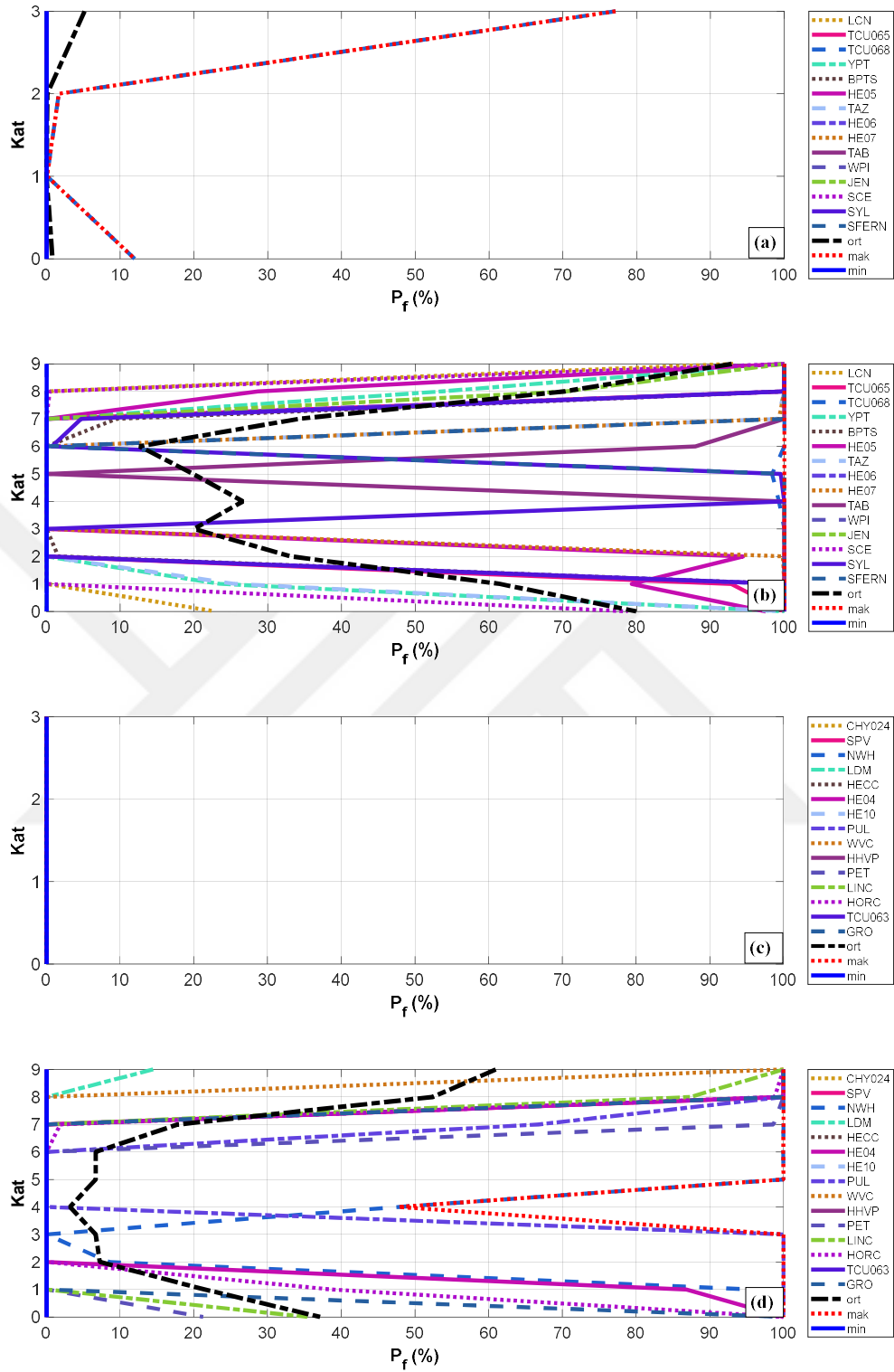
$$P_f = \frac{n_{[g(X) \leq 0]}}{n_{mcs}} \quad (4.2)$$

3 katlı ve 9 katlı yarı-aktif sismik izolasyonlu binaların pik kat ivmelerine ve pik görelî kat ötelemeleri oranlarına ait başarısızlık olasılığı (P_f , Bkz. Bölüm 3.2.5., Denklem (3.18)-(3.19) profilleri, en zorlayıcı, ılımlı ve en az zorlayıcı limitler altında fay hattına yakın ($r=0-6 \text{ km}$) ve daha uzak ($r=6-10 \text{ km}$) mesafelerde gerçekleşen tarihi depremler için binanın yüksekliği boyunca (0 izolasyon katını temsil etmektedir) Şekil 4.4-Şekil 4.9'da verilmiştir. Ayrıca, pik taban deplasmanları için başarısızlık olasılıkları tüm performans limitleri altında Şekil 4.10'da sunulmuştur. Daha genel yorumlar yapabilmek için, başarısızlık olasılıklarının ortalama, maksimum ve minimum değerleri de hesaplanmıştır. Bunun için, tüm depremlerden elde edilen tepkilerin her bir kat için ayrı ayrı maksimum değerlerinin belirlenmesi ile başarısızlık olasılıklarının maksimum zarf eğrisi oluşturulmuştur. Benzer şekilde, başarısızlık olasılıklarının her kat için belirlenen minimum değerlerine ait zarf eğrisi de oluşturulmuştur.

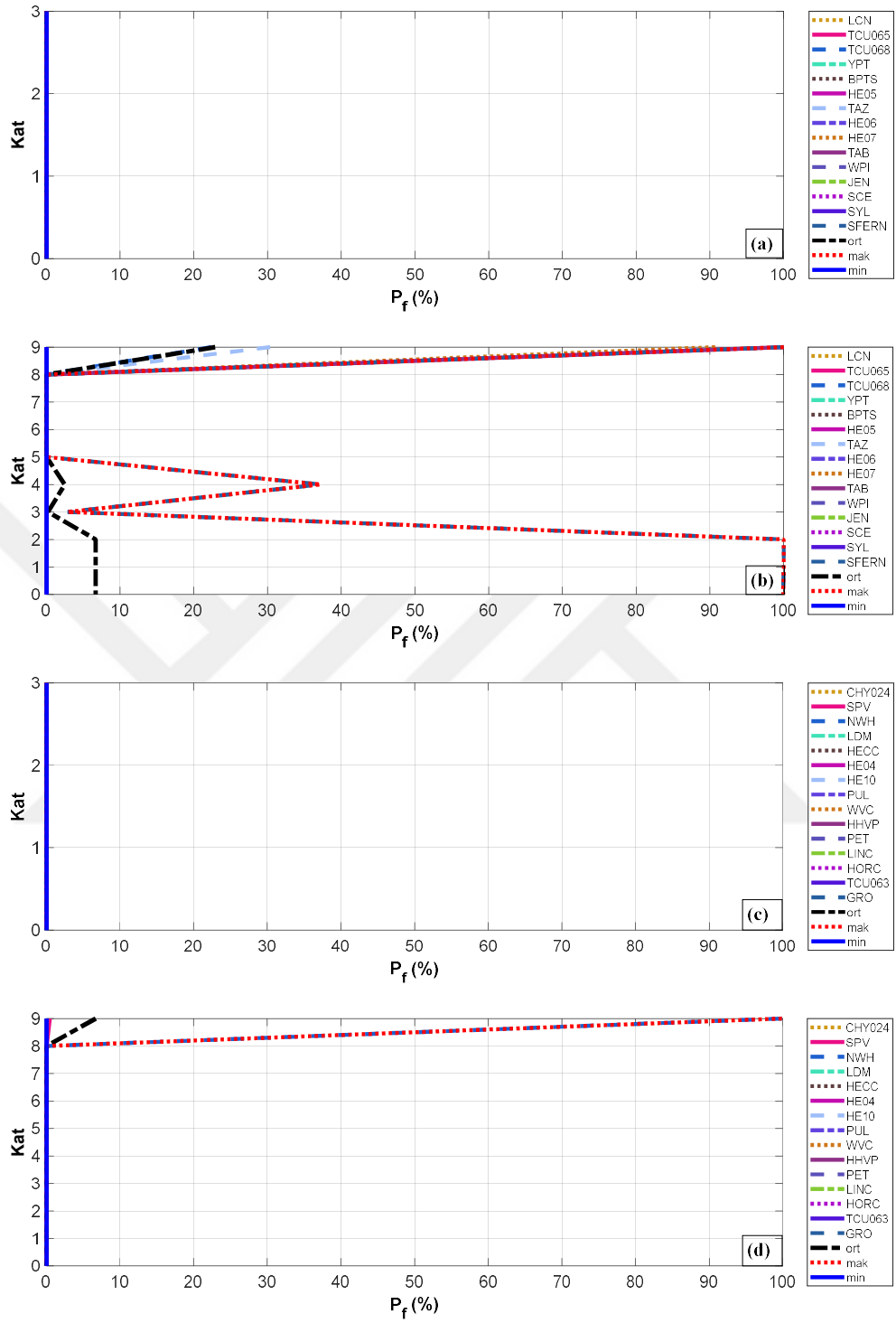
En zorlayıcı ivme performans limiti ($La_1=3 \text{ m/s}^2$) altında, ortalama değerler incelendiğinde, 3 katlı binalarda $r=0-6 \text{ km}$ için sadece en üst katta $P_f=5\%$ görülmüş (Şekil 4.4(a)), diğer durumlarda 0% veya 0%'a çok yakın değerler ortaya çıkmıştır. 9 katlı binalara ait ortalama P_f değerleri, $r=0-6 \text{ km}$ depremleri için %13 ile %92 aralığında; $r=6-10 \text{ km}$ depremleri için ise %3 ile %61 aralığında değişmektedir. Ortalama değerler açısından en yüksek P_f değerleri en üst katlarda, en düşük P_f değerleri ise orta katlarda elde edilmiştir. Ayrıca, faya yakın mesafelerde ($r=0-6 \text{ km}$) 3 katlı binanın başarısızlık olasılığı maksimum değerler açısından incelendiğinde, en üst katta %77, en alt katta %12 olduğu; orta katlarda ise hemen hemen sıfır olduğu

görülmüştür (Şekil 4.4(a)). Fay hattına olan mesafenin artmasıyla ($r=6-10$ km), başarısızlık olasılıkları düşerek; tüm katlar için %0 olmuştur (Şekil 4.4(c)). Üst yapı esnekliği fazla olan (9 katlı) binaların pik kat ivmesi başarısızlık olasılıklarının maksimum değeri, $r=0-6$ km depremlerinde (Şekil 4.4(b)) tüm katlar için %100 iken; $r=6-10$ km depremlerinde (Şekil 4.4(d)) ise alt ve üst katlarda %100 ancak, orta katlarda yaklaşık olarak %50'dir. Bu durumda, pik kat ivmeleri için özellikle üst katlarda elde edilen yüksek başarısızlık olasılıkları sebebiyle, bu katlarda bulunan titreşime duyarlı ekipmanların güvenliğinin sağlanamayabileceği sonucuna varılabilir. Diğer bir deyişle, titreşime duyarlı ekipmanlarını başarısızlık olasılığı düşük olan üst katlara yerleştirmek, onların güvenliği açısından uygun olmayacaktır. Genel olarak, başarısızlık olasılıkları daha esnek üst yapıya sahip (9 katlı) binalar için daha büyük çıkmıştır. Buna rağmen, 9 katlı binada, tüm fay mesafelerinde gerçekleşen depremler içerisinde, en zorlayıcı ivme limitini ($La_1=3$ m/s²) bile aşmayan durumların olması ($P_f=0$) dikkat çekicidir.

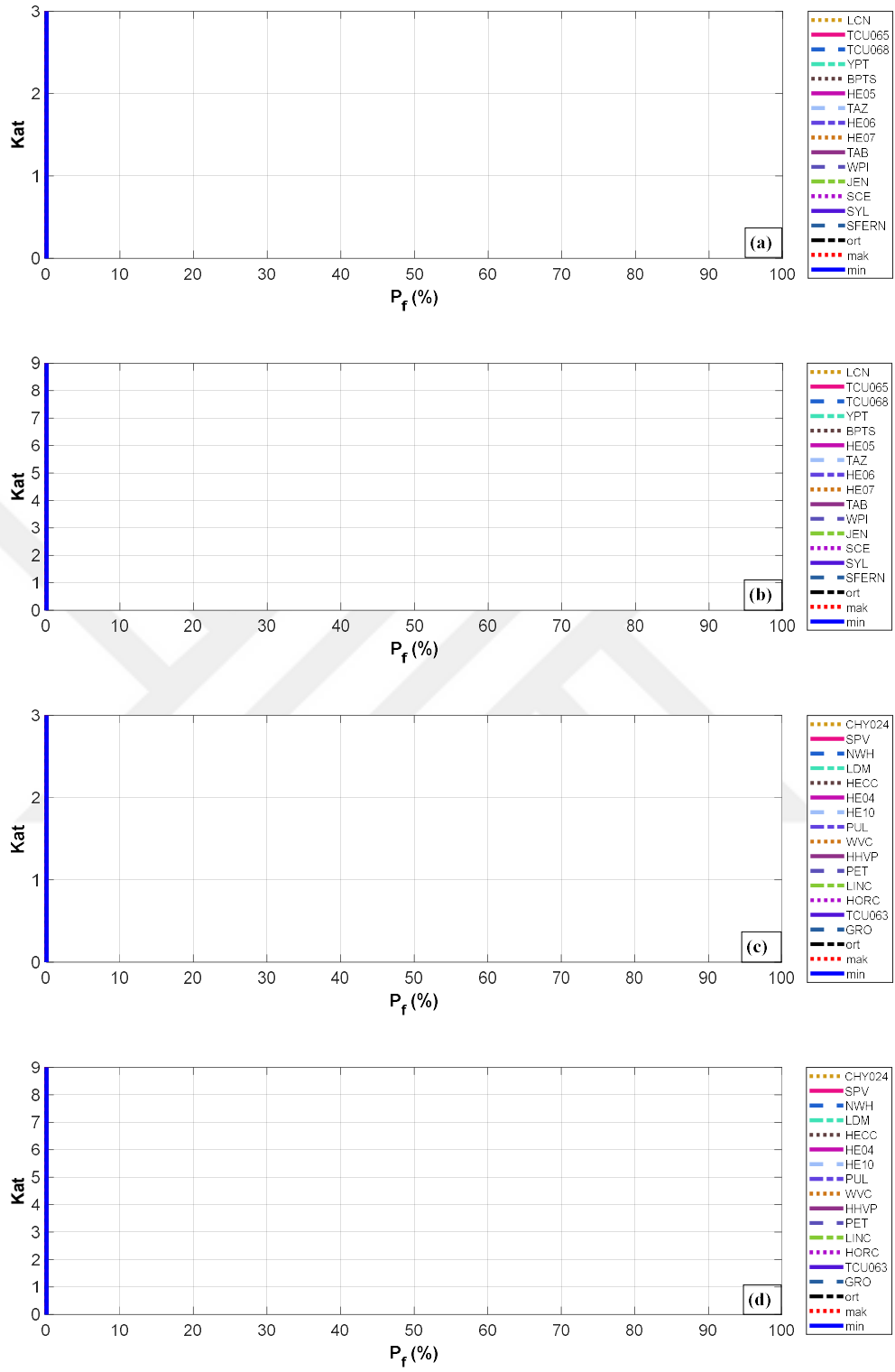
İlımlı ivme performans limiti ($La_2=5$ m/s²) için Şekil 4.5'te verilen başarısızlık olasılığı profilleri incelendiğinde, rijit üst yapıya sahip (3 katlı) binaların fay hatlarına olan en yakın mesafelerde ($r=0-6$ km) dahi tüm katlarda %0 olduğu görülmüştür (Şekil 4.5 (a)). Esnek üst yapıya sahip binaların (9 katlı) $r=0-6$ km'de en üst ve en alt katlarda yüksek başarısızlık ($P_f=100$) gösterdiği ve bu değerlerin kabul edilebilir olmadığı söylenebilir (Şekil 4.5(b)). Ortalama başarısızlık olasılıkları ise, en alt katta %7, en üst katta %22 ve orta katlarda ise %0 değerlerini almıştır. Fay hattına olan mesafelerin artmasıyla ($r=6-10$ km), P_f değerleri en üst kat hariç tüm katlarda %0'a düşmüştür (Şekil 4.5 (d)). Ortalama P_f değerleri, en üst katta dahi düşük ($P_f=7$) olduğundan, 9 katlı binanın söz konusu ivme limitini sağlamakta başarılı olduğu söylenebilir. Sonuç olarak, ılımlı performans limiti altında, söz konusu limit hassasiyetinde titreşime duyarlı ekipmanların güvenliğini sağlamak daha rahat olabilmektedir. Ancak, başarısızlık olasılıkları maksimum değerler açısından incelendiğinde, faya en yakın mesafelerde ($r=0-6$ km) en üst kat ve en alt katlarda başarısızlık olasılıklarının $P_f=100\%$ 'e ulaşabildiği görülmüştür (Şekil 4.5(b)). Fay hattına daha uzak ($r=6-10$ km) mesafelerde ise, başarısızlık olasılıklarının maksimum değeri sadece en üst katta $P_f=100\%$ 'e ulaşmakta iken; diğer katlarda ise %0'a düşmektedir (Şekil 4.5(d)). En az zorlayıcı performans limiti ($La_3=10$ m/s²) altında, 9 katlı binalar dahi faya olan tüm mesafelerde tam başarı ($P_f=0$) göstermiştir (Şekil 4.6). Diğer bir deyişle, yarı-aktif sismik izolasyonlu binalar söz konusu ivme limiti altında %100 başarı sağlayabilmektedir.



Şekil 4.4: $L_{a1}=3 \text{ m/s}^2$ limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6 \text{ km}$ (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10 \text{ km}$ (c) 3 katlı (d) 9 katlı.



Şekil 4.5: $\text{La}_2=5\text{m/s}^2$ limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı.

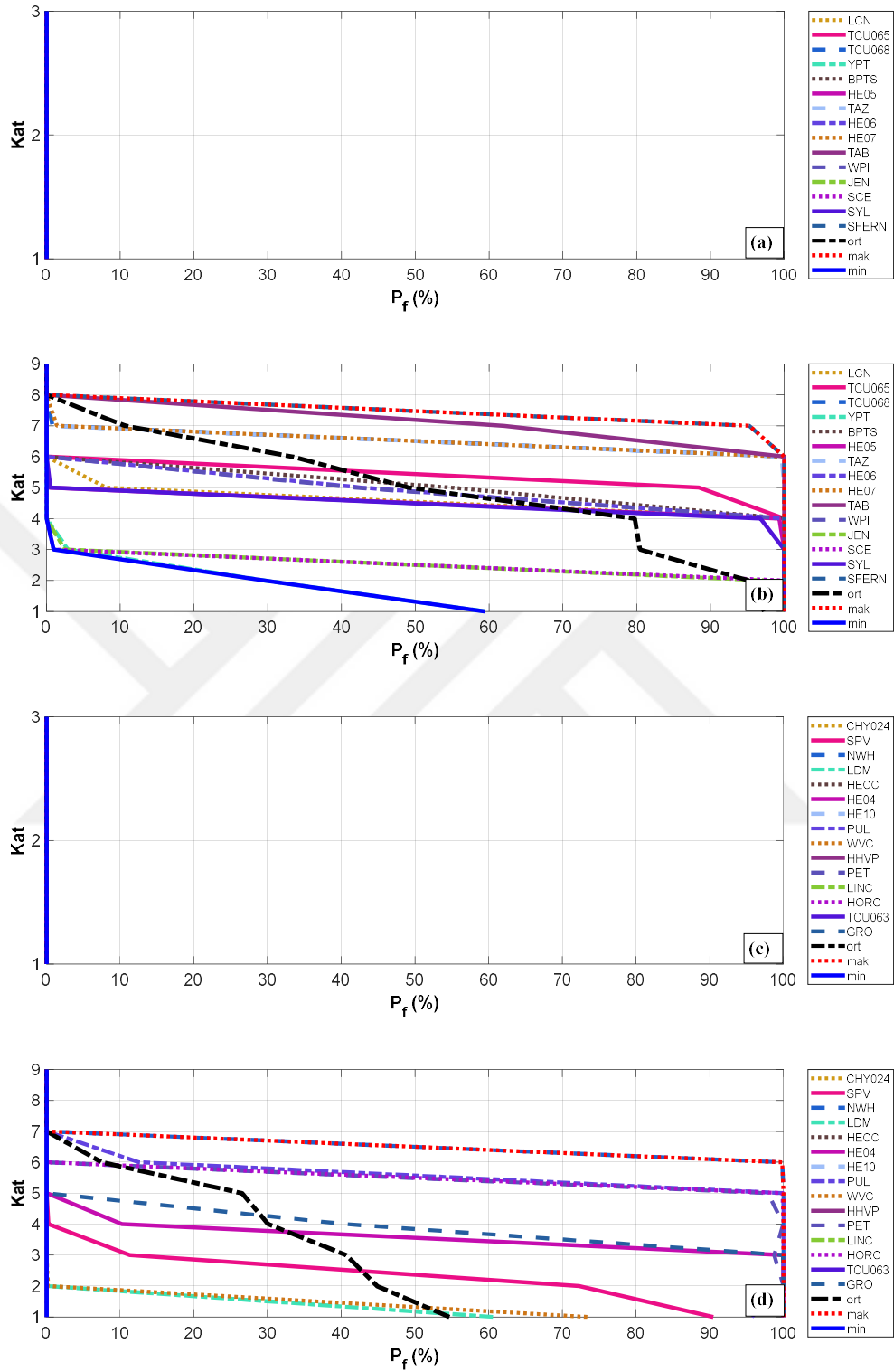


Şekil 4.6: $La_3=10 \text{ m/s}^2$ limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6 \text{ km}$ (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10 \text{ km}$ (a) 3 katlı (b) 9 katlı.

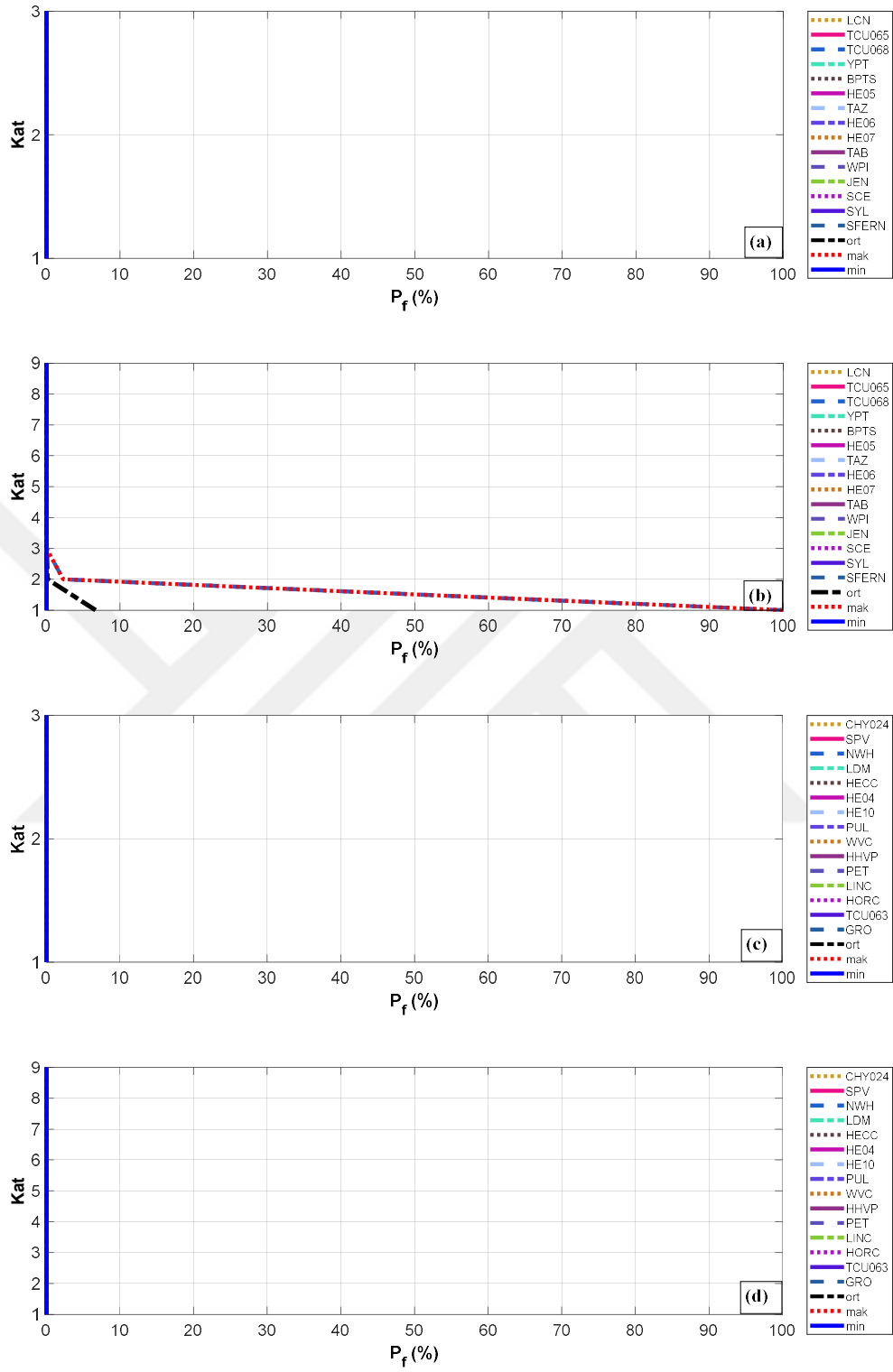
3 ve 9 katlı yarı-aktif izolasyonlu binaların göreceli kat ötelemesi oranları açısından başarısızlık olasılıkları, en zorlayıcı performans limiti ($Ldr_1=0.0025$) altında fay hattına farklı mesafelerde gerçekleşen depremler için Şekil 4.7’de sunulmuştur. Farklı mesafelerde gerçekleşen depremler altında, 3 katlı binanın pik göreceli kat ötelemeleri açısından en zorlayıcı performans limit altında dahi başarılı ($P_f=0$) olduğu görülmüştür (Şekil 4.7(a) ve (c)). 9 katlı binalar için başarısızlık olasılığı ortalama değerler açısından incelenecek olursa, $r=0-6$ km için (Şekil 4.7(b)) zorlayıcı performans limiti altında en alt katta kabul edilemez bir P_f değerine ulaşıldığı (%97) ancak 5. kattan üst katlara doğru %50’den %0’a kadar düştüğünü görebiliriz. Öte yandan, fay hattına olan mesafelerin arttığı durumda ($r=6-10$ km) ortalama başarısızlık olasılığı en alt katta $P_f=55$ değerindedir (Şekil 4.7 (d)). Ancak, 9 katlı binaların maksimum başarısızlık değerleri üst katlar hariç, tüm katlarda $P_f=100$ değerine ulaşmıştır. 9 katlı binaların başarısızlık olasılıkları minimum değerler açısından değerlendirildiğinde, faya yakın mesafelerde ($r=0-6$ km) gerçekleşen depremler için en alt katta bile $P_f=60$ olduğu görülmüştür. Fay hattına daha uzak bölgeler ($r=6-10$ km) için ise minimum P_f değeri tüm katlarda %0’dır.

İlımlı performans limiti ($Ldr_2=0.005$) altında, rijit üst yapıya sahip (3 katlı) binaların maruz kaldıkları tüm depremler altında (Şekil 4.8 (a),(c)), başarısızlık olasılıkları $P_f=0$ ’dır. Daha esnek üst yapıya sahip (9 katlı) binaların $r=0-6$ km için dahi söz konusu limiti sağlamadaki başarısı ortalama değerler açısından değerlendirildiğinde, başarısızlık olasılığının en alt katta $P_f=7$, diğer katlarda ise %0 gibi son derece düşük oranlarda olduğu görülmüştür (Şekil 4.8 (b)). 9 katlı binalar maksimum başarısızlık olasılığı değerleri açısından incelendiğinde, sadece bir depremde ve en alt katta $P_f=100$ olduğu görülmüştür. Üst katlarda maksimum başarısızlık olasılığı $P_f=0$ ’a düşmüştür.

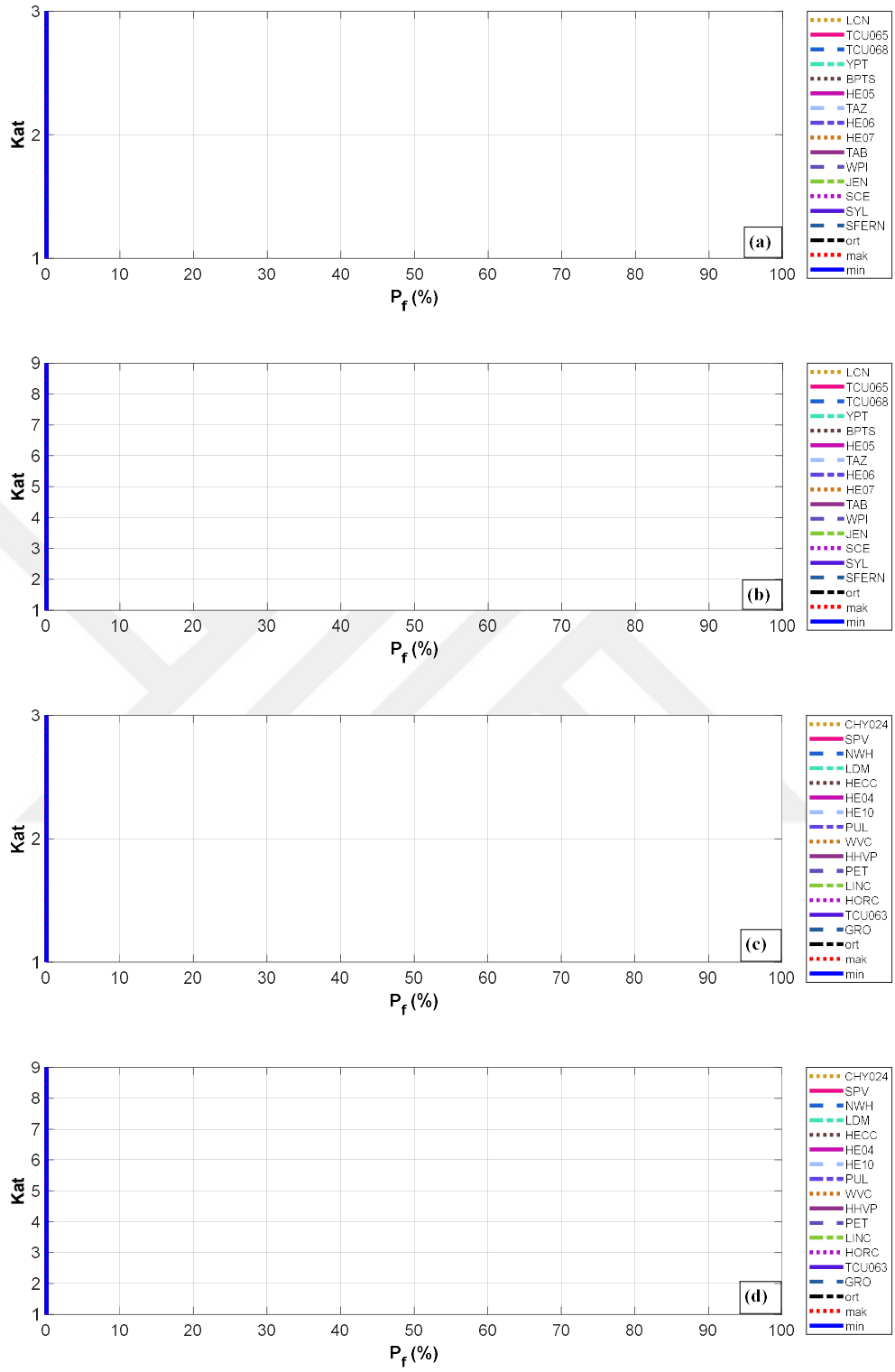
Üst yapının plastik davranış sergileyebileceği duruma denk gelen ve bu çalışma kapsamında en az zorlayıcı performans limiti olarak belirlenen $Ldr_3=0.01$ limiti altında, 3 ve 9 katlı yarı-aktif sismik izolasyonlu binaların dikkate alınan tüm depremlerde tam başarı ($P_f=0$) sağlayabileceği Şekil 4.9’dan anlaşılmaktadır.



Şekil 4.7: $L_{dr1}=0.0025$ limiti altında pik görel kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.

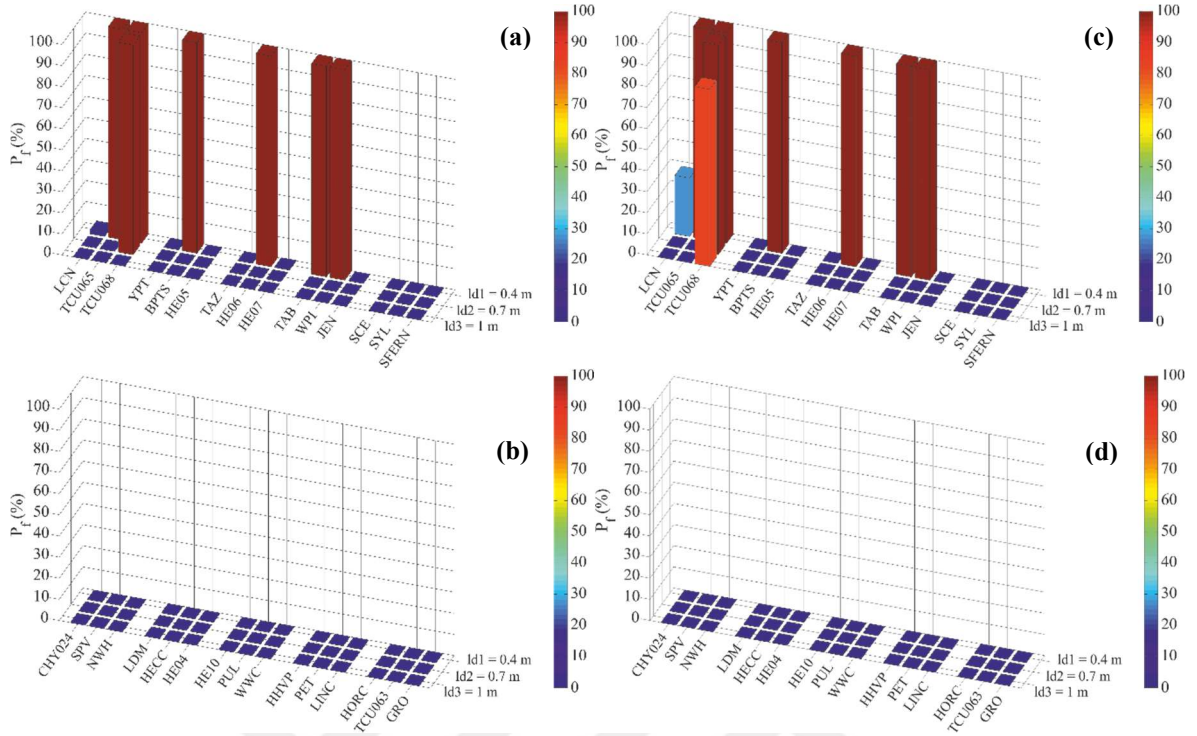


Şekil 4.8: $Ldr_2=0.005$ limiti altında pik görel kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.



Şekil 4.9: $Ldr_3=0.01$ limiti altında pik göreli kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: $r=0-6$ km (a) 3 katlı (b) 9 katlı, $r=6-10$ km (c) 3 katlı (d) 9 katlı.

Rijit üst yapıya sahip (3 katlı) bina ile daha esnek üst yapıya sahip (9 katlı) binanın taban deplasmanlarına ait başarısızlık olasılıkları karşılaştırmalı olarak inceleyebilmek için, faya olan tüm mesafelerde gerçekleşen depremler için üç farklı taban deplasmanı limiti altında Şekil 4.10'da sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi, başarısızlık olasılıkları her iki bina için de $r=0-6$ km'de (Şekil 4.10 (a)-(b)) ve $r=6-10$ km'de (Şekil 4.10 (c)-(d)) tam olarak aynı olmasa da oldukça yakındır. Fay hattına daha yakın mesafelerde ($r=0-6$ km) özellikle en zorlayıcı taban deplasmanı limiti altında ($L_{d1}=0.4$ m) bazı depremler için başarılı ($P_f=\%0$) olduğu, bazıları için ise başarısız ($P_f=\%100$) olduğu görülmektedir. Yarı-aktif izolasyon sistemlerindeki belirsizliklerden ziyade depremlerdeki belirsizliklerin taban deplasmanlarını daha çok etkilediği, dolayısıyla yarı-aktif izolasyonlu binaların performanslarının başarılı ya da başarısız olarak iki uç durum sergilediğini söyleyebiliriz. İlmli deplasman limiti ($L_{d2}=0.7$ m) altında, 3 katlı binanın tek bir deprem altında (TCU068) başarısız ($P_f=\%100$) olduğu görülmektedir. En az zorlayıcı taban deplasmanı limiti ($L_{d3}=1.0$ m) altında ise tüm depremler için başarısızlık olasılıkları %0 olup, bu durumda izolasyon sistemi güvenliği ve dolayısıyla üst yapının güvenliği sağlanmış olacaktır (Şekil 4.10 (a)). Pik taban deplasmanının üst yapı esnekliğinin artması ile çok değişmeyeceği beklenirken; 9 katlı binalarda bazı depremler altında farklılık gösterdiği görülmüştür. Faya olan mesafelerin artması ($r=6-10$ km) ile 3 ve 9 katlı binaların tüm deplasman limitlerini başarılı bir şekilde sağladığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.10 (c)-(d)).



Şekil 4.10: Tüm pik taban deplasmanı limitleri altında ($L_{d1}=0.4$ m, $L_{d2}=0.7$ m and $L_{d3}=1.0$ m) başarısızlık olasılıkları: $r=0-6$ km (a) 3 katlı, (c) 9 katlı ve $r=6-10$ km (b) 3 katlı, (d) 9 katlı.

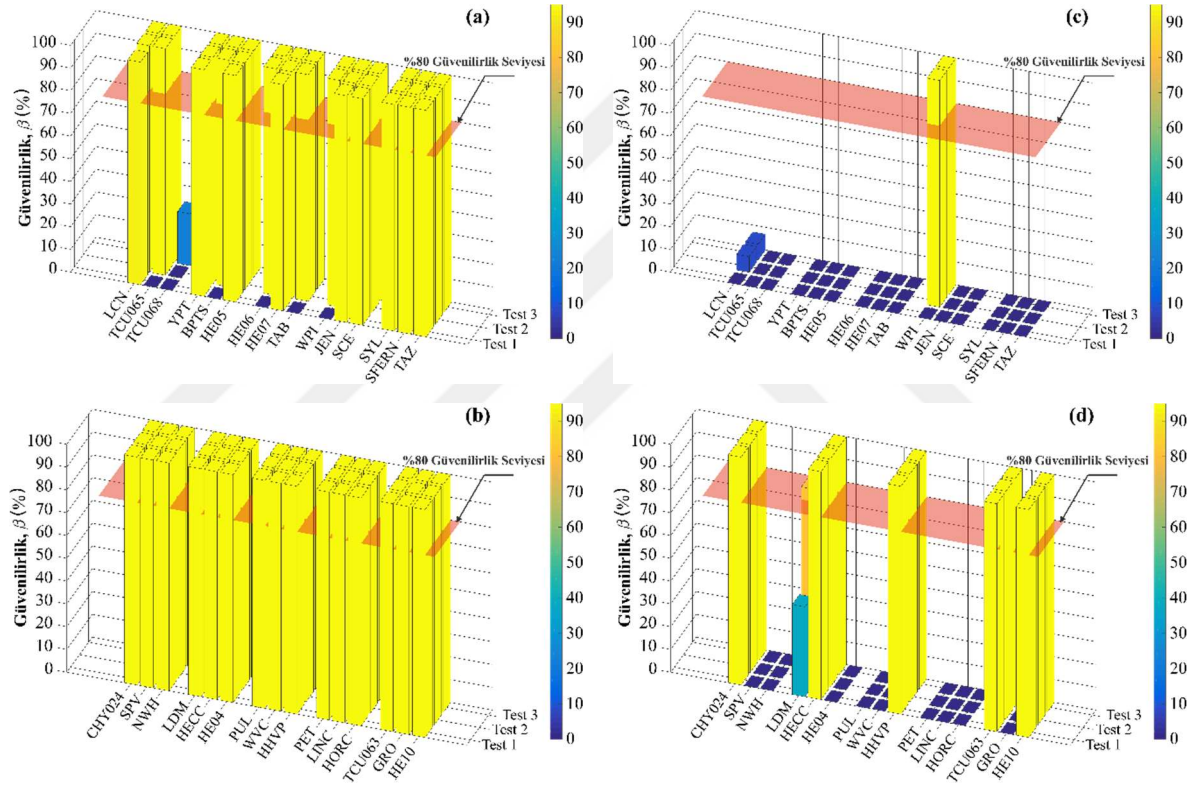
4.2.3. Tarihi Yakın-Fay Depremlerine Maruz Binaların Güvenilirlik Grafiklerinin İncelenmesi

Yarı-aktif izolasyon sistemleri ile izole edilmiş farklı kat yüksekliğine sahip tipik prototip binalar için farklı performans kriterleri göz önüne alınarak geniş bir güvenilirlik seviyesi sunmak amacıyla, yarı-aktif olarak izole edilmiş 3 katlı (rijit üst yapı) ve 9 katlı (esnek üstyapı) binaların güvenilirlikleri açısından performans test sonuçları bu bölümde sunulmuştur. Söz konusu sonuçlarda yer alan güvenilirlik (β), başarısızlık olasılığına (P_f) bağlı olmak üzere şu şekilde tanımlanmıştır:

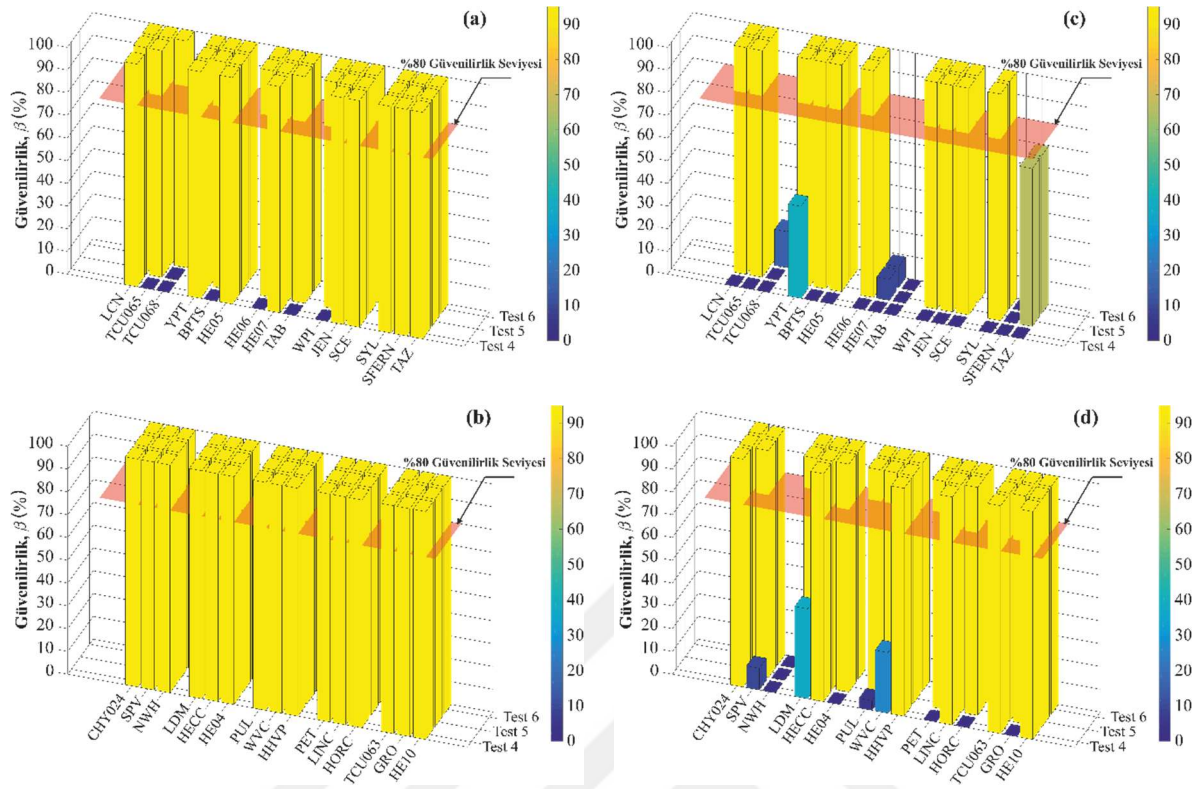
$$\beta = 1 - P_f \quad (4.3)$$

Bölüm 4.2.2’de sunulan sonuçlardan, başarısızlık olasılıklarının, üst yapı esnekliği ve fay hattına olan en yakın mesafeye bağlı olarak farklı yapısal tepki parametreleri (pik kat ivmesi, pik görel kat ötelemesi, pik taban deplasmanı) için farklı hassasiyet gösterdiği görülmekte olup, her bir sismik cevap parametresi için tanımlanan üç farklı performans limitiyle oluşturulan

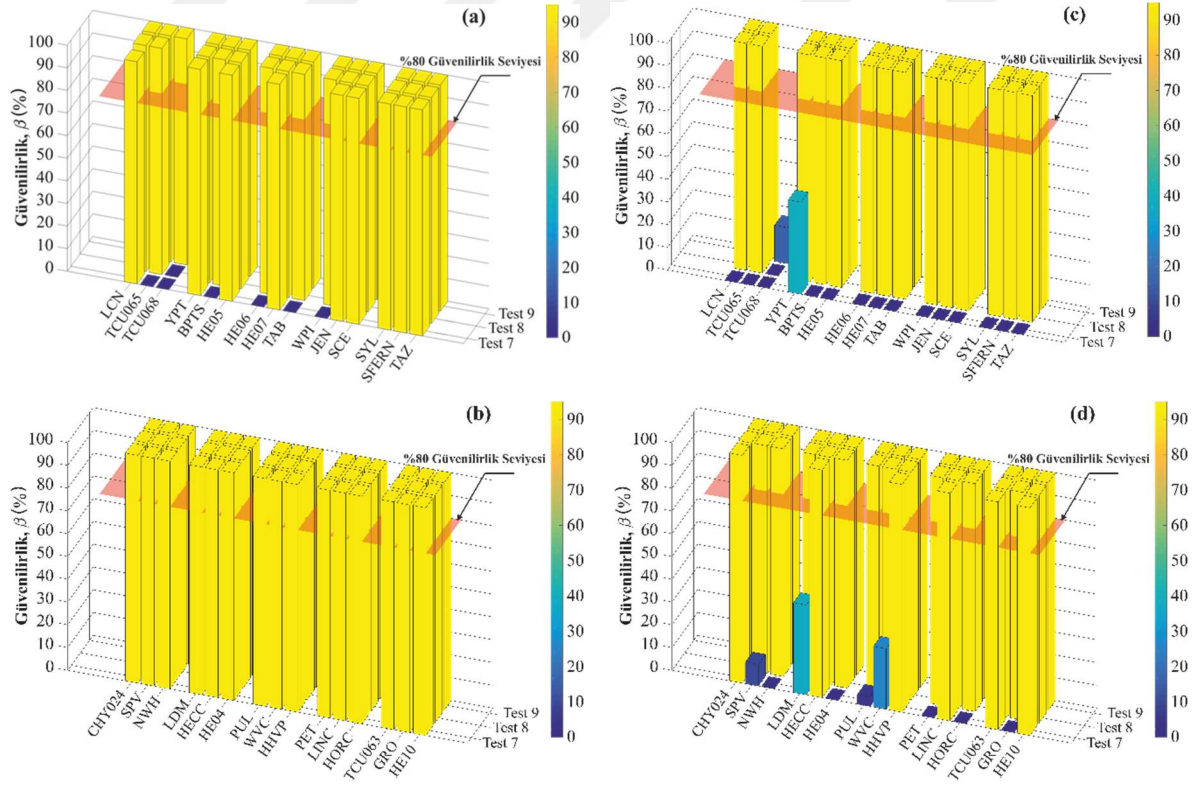
kombinasyonları incelemek, binaların güvenilirliklerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek açısından faydalı olacaktır. Bu sebeple, 3 katlı ve 9 katlı binaların güvenilirlikleri, başarısızlık olasılığına (P_f) bağlı olan güvenilirlik ($\beta=1-P_f$) grafikleri olarak tüm test grupları (Bkz. Bölüm 4.1) için fay hattına yakın ($r=0-6$ km) ve daha uzak ($r=6-10$ km) mesafelerde Şekil 4.11-Şekil 4.13'te sunulmuştur. Farklı sismik izolasyon projeleri için farklı güvenilirlik seviyeleri (% 95,% 90, vb.) gerekli olabilmesine rağmen, bu tez kapsamında, %80 güvenilirlik seviyesi kabul edilebilir bir seviye olarak düşünülmüş ve sunulan grafikler bu seviye dikkate alınarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.11: Grup 1 (Test 1, 2, 3): $r=0-6$ km (a) 3 katlı, (c) 9 katlı ve $r=6-10$ km (b) 3 katlı, (d) 9 katlı. Not: Her bir fay mesafesi ve deprem büyüklüğü için 3000 analiz gerçekleştirildiğinden %80 güvenilirlik seviyesi bunlardan en az 2400'ünün performans kriterlerini sağlayacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 4.12: Grup 2 (Test 4, 5, 6): $r=0-6$ km (a) 3 katlı, (c) 9 katlı ve $r=6-10$ km (b) 3 katlı, (d) 9 katlı.



Şekil 4.13: Grup 3 (Test 7, 8, 9): $r=0-6$ km (a) 3 katlı, (c) 9 katlı ve $r=6-10$ km (b) 3 katlı, (d) 9 katlı.

Grup 1: Bu test grubu kritik binalar için en zorlayıcı testleri içerir (Bkz. Bölüm 4.1). İlk bakışta, fay hattına olan mesafelerin azalmasıyla, binaların güvenilirlik seviyelerinin azaldığını söylemek mümkündür. 9 katlı binaların güvenilirlikleri 3 katlı binalara göre çok daha düşüktür. 3 katlı binalar fay hattına yakın bölgelerde dahi ($r=0-6$ km), çoğu depremde özellikle Test 2 ve Test 3 için %80 güvenilirlik seviyesini aşarak başarı sağlamıştır (Şekil 4.11 (a)). Ancak, Test 1 için güvenilirlik seviyesinin %0 değerini aldığı durumlar ortaya çıkabilmektedir. Öte yandan, 3 katlı binaların güvenilirlik seviyelerinin, fay hattına olan mesafelerin artmasıyla (Şekil 4.11 (b)), en zorlayıcı test olan Test 1’de dahi tüm depremlerde %100 olduğu görülmüştür. 9 katlı binanın fay hattına yakın bölgelerde ($r=0-6$ km), WPI deprem kaydı (Test 2 ve 3) hariç, tüm depremler için tüm testlerde güvenilirlik seviyelerinin %80’in altında kaldığı Şekil 4.11 (c)’de görülmektedir. Gruba ait limit değer altında 9 katlı binanın başarısızlık olasılıkları incelendiğinde, bu durumun özellikle 9 katlı binanın, üst yapı esnekliği sebebiyle artan pik kat ivmelerinin 3 m/s^2 kat ivmesi performans limitini aşmasından kaynaklandığı sonucuna varılabilir. Fay hattına olan mesafelerin artmasıyla ($r=6-10$ km), 9 katlı binanın güvenilirlik seviyelerinin bazı depremler altında %80’i aşarak, başarı sağlayabildiği görülmüştür.

Grup 2: Bu test grubu, hastaneler, laboratuvarlar vb. gibi titreşime duyarlı cihazları barındıran özel amaçlı binalar için belirlenen performans testlerini içerir (Bkz. Bölüm 4.1). Bu grubun en az zorlayıcı testi (Test 6) için 3 katlı binaların güvenirliliği tüm depremler için sağlanmıştır (Şekil 4.12 (a)). Test 5 için, fay hattına yakın mesafelerde ($r=0-6$ km) 3 katlı binanın güvenilirlik seviyesi TCU068 deprem kaydı hariç %100 değerine erişmiştir. Test 5’e göre daha zorlayıcı olan Test 4’te ise 3 katlı binaların güvenilirlikleri bazı depremler için sağlanamamıştır. Şekil 4.12 (b)’de görüldüğü gibi, fay hattına olan mesafeler arttıkça, güvenilirlik seviyeleri artarak, tüm depremlerde tüm testler için %100’e erişmiştir. Özellikle fay hattına yakın bölgelerde ($r=0-6$ km), üst yapı esnekliği daha fazla olan 9 katlı binaların güvenilirlik seviyesinin %80’i aşanlarının sayısı, 3 katlı binanın güvenilirlik seviyesinin 80’i aşanların sayısından daha azdır (Şekil 4.12 (c)). Söz konusu düşüşün, üst yapı esnekliğinin artması ile artan pik görelî kat ötelemesi oranlarının en zorlayıcı performans sınırını (0.0025) aşması sebebiyle oluştuğunu söylemek mümkündür. Ayrıca, fay hattına olan mesafelerin artması ($r=6-10$ km) ile, 3 katlı binada olduğu gibi, 9 katlı binanın güvenilirlik seviyeleri genel olarak artmaktadır.

Grup 3: Bu grup, konut gibi herhangi özel amaçlı titreşime duyarlı cihazı barındırmayan binalar için belirlenen performans testlerini içerir (Bkz. Bölüm 4.1). 10 m/s^2 limit için 3 ve 9 katlı binaların genel olarak başarılı olduğu dikkate alınır (Bkz. Bölüm 4.2.2), bu gruba ait %80'in altında kalan güvenilirlik seviyelerinin gözlemlendiği çok az sayıda durumun, göreceli kat öteleme oranı limitlerinin aşılmasından dolayı gerçekleştiğini söylemek mümkündür. Söz konusu durumlar, özellikle fay hattına daha yakın mesafelerde ($r=0-6 \text{ km}$) üst yapı esnekliği yüksek olan (9 katlı) binaların pik göreceli kat ötelemelerinin yüksek olması sebebiyle, bu grubun en zorlu testi olan Test 7'de ($L_{dr1}=0.0025$) gerçekleşmiştir (Şekil 4.13 (c)). Buna istinaden, ivmeye duyarlı ekipman bulundurmayan konut binalarında dahi, üst yapının elastik sınırlar içinde kalmasını istediğimizde 9 katlı binaların güvenilirliklerini özellikle faya çok yakın bölgelerde sağlamanın mümkün olmadığı söylenebilir. Öte yandan, aynı test altında, daha rijit üst yapıya sahip (3 katlı) binaların güvenilirliklerinin faya olan tüm mesafelerde genellikle sağlandığı; sadece fay hattına çok yakın bölgelerde ($r=0-6 \text{ km}$) bazı durumlar için sağlanmadığı görülmektedir. Test 7'ye göre daha kolay olan Test 8 ve Test 9 ise, hem 3 katlı hem de 9 katlı binalarda fay hattına çok yakın bölgelerde ($r=0-6 \text{ km}$) bile çoğu durumda %100 güvenilirlik elde edilmiştir. Faya biraz daha uzak bölgelerde ($r=6-10 \text{ km}$) ise, tüm durumlarda güvenilirliklerinin sağlandığı görülmektedir.

4.3. SENTETİK YAKIN-FAY DEPREMLERİ ALTINDA YARI-AKTİF SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN GÜVENİLİRLİĞİNİN İRDELENMESİ

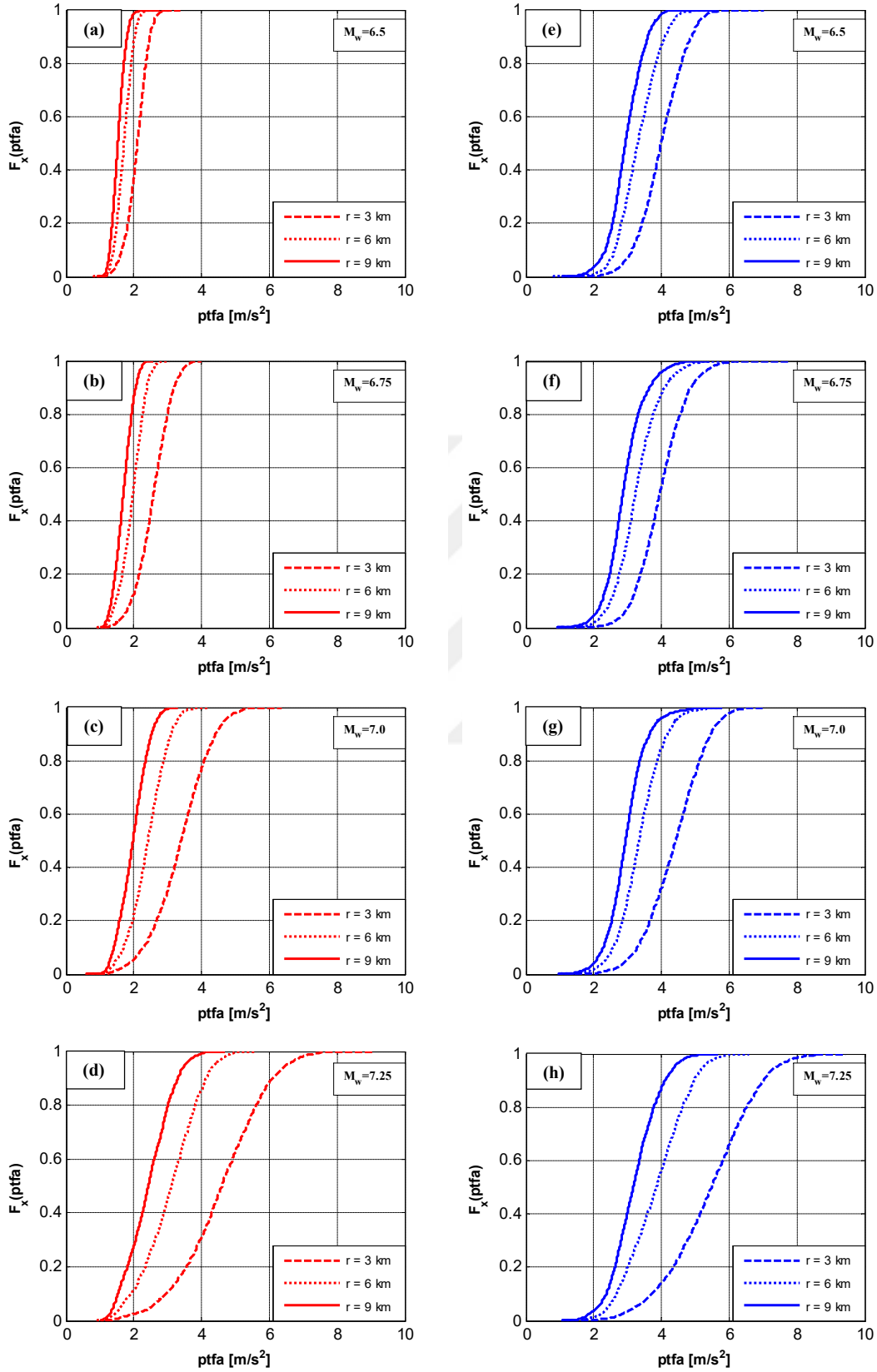
Puls içeren tarihi yakın-fay deprem kayıtlarının sınırlı sayıda olması sebebiyle, sonuçların deprem büyüklükleri ve faya olan mesafeler açısından sistematik olarak değerlendirilebilmesi için sentetik yakın-fay depremleri üretilerek; Monte-Carlo simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, kümülatif dağılım fonksiyonları (CDF) grafikleri, başarısızlık olasılığı (P_f) ve güvenilirlik ($\beta=1-P_f$) grafikleri cinsinden karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Farklı sismik izolasyon projeleri için farklı güvenilirlik seviyeleri (% 95,% 90, vb.) gerekli olabilmesine rağmen, bu tez kapsamında, %80 güvenilirlik seviyesi kabul edilebilir bir seviye olarak düşünülmüş ve sunulan grafikler bu seviye dikkate alınarak yorumlanmıştır.

4.3.1. Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF) Grafiklerinin İncelenmesi

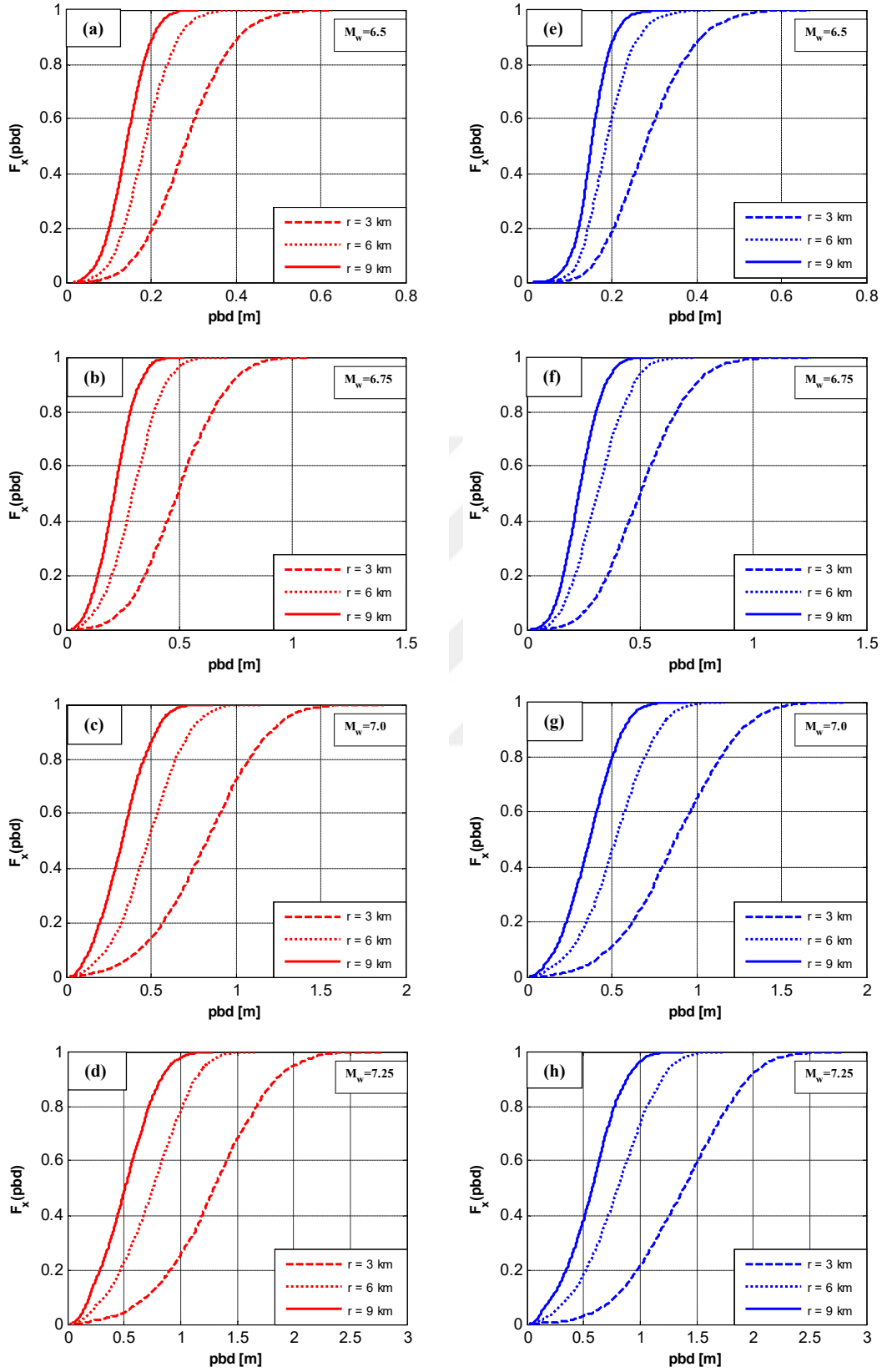
3 katlı ve 9 katlı yarı-aktif izolasyonlu binalar için fay hattına farklı yakın mesafelerdeki farklı deprem büyüklüklerine ($M_w = 6.5, 6.75, 7.0, 7.25$) karşılık gelen pik en alt kat göreceli kat

ötelemesi oranlarının (pdr), pik en üst kat ivmelerinin (ptfa) ve pik taban deplasmanlarının (pbd) kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) grafikleri (Bkz. Bölüm 3.2.2., Denklem 3.9) Şekil 4.14-Şekil 4.16’da sunulmuştur. Kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri (CDF) herhangi bir seçilmiş limit durum değerine karşılık gelen aşılma ihtimali bilgisini verebildikleri için, değerlendirilen bina modellerinin farklı güvenilirlik seviyelerini belirlemek amacıyla da kullanılabilir. Bu grafiklerden, deprem büyüklüğü arttıkça ve fay hattına olan mesafeler azaldıkça, bina yüksekliğinin de (dolayısıyla esnekliğin) artmasıyla CDF eğrilerinin nasıl farklılaştığını ve başarısızlık olasılıklarının nasıl arttığını görmek mümkündür.

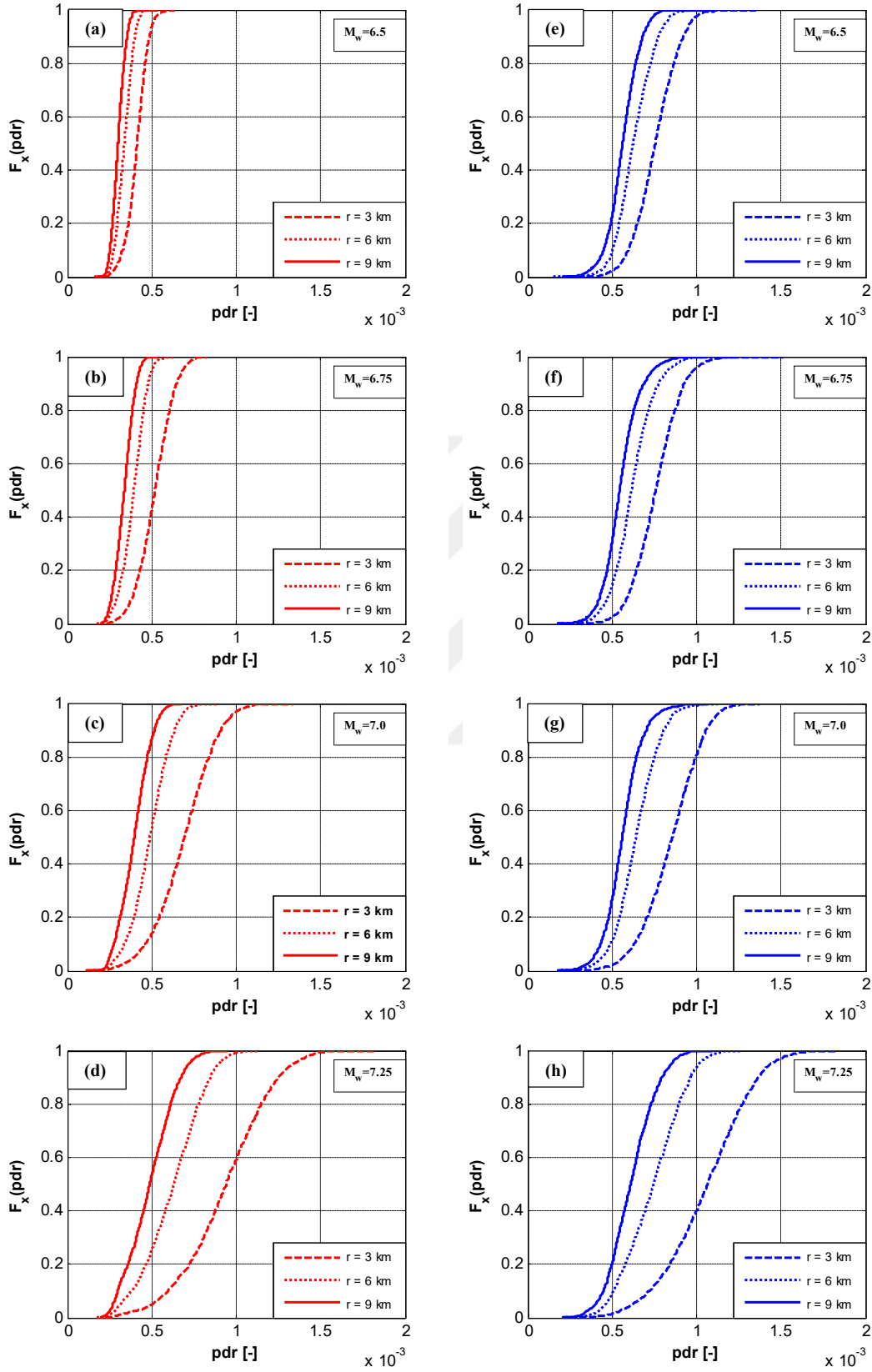
Şekil 4.14 (a)-(d)’de görüldüğü gibi, rijit üst yapıya sahip binaların (3 katlı) pik en üst kat ivmeleri, fay hattına olan yakın mesafelere (r) bağlı olarak $M_w=6.5$ depreminin gerçekleşmesi durumunda 0.9 m/s^2 ve 3.4 m/s^2 aralığında değişmektedir. Büyüklüğü $M_w=7.25$ olan deprem gerçekleştiğinde ise kat ivmeleri 1.0 m/s^2 ve 9 m/s^2 aralığında değişmektedir. Bu binalar için pik taban deplasmanları (Şekil 4.15(a)-(d)) ise $M_w=6.5$ depreminde 0.021 m ile 0.63 m aralığında değişirken, deprem büyüklüğünün artması ile ($M_w=7.25$) 0.032 m ile 2.78 m arasında değişmektedir. Rijit üst yapı binaların görelî kat ötelemesi oranları (Şekil 4.16) ise, $M_w=6.5$ depremi için 0.2×10^{-3} ile 0.6×10^{-3} aralığında değişirken; $M_w=7.25$ depremi için 0.2×10^{-3} ile 1.8×10^{-3} aralığında değişmiştir. Daha esnek bir üst yapıya (9 katlı) sahip binaya ait pik kat ivmeleri daha rijit binaya (3 katlı) göre artarak, $M_w=6.5$ ve $M_w=7.25$ depremleri için sırasıyla 1.0 m/s^2 ve 6.6 m/s^2 aralığında ve 1.0 m/s^2 ve 9.2 m/s^2 aralığında değişmektedir. Bu binalar için taban deplasmanları, 3 katlı binalara göre önemli ölçüde değişmemektedir. Esnek üst yapı binaların görelî kat ötelemesi oranları (Şekil 4.16) ise, $M_w=6.5$ depremi için 0.2×10^{-3} ile 1.4×10^{-3} aralığında değişirken; $M_w=7.25$ depremi için 0.2×10^{-3} ile 1.9×10^{-3} aralığında değişmiştir. Pik kat ivmelerine, pik taban deplasmanlarına ve pik görelî kat ötelemelerine ait CDF grafikleri incelendiğinde, deprem moment büyüklüğünün artması ve fay hattına olan mesafelerin azalması ile söz konusu değerlerin arttığını söylemek mümkündür. Ayrıca, üst yapı esnekliğinin artması ile pik kat ivmeleri ve pik görelî kat ötelemeleri artmaktadır.



Şekil 4.14: Pik en üst kat ivmelerine ait CDF grafikleri: (a)-(d) 3 katlı (e)-(h) 9 katlı.



Şekil 4.15: Pik taban deplasmanlarına ait CDF grafikleri: (a)-(d) 3 katlı (e)-(h) 9 katlı.



Şekil 4.16: Pik en alt kat görelî kat ötelemesi oranlarına ait CDF grafikleri: (a)-(d) 3 katlı (e)-(h) 9 katlı.

4.3.2. Başarısızlık Olasılıkları (P_f) Grafiklerinin İncelenmesi

3 katlı ve 9 katlı yarı-aktif sismik izolasyonlu binaların pik kat ivmelerine ve pik görelî kat ötelemeleri oranlarına ait başarısızlık olasılığı (P_f) (Bkz. Bölüm 4.2.2, Denklem 4.1-4.2) profilleri, tüm limitler, fay hattına olan farklı mesafeler ve farklı deprem büyüklükleri için binanın yüksekliği boyunca (0 tabanı temsil etmektedir) Şekil 4.17-Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.23’te ise pik taban deplasmanları için başarısızlık olasılıkları gösterilmektedir. Şekil 4.17-Şekil 4.23’te farklı yapısal cevap parametrelerine ait başarısızlık olasılıkları için sunulan kapsamlı bilgi yelpazesi, incelenen her durumun güvenilirlik seviyelerini belirlemek için kullanılabilir bir veri kaynağı olmaktadır.

Genel bir eğilim olarak, moment büyüklüğü arttıkça (M_w) ve faya olan en yakın mesafeler (r) azaldıkça başarısızlık olasılıklarının (P_f) belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, pik kat ivmeleri ve pik görelî kat ötelemeleri oranları bakımından başarısızlık olasılıklarının, daha esnek üstyapıya sahip binalar için (9 katlı) çok daha büyük olduğu gözlenirken, 3 katlı ve 9 katlı binaların pik taban deplasmanlarına ait başarısızlık olasılıkları arasında belirgin bir fark gözlenmemektedir. Buna ek olarak, pik kat ivmeleri ve pik görelî kat ötelemeleri oranları açısından başarısızlık olasılıkları, esnek üstyapıya sahip binaların (9 katlı) yüksekliği boyunca değişirken, rijit üstyapıya sahip (3 katlı) binaların yüksekliği boyunca çok fazla değişmemektedir.

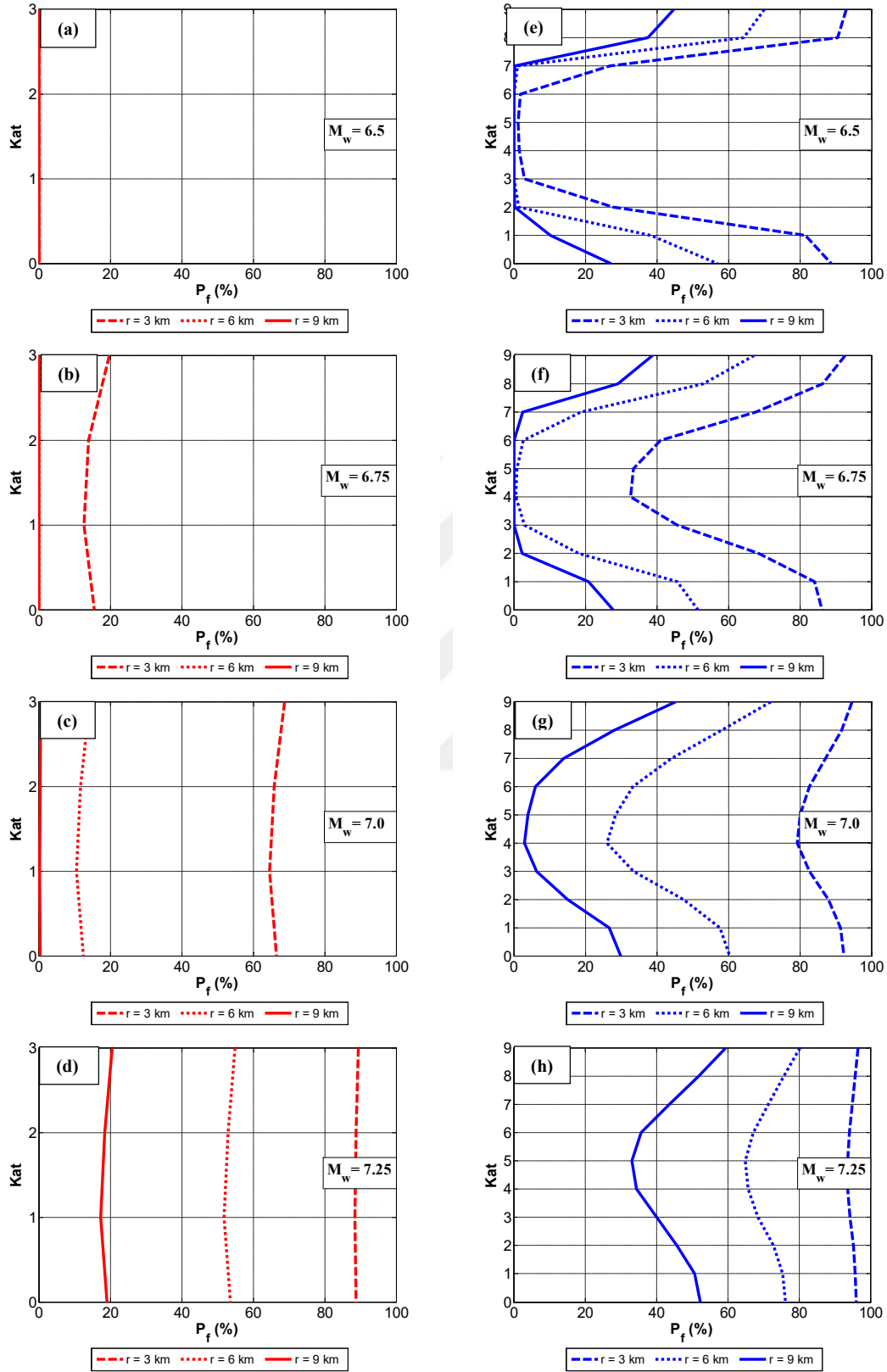
En zorlayıcı pik kat ivmesi limiti ($La_1=3m/s^2$) altında, 3 katlı binalarda P_f değerleri $M_w=7.25$ ve $r=3$ km’de tüm katlar için kabul edilemez bir değer yani yaklaşık olarak %90’a varmakla birlikte (Şekil 4.17 (d)) daha küçük depremler ve daha uzak fay mesafeleri için makul seviyelere, hatta $M_w=6.5$ için %0’a kadar inmektedir. 9 katlı binalar için ise P_f değerleri özellikle en üst ve en alt katlarda oldukça yüksektir (Şekil 4.17 (e)-(h)). Orta katlar için ise P_f değerlerinin büyüklüğü $M_w \leq 6.75$ olan depremlerin tüm fay mesafeleri için ($M_w=6.75$, $r=3$ km hariç) neredeyse sıfırdır (Şekil 4.17 (e)-(f)).

İlımlı ivme performans limiti ($La_2=5$ m/s²) için, 3 katlı binanın tüm katlarında başarısızlık olasılığı, $M_w \leq 7.0$ olan depremlerde faya olan tüm yakın mesafeler için hemen hemen sıfırdır (Şekil 4.18(a)-(c)). Sadece $M_w=7.25$ ve $r=3$ km depremi için başarısızlık olasılığı (P_f) yaklaşık olarak %38’e yükselir (Şekil 4.18 (d)). 9 katlı binalar için başarısızlık olasılıkları daha büyük olmakla birlikte $M_w \leq 7.0$ olan depremlerde başarısızlık olasılığı (P_f) değeri yaklaşık olarak

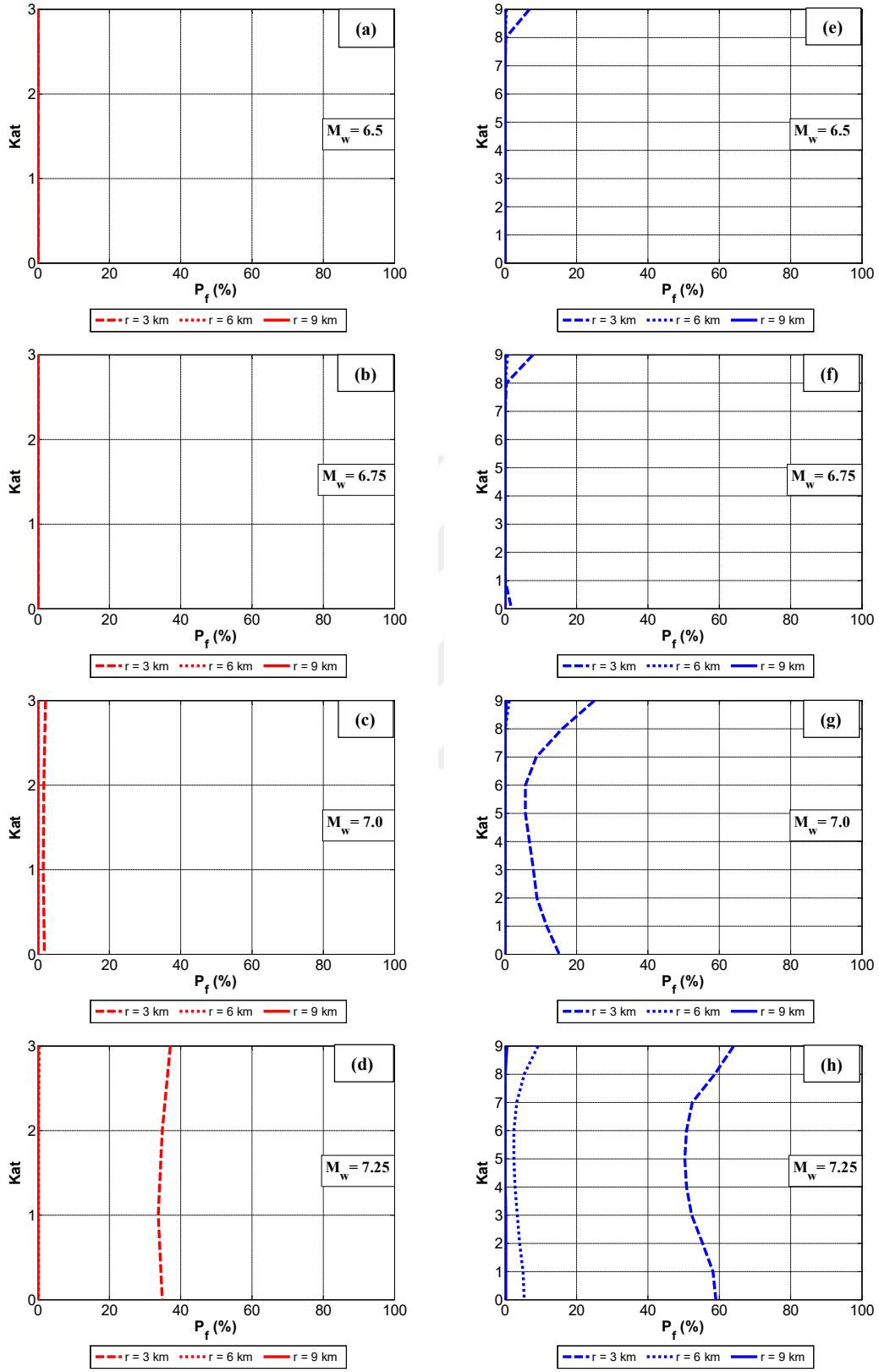
%25'den az olduğu için yine de toleranslı bir aralıkta olduğu söylenebilir (Şekil 4.18 (e)-(g)). Bu bina için en yüksek P_f değeri, en büyük deprem moment büyüklüğünde ve faya olan en yakın mesafede ($M_w=7.25$ ve $r=3$ km), en üst katta %60'ı biraz aşmıştır (Şekil 4.18 (h)).

En az zorlayıcı ivme limiti ($L_{a3}=10 \text{ m/s}^2$) için, 3 katlı ve 9 katlı binaların başarısızlık olasılıkları Şekil 4.19'da sunulmaktadır. Söz konusu limit altındaki başarısızlık olasılığı faya olan tüm mesafelerde tüm deprem büyüklükleri için her iki bina için de hemen hemen %0'dır.

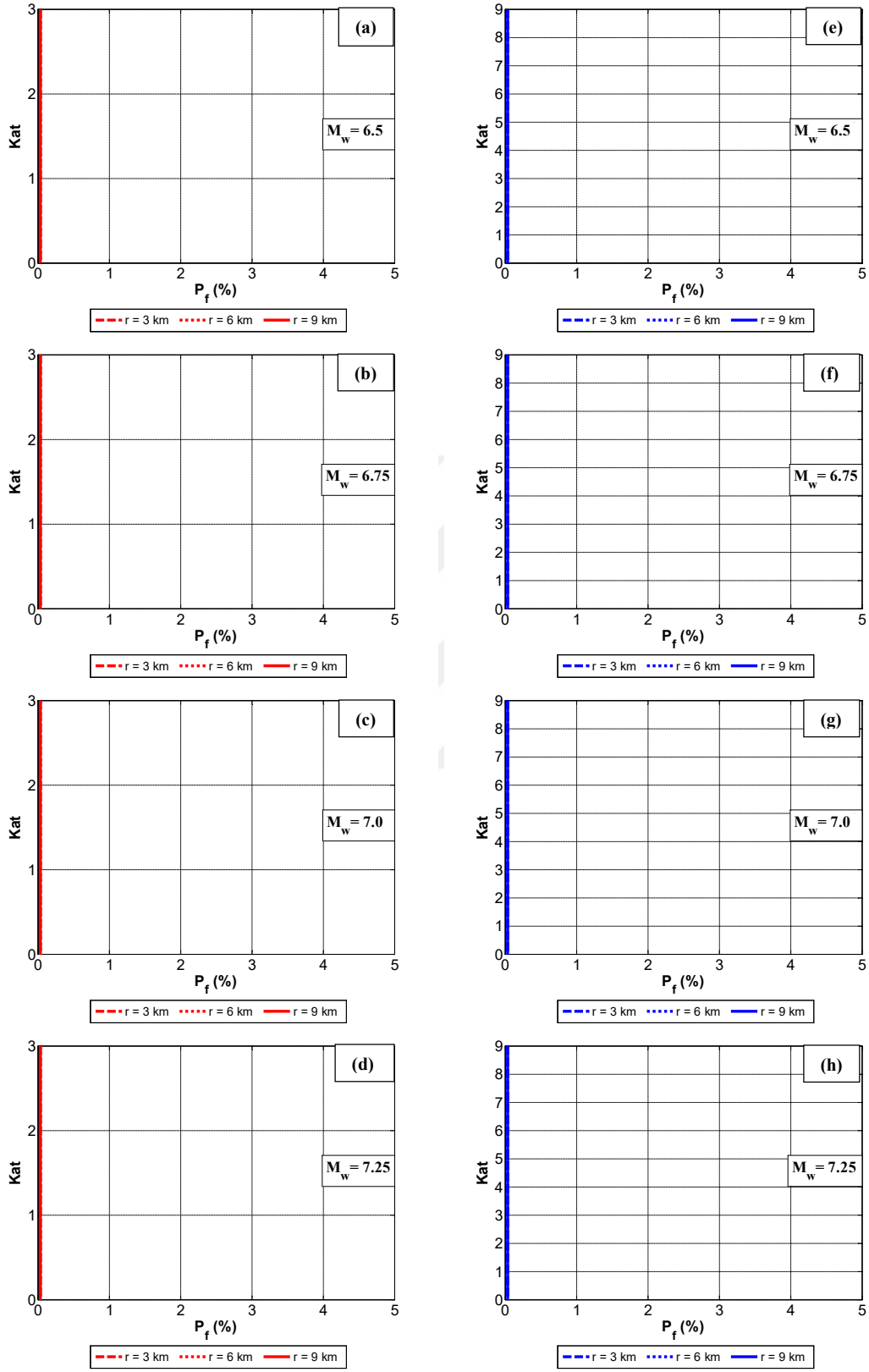
3 katlı binanın ılımlı görelî kat ötelemesi performans sınırı ($L_{dr2}=0.005$) altındaki, tüm deprem momenti büyüklükleri ve tüm faya olan mesafeler için başarısızlık olasılıkları sıfırdır (Şekil 4.21 (a)-(d)). En zorlayıcı performans limiti ($L_{dr1}=0.0025$) için de (Bkz. Şekil 4.20 (a)-(d)) başarısızlık olasılıkları tüm durumlar için yaklaşık olarak sıfır olarak gözlemlenmiştir ($M_w=7.0$ ve $r=3$ km depremi ($P_f=\%18$ -Şekil 4.20 (c)) ve $M_w=7.25$ ve $r=3$ km depremi ($P_f=\%60$ -Şekil 4.20 (d) hariç). Ancak 9 katlı binada, deprem büyüklüğü arttıkça ve fay hattına olan mesafenin azalmasıyla başarısızlık olasılıkları artar (Şekil 4.21 (e)-(h) ve Şekil 4.20(e)-(h)). $L_{dr2}=0.005$ görelî kat ötelemesi limiti altında, özellikle en alt katların başarısızlık olasılıklarının yüksek olduğu; $M_w=7.25$ ve $r=3$ km depremi altında başarısızlık olasılıklarının %90'a ulaşırken (Şekil 4.21 (h)), $L_{dr1}=0.0025$ limiti altında tüm fay mesafeleri için %90 ile %100 arasında değiştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.20 (h)). Tüm binalara ait başarısızlık olasılıkları en az zorlayıcı sınır ($L_{dr3}=0.01$) altında, tüm deprem büyüklükleri ve faya olan tüm mesafelerde %0 olduğu Şekil 4.22'den görülmektedir. Sismik izolasyonlu binaların üst yapılarındaki elastik ötesi davranışa denk gelen değer olan 0.01 limiti hiçbir durumda aşılmadığından, yarı-aktif izolasyonlu binaların bu anlamda başarılı olduğu söylenebilmektedir.



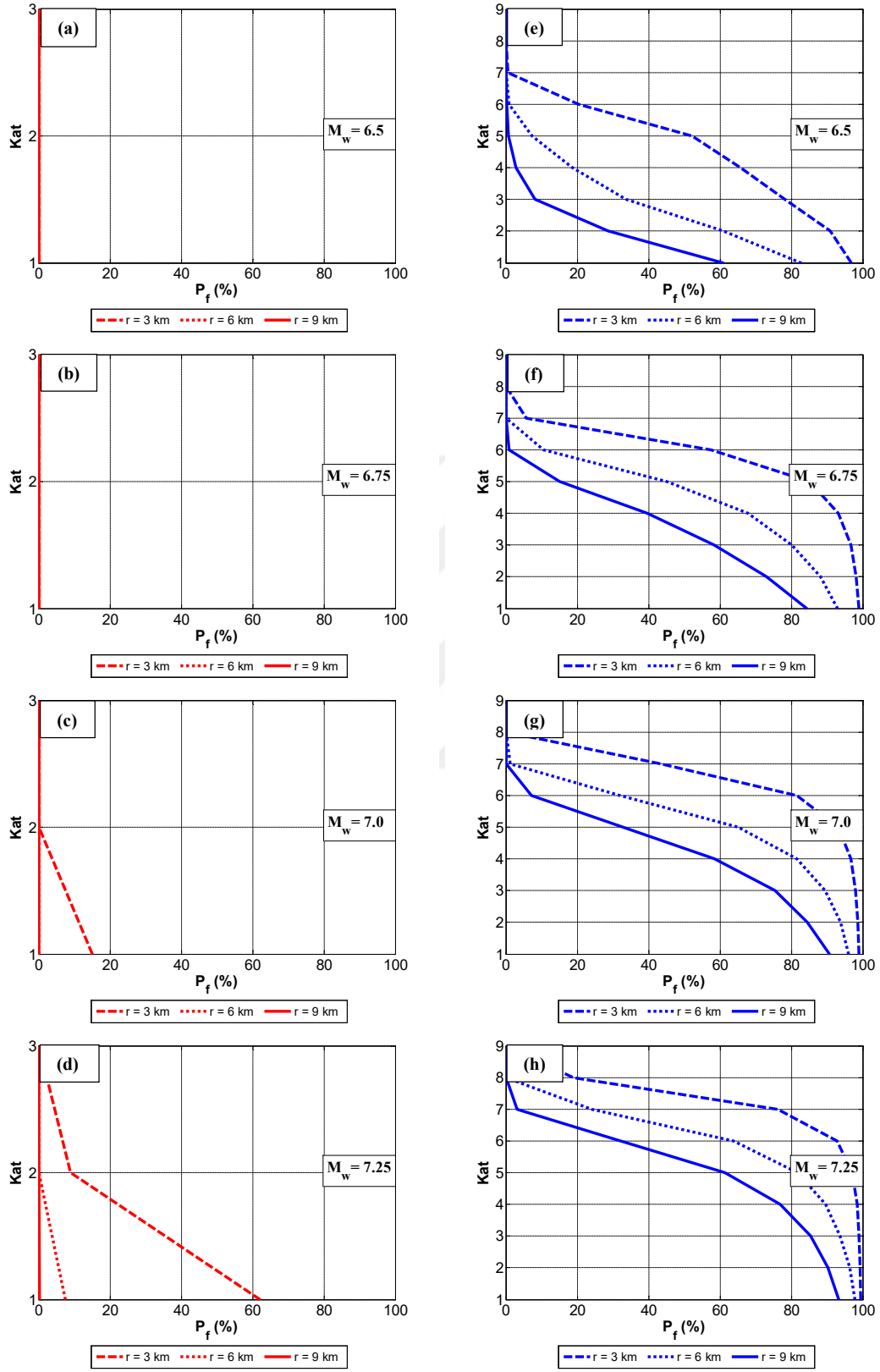
Şekil 4.17: $La_1=3 \text{ m/s}^2$ limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.



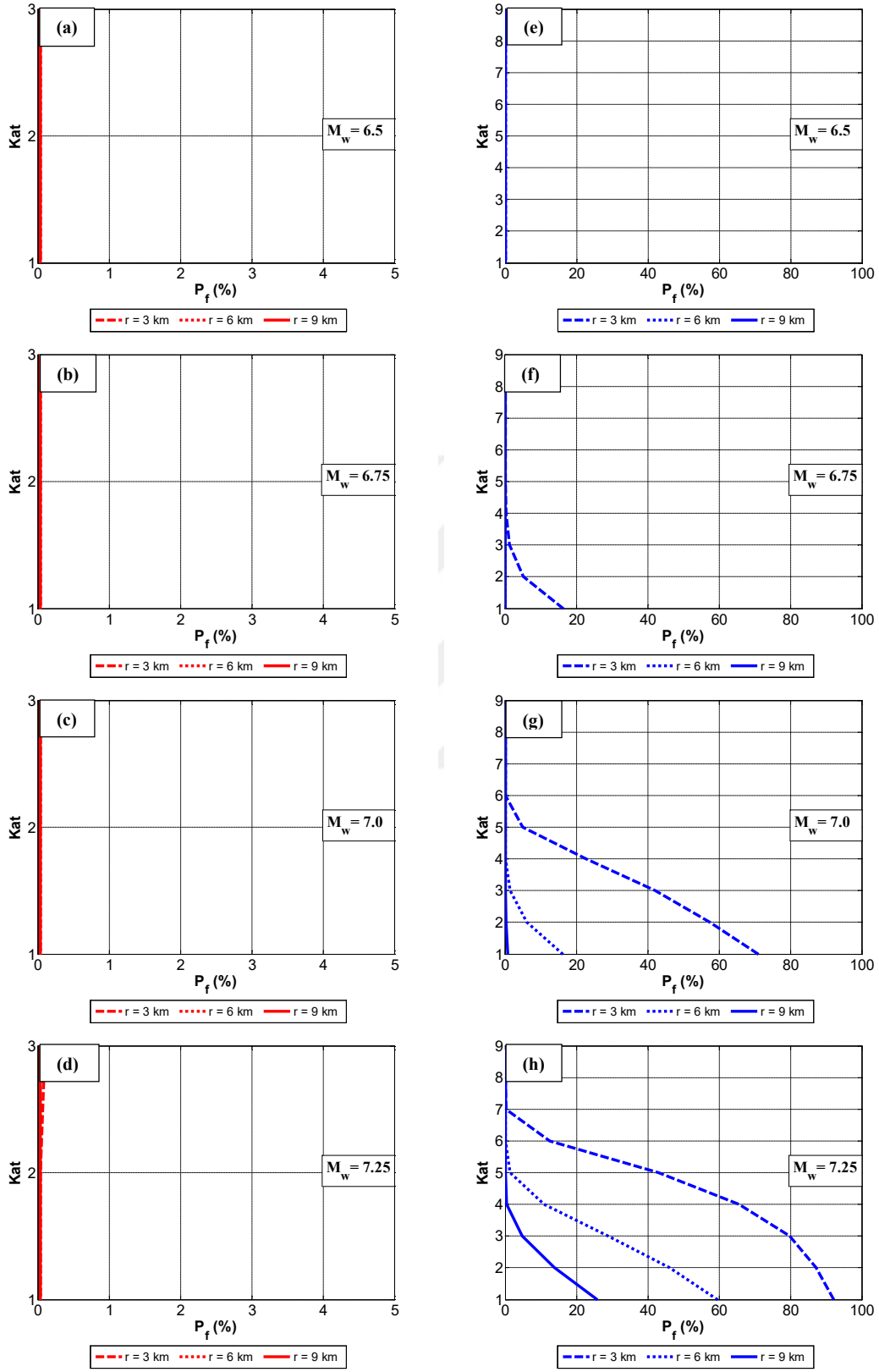
Şekil 4.18: $La_2=5$ m/s² limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.



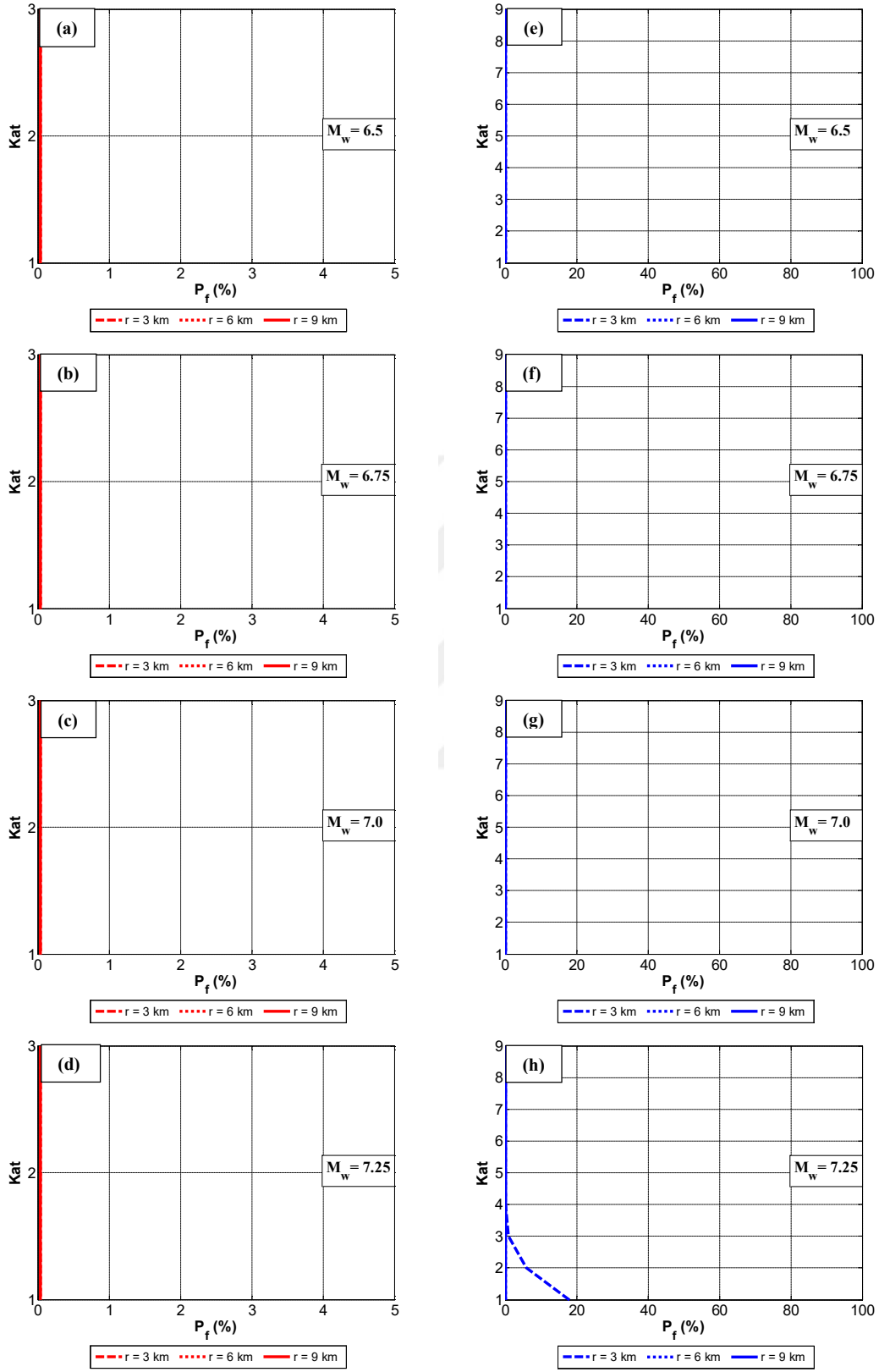
Şekil 4.19: $La_3=10$ m/s² limiti altında pik kat ivmelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.



Şekil 4.20: $Ldr_1=0.0025$ limiti altında pik görelî kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.

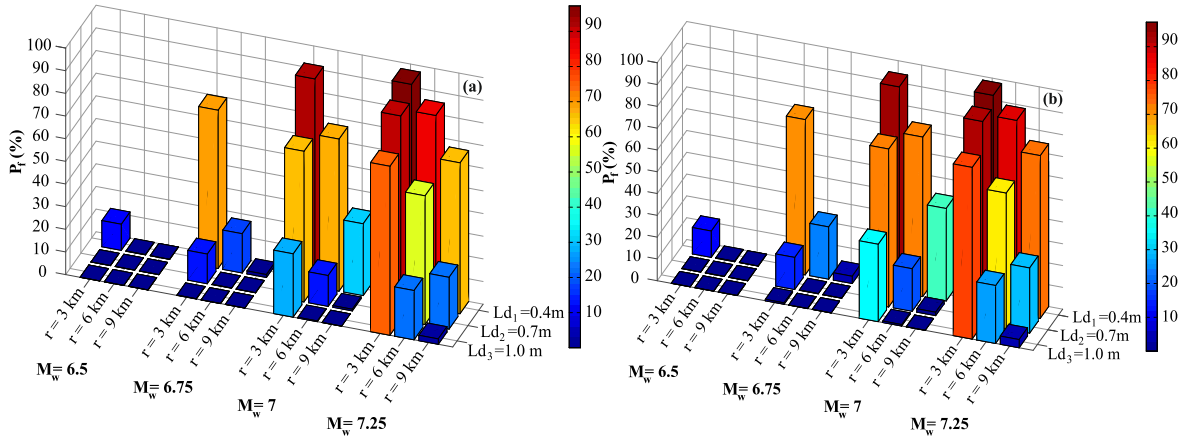


Şekil 4.21: $Ldr_2=0.005$ limiti altında pik görelî kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.



Şekil 4.22: $Ldr_3=0.01$ limiti altında pik görelî kat ötelemelerine ait başarısızlık olasılıkları profilleri: (a)-(d): 3 katlı (e)-(h): 9 katlı.

Rijit üst yapıya sahip (3 katlı) bina ile daha esnek üst yapıya sahip (9 katlı) binanın taban deplasmanlarına ait başarısızlık olasılıkları karşılaştırmalı olarak inceleyebilmek için, tüm deprem moment büyüklükleri ve faya olan tüm mesafeler için üç farklı taban deplasmanı limiti altında Şekil 4.23'te sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi, başarısızlık olasılıkları her iki bina için de oldukça yakındır. $M_w=6.5$ depreminde, fay hattına olan en yakın mesafede dahi ($r=3$ km) en zorlayıcı limit $L_{d1}=0.4$ m hariç ($P_f=\%10$) başarısızlık olasılıkları neredeyse sıfırdır. Deprem büyüklüğünün $M_w=6.75$ 'e yükselmesi ile $r=3$ km'de ılımlı limit ($L_{d2}=0.7$ m) altında ve $r=6$ km'de en zorlayıcı limit altında ($L_{d1}=0.4$ m) başarısızlık olasılıkları az miktarda artmaya başlayarak $P_f=\%20$ değerine erişir. Başarısızlık olasılıkları $r=3$ km'de $L_{d1}=0.4$ m limiti altında, yükselerek $\%80$ değerine sıçramıştır. Deprem büyüklüğü $M_w=7.0$ 'ye ve özellikle 7.25 'e yükseldiğinde, başarısızlık olasılıkları önemli ölçüde artmaktadır. Deprem büyüklüğü $M_w=7.0$ için, $r \geq 3$ km mesafede, ılımlı limit ($L_{d2}=0.7$ m) ve en az zorlayıcı limit ($L_{d3}=1.0$ m) başarıyla karşılanabilir. Ancak, özellikle fayın en yakınında ($r=3$ km) başarısızlık olasılığı (P_f) oldukça yükselerek $L_{d1}=0.4$ m limiti için $\%90$ değerine, $L_{d3}=1.0$ m limiti altında dahi $\%30$ 'a ulaşabilmektedir. $M_w=7.25$ depremi meydana geldiğinde, en az zorlayıcı limit altında başarısızlık olasılıklarının $r=9$ km'de $\%5$ 'i geçmeyip, kabul edilebilir seviyelerde kaldığı söylenebilir. Ancak diğer tüm durumlarda, başarısızlık olasılıkları en zorlayıcı limit altında ve $r=3$ km'de $\%100$ 'e erişerek kabul edilemez şekilde yükselmiştir.



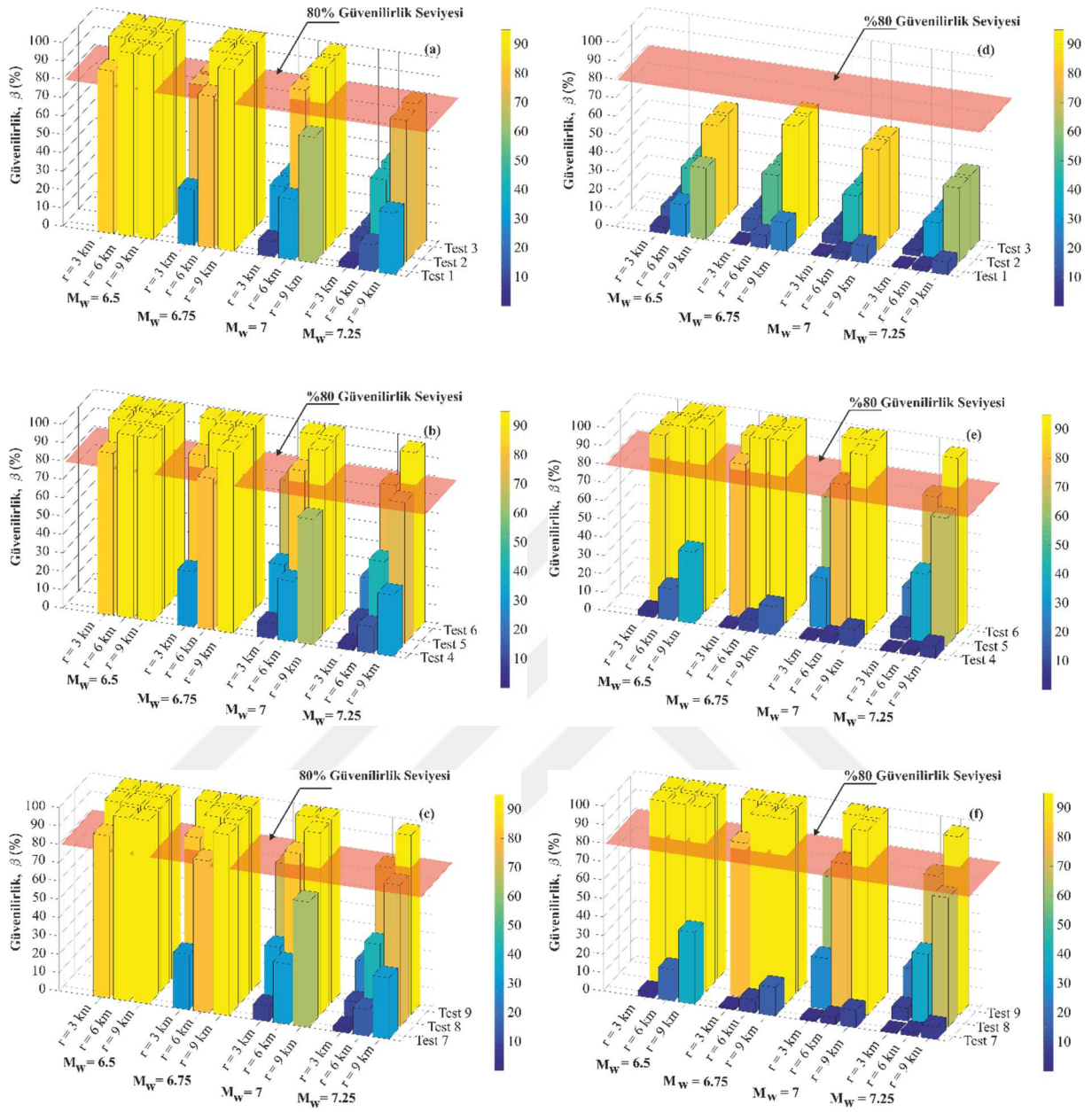
Şekil 4.23: Tüm pik taban deplasmanı limitleri altında ($L_{d1}=0.4$ m, $L_{d2}=0.7$ m and $L_{d3}=1.0$ m) başarısızlık olasılıkları: (a) 3 katlı ve (b) 9 katlı bina.

4.3.3. Sentetik Yakın-Fay Depremlerine Maruz Binaların Güvenilirlik Grafiklerinin İncelenmesi

Yukarıda tartışılan sonuçlardan, başarısızlık olasılıklarının, üst yapı esnekliği, deprem büyüklüğü ve fay hattına olan en yakın mesafeye bağlı olarak farklı yapısal tepki parametreleri için farklı hassasiyet gösterdiği görülmektedir. Bu kısımda, her bir sismik cevap parametresi için tanımlanan üç farklı performans limitinin kombinasyonları ile oluşturulan test grupları için güvenilirlik (β) (Bölüm 4.1) grafikleri tüm test grupları için Şekil 4.24'te sunulmuştur. Güvenilirlik grafikleri 3 ve 9 katlı binalar için tüm deprem büyüklükleri ve faya olan tüm mesafeler için, %80 güvenilirlik seviyesi dikkate alınarak yorumlanmıştır.

Grup 1: En zorlayıcı testleri içeren bu grupta (Bkz. Bölüm 4.1), ilk bakışta 9 katlı binanın tüm güvenilirlik seviyelerinin %80'nin altında olduğu görülmektedir (Şekil 4.24 (d)). Bu durum, 9 katlı binanın özellikle 3 m/s^2 kat ivmesi performans limitini karşılayamayacağı anlamına gelmektedir. Ancak, 3 katlı binaların güvenilirlik seviyeleri (Şekil 4.24 (a)), orta büyüklükteki depremlerde ($M_w=6.5$ ve 6.75) fay hattına olan tüm uzaklıklarda Test 2 ve 3 için %80'in üzerine çıkarak, başarı sağlamıştır. Deprem moment büyüklüğü yüksek olan depremlerde ($M_w=7.0$ ve 7.25) güvenilirlik seviyeleri fay hattına olan mesafenin 9 km olması durumunda %80'ine üzerine çıkmaktadır; ancak daha yakın-fay mesafeleri için ve özellikle $M_w=7.25$ depremi için güvenilirlik seviyeleri bu seviyenin altına düşmektedir. 3 katlı binanın güvenilirlik seviyelerinin orta şiddetli depremlerde ($M_w=6.5$ ve 6.75) fay hattına olan tüm mesafelerde ($M_w=6.75$, $r=3 \text{ km}$ hariç) en zorlayıcı test altında (Test 1) dahi başarılı olduğunu görmek ilgi çekicidir. Diğer yandan, daha büyük depremler için ($M_w=7.0$ ve 7.25), Test 1'deki güvenilirlik seviyeleri, 3 katlı binalar için bile fay hattına olan tüm mesafelerde %80'in altına düşmektedir.

Grup 2: Orta zorluktaki testleri içeren bu grup (Bkz. Bölüm 4.1) kapsamında Şekil 4.24 (b) ve (e)'de sunulan Test 5'e ait sonuçlardan, 3 katlı ve 9 katlı binaların güvenilirliğinin orta büyüklükteki depremlerde ($M_w=6.5$ ve 6.75) fay hattına olan tüm mesafelerde %80'in üstünde kaldığı; böylece oldukça yüksek performans sergilediği görülmektedir. Fakat daha büyük deprem büyüklükleri ($M_w=7.0$ ve 7.25) için fay hattına olan mesafenin 6 km'den daha yakın olduğu durumlarda güvenilirlik %80'in altına düşmektedir. En büyük deprem magnitudü ve faya olan en yakın mesafe ($M_w=7.25$, $r = 3 \text{ km}$) için güvenilirlik değeri %10 düzeyindedir.



Şekil 4.24: Yarı-aktif izolasyonlu binaların güvenirlilikleri: 3 katlı (sol kolon) (a) Grup 1, (b) Grup 2, (c) Grup 3 ve 9 katlı (sağ kolon) (d) Grup 1, (e) Grup 2, (f) Grup 3. Not: Her bir fay mesafesi ve deprem büyüklüğü için 3000 analiz gerçekleştirildiğinden %80 güvenirlilik seviyesi bunlardan en az 2400'ünün performans kriterlerini sağlayacağı anlamına gelmektedir.

Test 5'e göre daha az zorlayıcı olan Test 6'da elde edilen güvenirlilik sonuçları, Test 5 için elde sonuçlardan biraz yüksektir. Fakat daha zorlayıcı bir test olan Test 4 için güvenirlilik Test 5'te elde edilenden çok daha düşüktür: 3 katlı binaların güvenirlilik seviyeleri büyük depremlere ($M_w=7.0$ ve 7.25) maruz kalmaları durumunda fay hattına olan tüm mesafelerde ve orta büyüklükteki depremlerde ($M_w=6.75$) faya olan en yakın mesafede ($r=3$ km) % 80'in altındadır.

9 katlı binanın güvenilirlik seviyeleri, tüm deprem büyüklükleri ve fay hattına olan tüm mesafelerde % 80'in altındadır ve hepsi 3 katlı binadan elde edilen güvenilirlik seviyelerinden çok daha düşüktür. Bu durumun nedeni ise, pik görelî kat ötelemesi oranı en zorlayıcı performans sınırının (0.0025), 9 katlı bina (esnek üstyapı) tarafından karşılanması oldukça güç olmasıdır.

Grup 3: En az zorlayıcı olan bu grupta (Bkz. Bölüm 4.1), Şekil 4.24 (c) ve (f)-Test 9'dan görüldüğü gibi, hem 3 katlı hem de 9 katlı binalar çok yüksek bir performans sergilemiş ve orta büyüklükteki depremlerde ($M_w=6.5$ ve 6.75) fay hattına olan tüm mesafelerde %100 güvenilirliğe ulaşmıştır. Büyük depremlerde fay hattına olan mesafeler azaldıkça güvenilirlik seviyeleri düşmesine karşın; güvenilirliği %20 mertebesinde olan en büyük deprem ($M_w=7.25$, $r=3$ km) haricinde hala %80'e yakındır. Yarı-aktif izolasyon sistemine sahip binaların güvenilirliği, özellikle büyük depremlerde ($M_w=7.0$ ve 7.25), pik taban deplasmanı ve pik görelî kat ötelemeleri oranı performans sınırları zorlaştırıldığında (Test 7 ve 8), 6 km'den daha yakın mesafelerde %80'in altına düşer ($M_w=7.0$, $r=6$ km hariç). Ayrıca, 9 katlı binanın güvenilirlik seviyeleri, Test 8 ve 9 için 3 katlı binanın güvenilirlik seviyelerine yakındır ancak Test 7 için belirgin bir şekilde daha düşüktür. Bunun sebebi, Test 7'de bulunan en zorlayıcı pik görelî kat ötelemesi limiti 0.0025'in esnek üst yapıya sahip bina (9 katlı) tarafından karşılanmasının güç olduğu anlamına gelir. Aynı test altında değerlendirilen daha rijit üst yapıya sahip binanın (3 katlı) söz konusu limiti, büyük magnitüdü depremler hariç ($M_w=7.0$ ve 7.25) fay hattına oldukça yakın mesafelerde ($r \leq 6$ km) karşıladığı görülmüştür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, titreşime duyarlı teçhizatın ve yapısal bütünlüğün korunmasında yarı-aktif izolasyonun etkinliği, yarı-aktif cihazların ve/veya sismik izolatörlerin mekanik özellikleri ve deprem kaydı karakteristik parametrelerinin olası değişkenlikleri dikkate alınarak incelenmiştir. Bu amaçla, yarı-aktif izolasyonlu 3 katlı (rijit üst yapı) ve 9 katlı (esnek üst yapı) binaların güvenilirliğini belirlemek için kullanılan Monte-Carlo Simülasyonu ve fay hattına çeşitli mesafelerde ve büyüklüklerde deprem üretme imkânı veren sentetik deprem modeli tez kapsamında tanıtılmıştır. Farklı fay hattına mesafeler ve deprem büyüklüklerine sahip tarihi ve sentetik yakın-fay depremlerine maruz bırakılan tipik yarı-aktif izolasyonlu binaları temsil eden farklı üst yapı esnekliklerine sahip binaların, farklı pratik performans kriterleri altında geniş kapsamlı bilgi sunan güvenilirlik seviyesi grafiklerinin yararlı bilgiler sağlamaları beklenmektedir. Bu çalışmanın sonuçları şöyle özetlenebilir:

- (1) Yarı-aktif izolasyon sistemi elemanlarının mekanik parametrelerindeki ve deprem kaydı karakteristik parametrelerindeki belirsizlikler nedeniyle, yarı-aktif sismik izolasyonlu binaların dinamik tepkilerinin belirgin bir şekilde değişebileceğini kümülatif dağılım fonksiyonu grafikleri göstermiştir.
- (2) Deprem karakteristik parametrelerindeki belirsizliklerin binaların dinamik tepkileri üzerindeki etkisinin izolasyon sistemindeki belirsizliklere göre daha baskın olduğu belirlenmiştir.
- (3) Moment büyüklüğü arttıkça ve fay hattına olan mesafeler azaldıkça başarısızlık olasılıklarının önemli derecede arttığı görülmüştür.
- (4) Rijit üst yapılara sahip olanlara kıyasla, esnek üst yapılara sahip yarı-aktif olarak izole edilmiş binalar için pik kat ivmeleri ve pik görelî kat öteleme oranları açısından başarısızlık olasılıkları daha yüksek iken; pik taban deplasmanları açısından başarısızlık olasılıkları her ikisi için de genellikle benzerdir.
- (5) Yarı-aktif olarak izole edilmiş binaların yüksekliği boyunca pik kat ivmeleri açısından başarısızlık olasılığı profillerinde, esnek üst yapıya sahip binaların en alt ve en üst katlarına kıyasla orta katlarda çok daha düşük başarısızlık olasılıklarının ortaya çıktığı, rijit üst yapıya sahip binalarda ise tüm katlarda hemen hemen aynı kaldığı görülmüştür.

Dolayısıyla, ivmeye hassas cihazların başarısızlık olasılıklarının daha düşük olduğu katlara yerleştirilmesi uygun olacaktır.

- (6) Göreli kat ötelemesi oranı, yapısal ve yapısal olmayan elemanların güvenliği ile ilgili gösterge niteliğinde bir cevap parametresidir. Her ne kadar ASCE 7-10 yönetmeliğinde verilen 0.01 limiti, hem rijit hem de esnek üst yapılara sahip yarı-aktif olarak izole edilmiş binalarda çoğunlukla karşılanabilse de, üst yapının elastik kalabilmesine karşılık gelen 0.005 limitinin esnek üst yapıya sahip binalarda karşılanamayacağı durumlar olduğu görülmüştür. Bu durum, esnek üst yapılara sahip yarı-aktif izolasyonlu binaların, fay hattına yakın depremlere maruz kaldığında üst yapıda meydana gelebilecek doğrusal olmayan etkilerin göz önüne alınarak analiz edilmesi gerektiğini de göstermektedir.
- (7) Yapısal olmayan gevrek elemanlardaki hasarları (alçı çatlakları, pencere hasarları, vb.) önleyebilmek için önerilen 0.0025 sınırı, rijit üst yapı binalarda tüm tarihi depremlerde ve $M_w \leq 7.0$ olan sentetik depremlerde karşılanabilirken; esnek üst yapıya sahip binalarda çoğu durumda karşılanamamıştır.
- (8) Mikroçip üretim tesisleri, veri merkezleri gibi pik kat ivmelerinin 3 m/s^2 'yi geçmemesi gereken titreşimlere karşı çok hassas cihazlara sahip yarı-aktif izolasyonlu binalar için, esnek üst yapıya sahip olanların, incelenen tüm sentetik deprem büyüklükleri için ($M_w=6.5, 6.75, 7.0, 7.25$) güvenilirliklerinin %80'in altına düşerek söz konusu limiti karşılayamadığı görülmektedir. Tarihi depremlerde de, fay hattına daha yakın bölgelerde ($r=0-6 \text{ km}$) neredeyse incelenen tüm depremlerde güvenilirliklerinin %80'in altında kaldığı; fay hattına görece daha uzak bölgelerde ($r=6-10 \text{ km}$) bile güvenilirlik seviyelerinde %80'in altında kalan durumlar olabileceği görülmüştür.
- (9) Rijit üst yapıya sahip binaların, 3 m/s^2 ivme limitini orta büyüklükteki ($M_w=6.5, 6.75$) sentetik depremlerde genellikle sağlayarak güvenilir olduğu, yüksek deprem büyüklüklerine ($M_w=7.0, 7.25$) sahip sentetik depremlerde bile güvenilirlik seviyelerinin fay hattına 9 km mesafeler için %80'in üzerinde kaldığı (ancak daha yakın mesafeler için bu seviyenin altına düşmektedir) görülmüştür.
- (10) Pik kat ivmelerinin 5 m/s^2 'yi geçmemesi gerektiği tipik titreşime duyarlı içerikleri barındıran laboratuvarlar, hastaneler, vb. gibi yarı aktif olarak izole edilmiş özel amaçlı

binalar için, göreceli kat ötelemesi oranı ve taban deplasmanı performans sınırları için sırasıyla beklenen performanslar 0.005 ve 70 cm dikkate alındığında, hem rijit hem de esnek üst yapıya sahip olan binaların, dikkate alınan tüm mesafeler için orta büyüklükteki depremlerde ($M_w=6.5, 6.75$) güvenilir olduğu söylenebilir. Fakat fay hattına olan mesafelerin 6 km'den daha yakın olması durumunda büyük depremler ($M_w=7.0, 7.25$) altında güvenilirlik seviyeleri %80'in altındadır. Tarihi depremler açısından incelendiğinde, rijit üst yapıya sahip binaların tüm fay mesafelerinde oldukça güvenilir olduğu; esnek üst yapı binaların fay hattına yaklaştıkça bazı depremlerde güvenilirliğinin %80'in altında olduğu; fakat fay hattından uzaklaştıkça %80'in üstünde olan durumların arttığı söylenebilir.

- (11) 10 m/s²'ye kadar pik kat ivmelerinin kabul edilebileceği yerlerde titreşim duyarlı içeriği olmayan yarı-aktif izolasyonlu konut binalarında pik göreceli kat ötelemesi oranı ve pik taban deplasmanı için sırasıyla tipik yönetmelik sınırı olan 0.01 ve fiziki olarak erişilebilir kauçuk izolatör limiti olan 100 cm performans sınırı belirlendiğinde, hem rijit hem de esnek üst yapıya sahip binaların, fay hattına yakın mesafelerde tüm deprem büyüklükleri için ($M_w=7.25, r=3$ km depremi hariç) güvenilir olduğu düşünülebilir. Tarihi depremler için de sonuçlar incelendiğinde, tüm mesafelerde meydana gelen neredeyse tüm depremler (TCU068 hariç) için güvenilir oldukları görülmüştür.

- (12) Tarihi deprem kayıtları kullanılarak elde edilen genel eğilimlere ilişkin sonuçlar sentetik deprem kayıtlar kullanılarak elde edilenler ile uyumludur.

Çalışmanın ana kabulleri ve sınırlılıkları, Bölüm 2'de belirtilmiştir. Bu sınırlılıkların bir veya birkaçının kaldırılarak ilgili hususların dikkate alındığı çalışmalar, gelecekteki çalışmalar olarak planlanabilir. Örneğin, plandaki düzensizliklerin, farklı kontrol kurallarının, üst yapı detaylarındaki farklılıkların veya zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Alhan, C., 2003, *Performance and reliability of passive and controllable seismic isolation systems*, Thesis (PhD), Department of Civil and Environmental Engineering, Duke University.
- Alhan, C. and Gavin, H., 2004, A parametric study of linear and non-linear passively damped seismic isolation systems for buildings, *Engineering Structures*, 26, 485-497.
- Alhan, C. and Öncü-Davas, S., 2016, Performance limits of seismically isolated buildings under near-field earthquakes, *Engineering Structures*, 116, 83-94.
- Alhan, C. and Sürmeli, M., 2011, Shear building representations of seismically isolated buildings, *Bulletin Of Earthquake Engineering*, 9(5), 1643-1671.
- Alhan, C. and Gavin, H.P., 2005, Reliability of base isolation for the protection of critical equipment from earthquake hazards, *Engineering Structures*, 27, 1435-1449.
- Alhan, C., Gavin, H.P. and Aldemir, U., 2006, Optimal control: Basis for performance comparison of passive and semiactive isolation systems, *J Eng Mech-ASCE*, 132, 705-713.
- Alhan, C. and Gazi, H., 2014, Bringing probabilistic analysis perspective into structural engineering education: use of Monte Carlo simulations, *Int. J. Eng. Educ*, 30, 1280-1294.
- Agrawal, A.K. and He, W.L., 2002, A closed form approximation of near fault ground motion pulses for flexible structures, *15th ASCE Proceeding of Engineering Mechanics Conference*, 3 June, Columbia University, New York.
- Alhan, C. and Şahin, F., 2011, Protecting vibration-sensitive contents: an investigation of floor accelerations in seismically isolated buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9, 1203-1226.
- Alhan, C. and Sürmeli, M., 2015, Necessity and adequacy of near-source factors for not-so-tall fixed-base buildings, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 14, 13-26.
- ASCE, 2010, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- Aly, A.M., 2014, Proposed robust tuned mass damper for response mitigation in buildings exposed to multidirectional wind, *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 23, 664-691.
- Aly, A.M. and Christenson, R.E., 2008, On the evaluation of the efficacy of a smart damper: a new equivalent energy-based probabilistic approach, *Smart Mater. Struct.*, 17, 11.
- Ayyub, B.M. and Klir, G. J., 2006, *Uncertainty modeling and analysis in engineering and the sciences*, Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, ISBN: 1584886447.
- Bahar, A., Pozo, F. and Acho, L., 2010a, Hierarchical semiactive control of base-isolated structures using a new inverse model of MR dampers, *Computers and Structures*, 88(7-8), 483-496.
- Bahar, A., Pozo, F., and Acho, L., 2010b, Parameter identification of large-scale magnetorheological dampers in a benchmark building, *Computers and Structures*, 88(3-4), 198-206.

- Barroso, L.R., Chase, J.G. and Hunt, S., 2002, Application of magneto-rheological dampers for multi-level seismic hazard mitigation of hysteretic structures, *Proceedings of 15th ASCE Engineering Mechanics Conference (EM2002)*, New York, USA, Haziran 2-5.
- Bidokhti, K.K., Moharrami, H. and Fayezi, A., 2012, Semi-active fuzzy control for seismic response reduction of building frames using SHD dampers, *Structural Control and Health Monitoring*, 19, 417-435.
- Casciati F., Rodellar J. and Yildirim U., 2012, Active and semi-active control of structures - theory and applications: A review of recent advances, *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, 23, 1181-1195.
- Casciati, F., Magonett, G. and Marazzi, F., 2006, Technology of semiactive devices and applications in vibration mitigation, *John Wiley & Sons Ltd.*, Chichester, UK, ISBN-10: 0470022892.
- Castaldo, P., Amendola, G., Palazzo, B., 2017, Seismic fragility and reliability of structures isolated by friction pendulum devices: seismic reliability-based design (SRBD), *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46, 425-446.
- Chase, J.G., Barroso, L.R. and Hunt, S., 2004, The impact of total acceleration control for semi-active earthquake hazard mitigation, *Engineering Structures*, 26, 201-209.
- Chakraborty, S. and Debbarma, R., 2015, Robust optimum design of tuned liquid column damper in seismic vibration control of structures under uncertain bounded system parameters, *Structure and Infrastructure Engineering*, 12, 592-602.
- Chaudhuri, A. and Chakraborty, S., 2006, Reliability of linear structures with parameter uncertainty under non-stationary earthquake, *Structural Safety*, 28, 3, 231-246.
- Chang, C.M. and Spencer, B.F., 2010, Active base isolation of buildings subjected to seismic excitations, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 39:13, 1493-1512.
- Chang, C.M., Spencer, B.F. and Shi, P.F., 2010, Multiaxial active isolation for seismic protection of buildings, *Structural Control & Health Monitoring*, 21:4, 484-502.
- Chen, P.C., Tsai, K.C. and Lin, P.Y., 2014, Real-time hybrid testing of a smart base isolation system, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 43(1), 139-158.
- Cheng, F.Y., Jian, H. and Lou, K., 2008, Smart structures innovative systems for seismic response control, *CRC Press Taylor and Francis Group*, Boca Raton, ISBN:8-0-8493-8532-2.
- Christenson, R., Lin, Y.Z., Emmons, A. and Bass, B., 2008, Large-scale experimental verification of semi-active control through real-time hybrid simulation, *Journal of Structural Engineering*, 134(4), 522-534.
- Colombo, J.I. and Almazan J.L., 2015, Seismic reliability of continuously supported steel wine storage tanks retrofitted with energy dissipation devices, *Engineering Structures*, 98, 201-211.
- Crosby, M., Harwood, R. and Karnopp D., 1974, Vibration control using semi-active force generators, *Journal of Engineering for Industry*, 96, 619-626.

- Curadelli, O., 2011, Seismic reliability of spherical containers retrofitted by means of energy dissipation devices, *Engineering Structures*, 33, 2662-2667.
- De La Llera, J.C. and Inaudi, J.A., 1994, Analysis of base-isolated buildings considering stiffness uncertainty in the isolation system, *Fifth National Conference on Earthquake Engineering*, Chicago, Illionis, Earthquake Engineering Research Instute, 623-632.
- Der Kiureghian, A., 2000, The geometry of random vibrations and solutions by FORM and SORM, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 15, 81–90.
- Dicleli, M. and Buddaram, S., 2007, Equivalent linear analysis of seismic-isolated bridges subjected to near-field ground motions with forward rupture directivity effect, *Eng Struct*, 29, 21-32.
- Erkuş, B. and Johnson, E.A., 2011, Dissipativity analysis of the base isolated benchmark structure with magnetorheological fluid dampers, *Smart Materials and Structures*, 10, 20.
- Feng, Q. and Shinozuka, M., 1990, Use of a variable damper for hybrid control of bridge response under earthquake, *The US National Workshop On Structural Control Research*, 107-112.
- Ferrito, J.M., 1984, Economics of seismic design for new buildings, *Journal of Structural Engineering*, 110:2925–38.
- Forrai, A., Hashimoto, S., Funato, H. and Kamiyama, K., 2001, Structural control technology: system identification and control of flexible structures, *Computing & Control Engineering Journal*, 12(6), 257-262.
- Gavin, H. and Alhan, C., 2005, Guidelines for low-transmissibility semi-active vibration isolation, *Smart Materials and Structures*, 14, 29-306.
- Gavin, H., Alhan C., and Oka, N., 2003, Fault tolerance of semiactive seismic isolation, *J Struct Eng-Asce*, 129, 922-932.
- Gazi, H. and Alhan, C., 2013, Sismik izolasyon sistemi parametrelerindeki rastgele değişimlerin etkisinin Monte Carlo simülasyon metoduyla incelenmesi, *İkinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (2.TDMSK)*, 25-27 Eylül 2013, Hatay, Türkiye.
- Gazi, H., Öncü-Davas S. and Alhan C., 2015, *Comparison of ground motion pulse models for the drift response of seismically isolated buildings*, in: Urban Planning and Civil Engineering, Virginia P. Sisiopiku, Ossama E. Ramadan, Eds., Athens Institute for Education and Research, 321-332.
- Gazi, H., 2015, *Sismik izolasyonlu binaların deprem yükleri altındaki olasılıksal davranışı*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Güneyisi, E.M. and Altay, G., 2008, Seismic fragility assessment of effectiveness of viscous dampers in R/C buildings under scenario earthquakes, *Structural Safety*, 30, 461-480.
- Haldar, A. and Mahadevan, S., 2000, *Probability, reliability and statistical methods in engineering design*, John Willey & Sons, ISBN: 0471331198

- Hall, J.F. and Ryan, K.L., 2000, Isolated buildings and the 1997 UBC near-source factors, *Earthquake Spectra*, 16, 2.
- Hall J.F., 1999, The role of damping in seismic isolation, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 28, 1717-1720.
- He, W.L. and 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.
- He, W.L., 2003, *Smart energy dissipation systems for protection of civil infrastructures from near-field earthquakes*, PhD Thesis, The City University of New York.
- Heaton, T.H., Hall, J.F., Wald, D.J., and Halling, M.W., 1995, Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical Mw 7.0 blind thrust earthquake, *Science*, 267, 206-211.
- Hiramoto, K., Matsuoka, T. and Sunakoda, K., 2010, Inverse Lyapunov approach for semi-active control of civil structures, *Structural Control and Health Monitoring*, 18(4), 382-403.
- Hrovat, D., Barak, P. and Rabins, M., 1993, Semi-active versus passive or active tuned mass dampers for structural control, *Journal of Engineering Mechanics ASCE*, 109(3), 691-705.
- Hsu, H.P., 1996, *Theory and problems of probability, random variables and random process*, McGraw-Hill, USA, ISBN: 0070306443.
- Hwang, J.S., Min, K.W., Lee, S.H. and Kim, H., 2005, Probabilistic approach for active control of structures: experimental verification, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34, 207-225.
- Jangid, R.S. and Kelly, J.M., 2001, Base isolation for near-field motions, *Earthq Eng Struct Dyn*, 30, 691-707.
- Jangid, R.S., 2007, Optimum lead-rubber isolation bearings for near-fault motions, *Engineering Structures*, 29, 2503-2513.
- Johnson, E., Ramallo J., Spencer B. and Sain M., 1998, Intelligent base isolation systems, *In Proceedings of the Second World Conference on Structural Control*, Kyoto, Japan.
- Karavasilis, T.L. and Seo, C.Y., 2011, Seismic structural and non-structural performance evaluation of highly damped self-centering and conventional systems, *Engineering Structures*, 33, 2248-2258.
- Kawashima, K. and Unjoh, S., 1994, Seismic response control of bridges by variable dampers, *Journal of Structural Engineering*, 120(9), 2583-2601.
- Kelly, J.M., 1999, The role of damping in seismic isolation, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 28, 3-20.
- Kelly, T.E., 2001, *Base isolation of structures*, Holmes Colsunting Group Ltd., Wellington, New Zealand.

- Komodromos, P., 2000, *Seismic isolation for earthquake resistant structures*, WIT Press, ISBN: 1-85312-803-1.
- Kulkarni, J.A. and Jangid, R.S., 2003, Effects of superstructure flexibility on the response of base-isolated structures, *Shock Vib*, 10:1-13.
- Kurata, N., Kobori, T., Takahashi, M., Niwa, N. and Midorikawa, H., 1999, Actual seismic response controlled building with semiactive damper system, *Earthquake Engineering Structures Dynamics*, 28, 1427-1447.
- Kurtuluş, H., 2012, Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin rijitleşme özelliğinin sismik izolasyonlu binaların deprem davranışına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Lee, H., Jung, H. and Moon, S., 2010, Experimental investigation of MR damper-based semi-active control algorithms for full-scale five-story steel frame building, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 21(10), 1025-1037.
- Li, J., Peng, Y.B. and Chen, J.B., 2011, Probabilistic criteria of structural stochastic optimal controls, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 26, 240–253.
- Li, J., Mei, Z., Chen, J.B. and Peng, Y.B., 2012, Experimental Investigations of Stochastic Control of Randomly Base-Excited Structures, *Advances in Structural Engineering*.
- Lu, L.Y., Shih, M.H., Tzeng, S.W. and Chang C.S., 2003, Experiment of a sliding isolated structure subjected to near-field ground motion, *In: Proceedings, 7th Pacific conference on earthquake engineering*, 13-15 February, Christchurch, New Zealand.
- Lu, L.Y., Lin, C.C. and Lin, G.L., 2013, Experimental evaluation of supplemental viscous damping for a sliding isolation system under pulse-like base excitations, *J Sound Vib*, 332(8), 1982–99.
- Madden, G.J., Wongprasert, N., and Symans, M.D., 2003, Analytical and numerical study of a smart sliding base isolation system for seismic protection of buildings, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19-30.
- 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. and Chang, S., 1998, *Effect of damping mechanisms on the response of seismically isolated structures*, PEER Report, 1998/06.
- Matlab, 2016, *The MathWorks Inc.*.
- Matsagar, V.A. and Jangid, R.S., 2004, Influence of isolator characteristic on the response of base-isolated structures, *Engineering Structures*, 26, 1735-1749.
- Mazza, F. and Vulcano, A., 2009, Nonlinear response of RC framed buildings with isolation and supplemental damping at the base subjected to near-fault earthquakes, *Journal of Earthquake Engineering*, 13, 690-715.
- Mazza, F., Vulcano, A. and Mazza, M., 2012, Nonlinear dynamic response of RC buildings with different base Isolation systems subjected to horizontal and vertical components of near-fault ground motions, *Open Constr Build Technol J*, 6, 373–83.

- Menun, C. and Fu, Q., *An analytical model for near-fault ground motions and the response of SDOF systems*, <http://peer.berkeley.edu/research/peertestbeds/Cct/Menun%20and%20Fu%202002.pdf>, [Ziyaret Tarihi:15 Kasım 2010].
- Min, K.W., Hwang, J.S., Lee, S.H. and Chung, L., 2003, Probabilistic approach for active control based on structural energy, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32, 2301-2318.
- Miyamoto, K., She, J., Imani, J., Xin, X. and Sato, D., 2016, Equivalent-input-disturbance approach to active structural control for seismically excited buildings, *Engineering Structures*, 125, 392-399.
- Mizuno, H., Iiba, M., Yamaguchi, N. and Okano, H., 1986, *Shaking table testing on earthquake resistance of medical equipments*, Report of the Building Research Institute, Building Research Institute, Ministry of Construction, No. 108.
- Naeim, F. and Kelly, J.M., 1999, *Design of seismic isolated structures from theory to practice: mechanical characteristics and modeling of isolators*, Wiley, New York, 93–121.
- Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M. and Constantinou, M.C., 1989, *Nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures*, NCEER-890019, State University of New York, Buffalo.
- Nagarajaiah, S., Reinhorn, A.M. and Constantinou, M.C., 1991, *3DBASIS-nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures: Part II*, NCEER-910005, State University of New York, Buffalo.
- Nakajima, K., Giron, N., Kohiyama, M., Watanabe, K., Yoshida, M., Yamanaka, M., Inaba, S. and Yoshido, O., 2012, Seismic response analysis of a semi-active-controlled base-isolated building during the 2011 great east japan earthquake, *The International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, Tokyo, Japan.
- Öncü S., 2011, Puls periyotlarının sismik izolasyonlu binaların performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Öncü-Davas S. and Alhan C., 2012, Effectiveness of seismic isolation in protecting sensitive contents against near-field earthquakes of various magnitudes, *In: Proceedings, 10th international congress on advances in civil engineering*, 17–19 October, Ankara, Turkey.
- Öncü-Davas, S. and Alhan, C., 2013, Sentetik Deprem Puls Sönüm Oranlarının Sismik İzolasyonlu Binaların Davranışına Etkisi, *İkinci Türkiye Deprem Mühendisliği Ve Sismoloji Konferansı (2.TDMSK)*, 25-27 Eylül 2013, Hatay, Türkiye.
- Öncü-Davas, S., Gazi, H., and Alhan, C., 2015, *Comparison of ground motion pulse models for the acceleration response of seismically isolated buildings*, in: *Architecture Anthology II: Architectural Construction, Materials and Building Technologies*, Jamal M. Khatib, Eds., Athens Institute for Education and Research, 229-240.
- Öncü-Davas S. and Alhan C., 2016, Performance limits of seismically isolated buildings under near-field Earthquakes, *Engineering Structures*, 116, 83-94.

- Padmanabhan, D., Agarwal, H., Renaud, J.E., Batill, S.M., 2006, A study using Monte Carlo Simulation for failure probability calculation in Reliability-Based Optimization, *Optimization and Engineering*, 7(3), 297, 316.
- Pan, P., Zamfirescu, D., Nakashima, M., Nakayasu, N. and Kashiwa, H., 2005, Base-isolation design practice in Japan: Introduction to the post-kobe approach, *Journal of Earthquake Engineering*, 9, 147-171.
- Patten, W., Sun, J., Li, G., Kuehn, J. and Song, G., 1999, Field test of an intelligent stiffener for bridges at the I-35 Walnut Creek Bridge, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28(2), 109–126.
- Patten, W.N., Mo, C., Kuehn J. and Lee, J., 1998, A primer on design of semiactive vibration absorbers (SAVA), *J. Eng. Mech.*, 124,61–8.
- PEER, Pacific Earthquake Engineering Resource Center: NGA database, <https://ngawest2.berkeley.edu/>, [Ziyaret Tarihi: 15 Mart 2015]
- Perros, H., 2009, Computer Simulation Techniques: the definitive introduction!, <http://www.https://repository.lib.ncsu.edu>, [Ziyaret tarihi: 3 Kasım 2015]
- Politopoulos, I. and Pham, H.K., 2009, Sensitivity of seismically isolated structures, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 38, 989-1007.
- Pradlwarter, H.J., Schueller G.I. and Dorka U., 1998, Reliability of MDOF-systems with hysteretic devices, *Engineering Structures*, 20, 685-691.
- Przybylski, M., Sun, S.S. and Li, W.H., 2016, Development and characterization of a multi-layer magnetorheological elastomer isolator based on a Halbach array, *Smart Materials and Structures*, 25:10, 105015.
- Ranganathan, R., 1999, *Structural reliability analysis and design*, Jaico Publishing House, Mumbai, ISBN: 8172248474.
- Sack, R.L. and Patten, W., 1993, Semiactive hydraulic structural control, *Proc., Int. Workshop on Structural Control*, USC Publication Number CE-9311, 417–431.
- Saha, S.K., Matsagar, V. and Chakraborty, S., 2016, Uncertainty quantification and seismic fragility of base-isolated liquid storage tanks using response surface models, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 43: 20-35.
- Sadek, F. and Mohraz, B., 1998, Semi-active control algorithms for structures with variable dampers, *Journal of Engineering Mechanics ASCE*, 124(9), 981-990.
- Shenton, H.W. and Holloway, E.S., 2000, Effect of stiffness variability on the response of isolated structures, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 29, 19-36.
- Singh, M., Matheu, E. and Suarez, L., 1997, Active and semi-active control of structures under seismic excitation, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 26, 193-213.
- Somerville, P., 1998, Development of an improved representation of near fault ground motions, *SMIP98 Seminar on Utilization of Strong-Motion Data*.

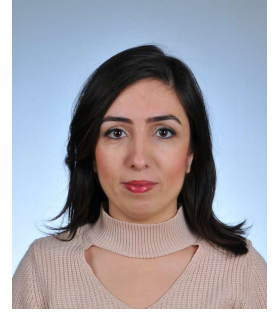
- Symans, M.D. and Constantinou, M.C., 1999, Semi-active control systems for seismic protection of structures: a state-of-the-art review, *Engineering Structures*, 21, 469-487.
- Spencer Jr, B.F., and Nagarajaiah., S., 2003, State of the art of structural control, *Journal of Structural Engineering* 129, 7, 845-856.
- Spencer, Jr., B.F., Dyke, S.J., Sain, M.K. and Carlson, J.D., 1997, Phenomenological model of a magnetorheological dampers, *Journal of Engineering Mechanics*, 123(3), 230-238.
- Symans, M.D., Madden, G.J. and Wongprasert, N., 2000, Experimental study of an adaptive base isolation system for buildings, *12th World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE)*, Auckland, New Zealand.
- Stewart, P.J., Chiou, S., Bray, J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G. and Abrahamson, N.A., 2001, *Ground Motion Evaluation Procedures for Performance Based Design*, PEER Report, 2001/9.
- Taflanidis A.A., and Jia, G., 2011, A simulation-based framework for risk assessment and probabilistic sensitivity analysis of base-isolated structures, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 40, 1629-1651.
- Tajammolian, H., Khoshnoudian, F., Rad, A.R. and Loghmanb, V., 2018, Seismic Fragility Assessment of Asymmetric Structures Supported on TCFP Bearings Subjected to Near-field Earthquakes, *Structures*, 13: 66-78.
- Thompson, A.C., Whittaker A.S., Fenves, G.L. and Mahin S.A., 2000, Property modification factors for elastomeric seismic isolation bearings, *12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland New Zealand.
- Vu, D.C., Politopoulos, J., Diop, S., 2016, Relaxation base seismic isolator, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 45, 2027-2037.
- Wang K.W. and Kim Y.S., 1991, Semi-active vibration control of structures via variable damping elements, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 5, 421-430.
- Worksafe: Worksafe Technologies, *ISO-Base Seismic Isolation Platform*, <http://www.worksafetech.com/pages/isotest.html>, Worksafe Technologies, ISO-Base Seismic Isolation Platform, [Ziyaret Tarihi: 09.02.2011].
- YeganehFallah, A. and Taghikhany, T., 2014, Robust semi-active control for uncertain structures and smart dampers, *Smart Mater. Struct.*, 23, 095040.
- YeganehFallah, A. and Attari, N.K.A, 2017, Robust control of seismically excited cable stayed bridges with MR dampers, *Smart Mater. Struct.*, 26, 035056.
- Yalçın, B., 2005, *Olasılıksal metodlarla yapısal ve çatlak ilerlemesi analizleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Yang J.N. and Agrawal A.K., 2002, Semi-active hybrid control systems for nonlinear buildings against near-field earthquakes, *Engineering Structures*, 24, 271-280.
- Yanık A., Aldemir U. and Bakioğlu M., 2014, A new active control performance index for vibration control of three-dimensional structures, *Engineering Structures*, 62–63, 53-64

- Yamada K. and Kobori T., 2001, Fundamental dynamics and control strategies for aseismic structural control, *International Journal of Solids and Structures*, 38, 6079-6121.
- Zhang, W.S. and Xu, Y.L., 2000, Vibration analysis of two buildings linked by Maxwell model-defined fluid dampers, *Journal of Sound and Vibration*, 233, 5, 775-796.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Seda ÖNCÜ DAVAS
Doğum Yeri	Fatih/İstanbul
Doğum Tarihi	09.03.198709.03.1987
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	0554 754 0622
E-Posta Adresi	seda.oncu@istanbul.edu.tr
Web Adresi	http://aves.istanbul.edu.tr/seda.oncu/



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	23.07.2009

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Mühendislik Fakültesi
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı
Mezuniyet Tarihi	20.12.2011

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı
Mezuniyet Tarihi	22.05.2018

Makale ve Bildiriler	
SCI, SSCI, AHCI İndekslerine Giren Dergilerde Yayınlanan Makaleler	
Öncü-Davas, S. and Alhan, C., 2019, Reliability of semi-active seismic isolation under near-fault earthquakes, <i>Mechanical Systems and Signal Processing</i> , 114, 146-164.	
Alhan, C. and Öncü-Davas, S., 2016, Performance limits of seismically isolated buildings under near-field earthquakes, <i>Engineering Structures</i> , 116, 83-94.	

Hakemli Kongre / Sempozyumların Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

- Öncü-Davas S., Alhan C., 2018, Influence of shape parameter/coefficient of variation of random synthetic earthquake parameters on the probabilistic response of semi-active isolated building, *9th International Congress on Computational Mechanics (GRACM)*, 4-6 Haziran, Girit Adası, Yunanistan.
- Öncü-Davas S., Alhan C., 2018, Sensitivity of the probabilistic response of semi-active isolated buildings to the probability distribution types of random synthetic earthquake parameters, *9th International Congress on Computational Mechanics (GRACM)*, 4-6 Haziran, Girit Adası, Yunanistan.
- Bekdaş, G., Öncü-Davas, S., Nigdeli, S.M., Alhan, C., 2018, A seismic isolation optimization methodology adopted with bat algorithm, *8th International Conference on Bioinspired Optimization Methods and their Applications (BIOMA)*, 16-18 Mayıs, Paris, Fransa.
- Öncü-Davas, S., and Alhan, C., 2018, Yarı-aktif izolasyon sistemi elemanlarının mekanik parametrelerinin her bir elemandaki bağımsız değişkenliğinin taban deplasmanları üzerindeki etkisi, *3. Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 4-5 Mayıs, Kocaeli, Türkiye.
- Öncü-Davas, S. and Alhan, C., 2018, Response sensitivity of low-rise buildings to coefficients of variations of random semi-active isolation system parameters under near-fault earthquakes, *5th International Congress on Civil and Urban Engineering (ICCUE18)*, 11-13 Mart, Barcelona, İspanya.
- Öncü-Davas, S. and Alhan, C., 2017, Effect of superstructure flexibility on the probabilistic behavior of semi-active isolated buildings under near-fault historical earthquakes, *International Congress on Engineering and Technology Sciences*, 22-25 Aralık 2017, Afyon, Türkiye.
- Öncü-Davas, S. and Alhan, C., 2017, Application of Monte-Carlo simulation to semi-active isolation systems under near-fault earthquakes, *22nd International Conference on Applied Mathematics (AMATH17)*, 15-17 Aralık, Roma, İtalya.
- Öncü-Davas, S. and Alhan, C., 2017, Monte-Carlo simulation of semi-active isolation systems under historical earthquakes, *International Conference on Structural Engineering Dynamics (ICEDYN17)*, 3-5 Temmuz, Ericeira, Portekiz.
- Öncü-Davas, S., Gazi, H. and Alhan, C., 2013, Comparison of ground motion pulse models for the acceleration response of seismically isolated buildings, *3rd Annual International Conference on Civil Engineering*, 10-13 Haziran, Atina, Yunanistan.
- Alhan C., Öncü-Davas S., Gazi H., 2013, Evaluation of content damage ratios of seismically isolated buildings under earthquake loading, *Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics & 13. D-A-CH Tagung (VEESD13)*, 28-30 Ağustos, Viyana, Avusturya.

Öncü-Davas, S. and Alhan, C., 2013, Sentetik deprem puls sönüm oranlarının sismik izolasyonlu binaların davranışına etkisi, *İkinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (2.TDMSK)*, 25-27 Eylül, Hatay, Türkiye.

Gazi, H., Öncü-Davas, S. and Alhan C., Comparison of ground motion pulse models for the drift response of seismically isolated buildings, *3rd Annual International Conference on Civil Engineering*, 10 -13 Haziran, Atina, Yunanistan.

Öncü-Davas S. and Alhan C., 2012, Effectiveness of seismic isolation in protecting sensitive contents against near-fault earthquakes of various magnitudes, *10th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE2012)*, 17-19 Ekim, Ankara, Türkiye.

Kitap ve Kitap Bölümleri

Öncü-Davas S., Gazi H., Güler E. and Alhan C., 2018, *Comparison of ground motion pulse models for the seismic response of seismically isolated liquid storage tanks*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics in Memory of Ragnar Sigbjörnsson, Rajesh Rupakhety, Simon Olafsson, Eds., Springer International Publishing AG, 143-157.

Öncü-Davas, S., Gazi, H., and Alhan, C., 2015, *Comparison of ground motion pulse models for the acceleration response of seismically isolated buildings*, in: Architecture Anthology II: Architectural Construction, Materials and Building Technologies, Jamal M. Khatib, Eds., Athens Institute for Education and Research, 229-240.

Gazi, H., Öncü-Davas S. and Alhan C., 2015, *Comparison of ground motion pulse models for the drift response of seismically isolated buildings*, in: Urban Planning and Civil Engineering, Virginia P. Sisiopiku, Ossama E. Ramadan, Eds., Athens Institute for Education and Research, 321-332.

Desteklenen Projeler

Performance limits of seismically isolated buildings under nearfield earthquakes, BAP Diğer, BAP-2017-24291, Araştırmacı, Devam Ediyor.

Ölçeklenmiş Yapı Modellerinin Testi İçin İki Eksenli Deprem Sarsma Tablasının Geliştirilmesi, Tübitak 3001, Bursiyer, Devam Ediyor.