



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PULS PERİYOTLARININ SİSMİK İZOLASYONLU
BİNALARIN PERFORMANSINA ETKİSİ**

**İnş. Müh. Seda ÖNCÜ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**


**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN**


Aralık, 2011

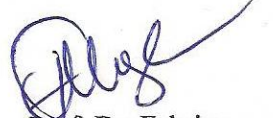
İSTANBUL

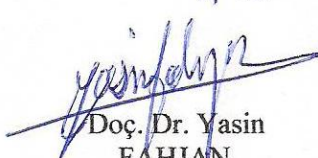
T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ SAVUNMA SINAV TUTANAĞI


İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN danışmanlığında "Puls periyotlarının sismik izolasyonlu binaların performansına etkisi" adlı Yüksek Lisans tezini hazırlayan Seda ÖNCÜ'nün savunma sınavını 19 Aralık 2011 tarihinde yapan jürimiz, tezin OYBİRLİĞİ İLE KABULUNE karar vermiştir.


Yrd. Doç. Dr. Cenk
ALHAN


Prof. Dr. Namık Kemal
ÖZTORUN


Prof. Dr. Fahriye
KILINÇKALE


Doç. Dr. Yasin
FAHJAN


Doç. Dr. Ercan
YÜKSEL

* "oyçokluğu" sonucu oluştuğunda, farklı görüşte olan jüri üyeleri imzalarının yanına şerh koymalıdır.

NOT:

- Tutanak, sınavı izleyen 3 gün içinde anabilim dalı başkanlığı tarafından Enstitüye iletilecektir.
- Sınav süresi yüksek lisansta 45 dakikadan az, 90 dakikadan fazla; doktora 2 saatten az, 3 saatten fazla olamaz.
- Düzeltme, yüksek lisansta 3, doktora 6 ay içinde tamamlanmalıdır.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana yol gösteren ve çalışmalarımı yöneten değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN'a, değerli görüş ve önerileri ile teze büyük katkı yapan tez jürisinde bulunan çok değerli hocalarıma en içten dileklerle teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca, hayatım boyunca edindiğim başarılarda büyük paya sahip olan ve her zaman yanımda olan aileme, arkadaşlarıma ve bursiyeri olduğum TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2011

Seda ÖNCÜ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
TABLO LİSTESİ	VI
SEMBOL LİSTESİ	VII
ÖZET.....	IX
SUMMARY	X
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	6
2.1. SİSMİK İZOLASYONUN TANIMI.....	6
2.2. SİSMİK İZOLASYON UYGULAMALARI.....	8
2.3. SİSMİK İZOLASYONUN TEORİSİ	11
2.3.1. İkili Lineer Model	11
2.3.2. Eşdeğer Lineer Model.....	13
2.4. YAKIN DEPREMLER	14
2.4.1. Yakın Depremlerin Tanımı	14
2.4.2. Yakın Depremlerin Modellenmesi.....	16
2.4.2.1. Makris ve Chang (2000) Puls Modeli	16
2.4.2.2. Menun ve Fu (2002) Puls Modeli.....	18
2.4.2.3. Agrawal ve He (2002) Puls Modeli.....	19
2.4.2.4. He (2003) Puls Modeli.....	20
2.4.2.5. He ve Agrawal (2008) Puls Modeli.....	20
2.5. SİSMİK İZOLASYONLU YAPILARIN ÜZERİNDE YAKIN DEPREMLERİN ETKİLERİ.....	21
2.6. ÜÇ BOYUTLU SİSMİK İZOLASYONLU YAPILARIN ANALİZİ İÇİN 3D- BASIS PROGRAMI	24
3. MALZEME VE YÖNTEM	26
3.1. YAPISAL MODEL.....	26
3.1.1. Üst Yapı.....	27

3.1.2. İzolasyon Sistemi	28
3.2. SENTETİK DEPREM KAYITLARININ ÜRETİLMESİ.....	30
4. BULGULAR.....	35
4.1. İZOLASYON SİSTEMLERİNİN YAKIN DEPREMLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI	35
4.2. YAPISAL TEPKİ PARAMETRELERİ, LİMİT DEĞERLER VE PERFORMANS TESTLERİ.....	45
4.3. YAPISAL TEPKİ PARAMETRELERİNE AİT BULGULAR	46
4.3.1. Pik Taban Deplasmanına Ait Bulgular	46
4.3.2. Pik En Üst Kat İvmesine Ait Bulgular	54
4.4. YAPISAL CEVAP PARAMETRELERİ TESTLERİNE AİT BULGULAR	63
4.4.1. Test 1'e ($d \leq 100$ cm ve $a \leq 10$ m/s ²) Ait Bulgular	63
4.4.2. Test 2'ye ($d \leq 100$ cm ve $a \leq 5$ m/s ²) Ait Bulgular	64
4.4.3. Test 3'e ($d \leq 100$ cm ve $a \leq 2.5$ m/s ²) Ait Bulgular	64
4.4.4. Test 4'e ($d \leq 70$ cm ve $a \leq 10$ m/s ²) Ait Bulgular	65
4.4.5. Test 5'e ($d \leq 70$ cm ve $a \leq 5$ m/s ²) Ait Bulgular	65
4.4.6. Test 6'ya ($d \leq 70$ cm ve $a \leq 2.5$ m/s ²) Ait Bulgular	66
4.4.7. Test 7'ye ($d \leq 40$ cm ve $a \leq 10$ m/s ²) Ait Bulgular	66
4.4.8. Test 8'e ($d \leq 40$ cm ve $a \leq 5$ m/s ²) Ait Bulgular	67
4.4.9. Test 9'a ($d \leq 40$ cm ve $a \leq 2.5$ m/s ²) Ait Bulgular	67
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	77
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ.....	86

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: DBYBHY 2007 tanımlanan ivme spektrumları.	7
Şekil 2.2: İkili lineer histeretik model	12
Şekil 2.3: Eşdeğer lineer model	14
Şekil 3.1: Kayma çerçevesi modeli	27
Şekil 3.2: $T_p=2$ s, $r=2.5$ km; $T_p=2$ s, $r=20$ km; $T_p=5$ s, $r=2.5$ km; $T_p=5$ s, $r=20$ km olan depremlere ait ivme-zaman grafikleri.	33
Şekil 3.3: $T_p=2$ s, $r=2.5$ km; $T_p=2$ s, $r=20$ km; $T_p=5$ s, $r=2.5$ km; $T_p=5$ s, $r=20$ km olan depremlere ait hız-zaman grafikleri.	34
Şekil 4.1: Sönüm oranı $\zeta_p=20\%$ ve puls periyodu $T_p=3$ s olan deprem altında T03QW5 izolasyon sistemine ait kuvvet-deplasman döngüsü.	35
Şekil 4.2: Sönüm oranı $\zeta_p=20\%$ ve puls periyodu $T_p=3$ s olan deprem altında T03QW5 izolasyon sistemine sahip yapının en üst kat ivme-zaman grafiği.	36
Şekil 4.3: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=10\%$ için toplam etkin viskoz sönüm (β_{eff}^*) ile etkin periyot (T_{eff}) dağılımları.	42
Şekil 4.4: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=20\%$ için toplam etkin viskoz sönüm (β_{eff}^*) ile etkin periyot (T_{eff}) dağılımları.	43
Şekil 4.5: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=40\%$ için toplam etkin viskoz sönüm (β_{eff}^*) ile etkin periyot (T_{eff}) dağılımları.	44
Şekil 4.6: Kuvvet oranı $Q/W=5\%$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=0\%$ için pik taban deplasmanları.	49
Şekil 4.7: Kuvvet oranı $Q/W=10\%$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=0\%$ için pik taban deplasmanları.	50
Şekil 4.8: Kuvvet oranı $Q/W=15\%$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=0\%$ için pik taban deplasmanları.	51
Şekil 4.9: Kuvvet oranı $Q/W=15\%$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=15\%$ için pik taban deplasmanları.	52

Şekil 4.10: Kuvvet oranı $Q/W=0.15$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=0.30$ için pik taban deplasmanları.	53
Şekil 4.11: Kuvvet oranı $Q/W=0.05$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=0.00$ için pik kat ivmeleri.	56
Şekil 4.12: Kuvvet oranı $Q/W=0.10$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=0.00$ için pik kat ivmeleri.	57
Şekil 4.13: Kuvvet oranı $Q/W=0.15$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=0.00$ için pik kat ivmeleri.	58
Şekil 4.14: Kuvvet oranı $Q/W=0.15$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=0.15$ için pik kat ivmeleri.	59
Şekil 4.15: Kuvvet oranı $Q/W=0.15$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=0.30$ için pik kat ivmeleri.	60
Şekil 4.16: Test 1 performans testini geçme oranları.	68
Şekil 4.17: Test 2 performans testini geçme oranları.	69
Şekil 4.18: Test 3 performans testini geçme oranları.	70
Şekil 4.19: Test 4 performans testini geçme oranları.	71
Şekil 4.20: Test 5 performans testini geçme oranları.	72
Şekil 4.21: Test 6 performans testini geçme oranları.	73
Şekil 4.22: Test 7 performans testini geçme oranları.	74
Şekil 4.23: Test 8 performans testini geçme oranları.	75
Şekil 4.24: Test 9 performans testini geçme oranları.	76

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: İzolasyon sistemlerine ait karakteristik özellikler.	28
Tablo 3.2: İzolasyon sistemlerine ilave edilen viskoz sönüm değerleri.....	30
Tablo 3.3: $T_p=2$ s için üretilen yakın depremlere ait değerler.....	32
Tablo 3.4: $T_p=3$ s için üretilen yakın depremlere ait değerler.....	32
Tablo 3.5: $T_p=4$ s için üretilen yakın depremlere ait değerler.....	32
Tablo 3.6: $T_p=5$ s için üretilen yakın depremlere ait değerler.....	32
Tablo 4.1: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=\%20$, kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve periyodu $T_0=2$ s izolasyon sistemi için etkin viskoz sönüm, etkin rijitlik ve etkin periyot değerleri.38	
Tablo 4.2: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=\%20$, kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve periyodu $T_0=3$ s izolasyon sistemi için etkin viskoz sönüm, etkin rijitlik ve etkin periyot değerleri.39	
Tablo 4.3: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=\%20$, kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve periyodu $T_0=4$ s izolasyon sistemi için etkin viskoz sönüm, etkin rijitlik ve etkin periyot değerleri.40	
Tablo 4.4: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=\%20$, kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve periyodu $T_0=5$ s izolasyon sistemi için etkin viskoz sönüm, etkin rijitlik ve etkin periyot değerleri.41	
Tablo 4.5: Tarihi uzak deprem kayıtlarının özellikleri.	61
Tablo 4.7: Tarihi uzak depremler altında oluşan pik en üst kat ivmesi değerleri.	62

SEMBOL LİSTESİ

K_1	: akma öncesi rijitlik veya elastik rijitlik.
K_2	: akma sonrası rijitlik veya plastik rijitlik.
Q	: karakteristik kuvvet.
F_y	: akma dayanımı.
α	: akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı.
D_y	: akma yer değiştirmesi.
d	: maksimum yer değiştirme.
T_0	: akma sonrası titreşim periyodu veya izolasyon periyodu.
M	: yapı toplam kütlesi.
g	: yer çekimi ivmesi.
W	: yapının toplam ağırlığı.
T_{eff}	: yapının etkin titreşim periyodu.
K_{eff}	: etkin rijitlik.
β_{eff}	: etkin viskoz sönüm oranı.
v_p	: maksimum yer hareketi hızı veya deprem kaydının hız genliği.
M_w	: deprem büyüklüğü.
r	: yapının faya olan en yakın mesafesi.
T_p	: deprem puls periyodu.
ω_p	: deprem puls frekansı.
φ	: faz açısı.
t	: puls modeli ana puls süresi.
$\ddot{u}(t)$: titreşimin zamana bağlı ivme değişimi.
$\dot{u}(t)$: titreşimin zamana bağlı hız değişimi.
$u(t)$: titreşimin zamana bağlı deplasman değişimi.
n	: darbe titreşim sayısı.
T	: Tip-C _n darbe hareketinin süresi.
t_0	: puls hareketinin başladığı süre.
n_1	: puls modeli zarf eğrisi şekil parametresi.
n_2	: puls modeli zarf eğrisi şekil parametresi.
θ	: puls modelini tanımlayan parametrelerin vektörü.
ζ_p	: puls modeli sönüm faktörü.
s	: puls modeli hız pulsunun başlangıç genliği.
t	: puls modeli titreşim süresi.
ω_p	: puls modeli sinüzoidin frekansı.
t_p	: puls modeli pik yer hızının olduğu zaman.
C	: puls modeli genlik ölçeklendirme faktörü.
a	: puls modeli sönüm faktörü.
n	: puls modeli zarf eğrisi şekil parametresi.
v	: puls modeli sinüzoidal bileşenin faz açısı.

N_v	: aktif faya yakınlık faktörü.
T_n	: taban ankastre birinci mod periyodu.
m_i	: üst yapı kat kütlesi.
k_i	: üst yapı kat rijitliği.
ζ_s	: üst yapı modal sönüm oranı.
m_b	: izolasyon katı kütlesi.
Q/W	: kuvvet oranı.
ζ_0	: ek sönüm.
c_0	: ek sönüme denk gelen viskoz sönüm.
ω_0	: akma sonrası açısal frekans.
ζ_{eff}	: viskoz sönümleyiciden elde edilen efektif sönüm.
ω_{eff}	: efektif açısal frekans.
ζ_p	: deprem sönüm oranı.
A	: deprem ivmesi.
β_{eff}^*	: izolasyon sisteminde oluşan toplam etkin viskoz sönüm.
a	: pik en üst kat ivmesi.
L_1	: pik taban deplasmanı ile pik en üst kat ivmesi için birinci limit değeri.
L_2	: pik taban deplasmanı ile pik en üst kat ivmesi için ikinci limit değeri.
L_3	: pik taban deplasmanı ile pik en üst kat ivmesi için üçüncü limit değeri.

ÖZET

PULS PERİYOTLARININ SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN PERFORMANSINA ETKİSİ

Depremlerin sebep olduğu kayıpları en aza indirebilmek için alınacak en doğru tedbir depreme dayanıklı yapıların tasarlanmasıdır. Depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında, klasik yöntemlerin kısıtlı kaldığı noktada pasif kontrol, yarı aktif kontrol, aktif kontrol ve hibrit sistemler gibi yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Pasif kontrol sistemleri kapsamında bulunan ve etkinliği önceki araştırmalar ile ortaya konan sismik izolasyon, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ancak, sismik izolasyonlu binaların güvenliğini yakın depremler tehdit etmektedir. Uzun periyoda ve yüksek genliğe sahip hız pulsarı içeren yakın depremlere maruz kalan sismik izolasyonlu yapılarda büyük taban deplasmanları oluşabilir ve üst yapı performansı olumsuz etkilenebilir. Taban deplasmanı, bırakılacak sismik boşluk ve izolatör deplasman kapasitesi gibi faktörler sebebi ile sınırlı tutulmalıdır. Bunu sağlamak amacıyla ek sönüm kullanılabilir; fakat bu durum kat ivmelerinde artışa sebebiyet verebilir. İzolasyon periyodu ile puls periyodunun çakışması sismik performans açısından durumu daha da kötüleştirebilir. Bu tezin amacı, izolasyon periyodu ile puls periyodunun çakışmasının yaratacağı olumsuzlukların incelenmesi ve bu duruma karşı alınabilecek ek sönüm tedbirinin etkinliğinin puls periyodu ile izolasyon periyodu arasındaki oran da göz önüne alınacak şekilde araştırılmasıdır. Bu çalışmada, farklı akma sonrası izolasyon periyodu, karakteristik kuvvet oranı ve ek sönüm oranı parametrelerine sahip sismik izolasyon sistemleri ile farklı puls periyodu ve sayısına sahip, yeryüzünden faya olan mesafelerin farklı olduğu sentetik yakın depremler kullanılmıştır.

SUMMARY

EFFECT OF PULSE PERIODS ON THE PERFORMANCE OF SEISMICALLY ISOLATED BUILDINGS

Designing earthquake resistant structures is the best precaution to minimize the losses caused by earthquakes. New approaches, such as passive control, semi-active control, active control and hybrid systems have emerged when solutions of classical methods proved to be insufficient. The effectiveness of seismic isolation against earthquakes, which is classified as part of passive control systems, is proven by earlier studies and is being used increasingly in the world as well as in Turkey. However, the near fault earthquakes threaten the safety of seismically isolated buildings. Large base displacements may be realized and the superstructure performance may be affected in the seismically isolated buildings which are exposed to the near fault earthquakes including long period high amplitude velocity pulses. The base displacement should be limited due to the factors such as the isolator displacement capacity and the seismic gap requirements. To overcome this problem, additional damping may be used. However, this may lead to increases in floor accelerations. In case the isolation period coincides with the pulse period the situation may worsen. The aim of this thesis is to investigate the negative effects of pulse-period coinciding with the isolation period and the effectiveness of additional damping in this situation by taking into account the ratio between the pulse period and isolation period. In this study, different isolation systems with different post-yield isolation periods, characteristic force ratios and additional damping ratios and synthetic near fault earthquakes with different pulse periods, number of pulses and fault distances are used.

1. GİRİŞ

Doğal afetler, insanların sosyal, ekonomik ve kültürel yaşamlarını olumsuz yönlerden etkileyebilmektedirler. Ülkemizde meydana gelen doğal afetler içinde en fazla can ve mal kaybına sebep olan ve önlenmesi mümkün olmayan; ancak önlemler alındığı takdirde daha az hasar ve zarar ile atlatılan tür depremdir. Ülkemizde, önemli ticaret ağları ve finans merkezleri deprem olasılığının yüksek olduğu bölgelerde yer almaktadır. Ayrıca, bu bölgelerde kalitesiz yapı stoğu ile yoğun nüfus da mevcuttur. Bu durum, her an karşı karşıya kalabileceğimiz ve yeterince önlem almadığımız deprem gerçeğinin tehdit edici bir hal almasına sebep olmaktadır.

Deprem, yerkürenin üzerinde biriken gerilmeler ile oluşan enerjinin meydana getirdiği kırılma ile enerjiyi boşaltma biçimidir. Plaka tektoniği teorisine göre yeryüzündeki plakalar birbirlerine göre hareket edip çarpışabilirler. Tektonik depremler, bu teoriye göre açıklanabilmektedir. Plaka parçaları birbirlerine göre uzaklaşma, yaklaşma ya da yanıl olarak kayma hareketi yaparlar. Bu hareketlere bağılı olarak yer kabuğu parçaları da gerilerek, sıkıştırılarak ya da makaslanarak deforme olurlar. Bu deformatyonlar, sünek kayalarda kıvrılma veya akma yolu ile meydana gelirken; kırılğan kayalarda kırılma ile oluşurlar. Bu plakaları sınırlayan ve kırılmanın meydana geldiği çizgilere fay adı verilmektedir. Faylanmanın sonucunda ortaya çıkan enerji, dalgalar halinde yayılarak depremi meydana getirir. Bu dalgalar, cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olarak ikiye ayrılırlar. Cisim dalgaları, P-dalgaları ve S-dalgaları olmak üzere iki türdedir. P-dalgaları, birincil dalgalardır ve en hızlı dalgalardır. P-dalgalarında, titreşim hareketi dalğanın içinden geçtiği ortamda yayılma doğrultusu ile aynıdır. İkincil dalgalar olarak bilinen S –dalgalarının titreşim hareketi ise yayılma doğrultusuna diktir. Yüzey dalgaları ise cisim dalgalarına göre daha yavaş yayılırlar ancak genlikleri daha büyüktür. Mühendislik açısından önem arz eden yüzey dalgaları, hızı daha fazla olan Love ve genliği daha büyük olan Rayleigh olarak ikiye ayrılırlar. Yapıların sismik davranışı açısından kritik olan dalgalar S-dalgaları ile yüzey dalgalarıdır (Celep ve Kumbasar, 2004; Gülkan ve Canbay, 2008).

Tektonik açıdan Türkiye, Avrasya ve Afrika plakalarının çarpışmaları sonucu oluşan deformasyonların meydana getirdiği Akdeniz deprem kuşağı içerisinde bulunur. Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı, Arap ve Avrasya plakalarının çarpışmaları nedeniyle Anadolu plakasının batıya doğru hareketlenmesinden; Batı Anadolu gerilme yapısı ise Anadolu plakasının batıya doğru çekmesinden dolayı meydana gelmiştir. Bu oluşumların yanında Afrika plakasının, Anadolu plakasının altına girmesi nedeniyle oluşan bindirme bölgesi (Ege-Kıbrıs Arkı) de ülkemizin sismik aktivitesini etkilemektedir. Sismik açıdan riskli bölgelere sahip ülkemizde depreme karşı alınması gereken tedbirlerin başında depreme dayanıklı binaların tasarlanması ve inşası gelmektedir. Bunun en iyi şekilde yapılabilmesi için deprem yönetmelikleri çıkarılmış ve belirli aralıklarla güncellenmiştir. Türkiye’de 1944 yılında TBMM tarafından “Yer sarsıntılarında önce ve sonra alınacak tedbirler” kanununun kabul edilmesiyle, 1945 yılında Üniversiteler ve Bayındırlık Bakanlığı işbirliği ile ilk deprem bölgeleri haritası ve deprem yönetmeliği hazırlanmıştır. Türkiye deprem haritası daha sonra 1949,1963, 1972 ve 1998 yenilenmiş; deprem yönetmeliklerimiz ise 1949, 1953, 1961, 1968, 1975, 1997 ve 2007 yıllarında deprem mühendisliğindeki gelişmelere paralel olarak değişikliklere uğramıştır. 1998 yılında yürürlüğe giren deprem bölgeleri haritası olasılık yöntemleri ve yer ivmeleri esas alınarak hazırlanmıştır. Ülkemiz, 50 yıl içinde %10 aşılma ihtimali olan maksimum yer ivmelerine göre beş ayrı deprem bölgesine ayrılmıştır (Canbay ve diğ., 2008).

Sismik aktivitesi yüksek olan ülkemizin, yüzyıllar öncesinde (1509 ve 1766 İstanbul Depremleri) olduğu gibi yakın tarihimizde de büyük depremlere tanık olduğunu bilmekteyiz. Yakın tarihimizde meydana gelen depremlere örnek olarak; 1939 Erzincan Depremi, 1951 Çankırı Depremi, 1953 Çanakkale Depremi, 1957 Bolu Depremi, 1964 Balıkesir Depremi, 1970 Kütahya Depremi, 1976 Van Depremi, 1999 Kocaeli Depremi, 1999 Düzce Depremi, 2002 Afyon Depremi, 2003 Bingöl Depremi verilebilir. Son zamanlarda dünyada meydana gelen büyük depremler de (12 Ocak 2010 Haiti, 9 Mayıs 2010 Endonezya, 2 Ocak Şili ve 9 Mart, 11 Mart, 22 Mart ve 7 Nisan 2011 tarihlerinde ard arda yaşanan Japonya depremleri) deprem gerçeğini tüm acı yönleriyle hatırlamamızı sağlamıştır. Sismik aktivitesi yüksek dünya ülkelerinin ve ülkemizin deprem kuşağında yer alması, her an deprem olabileceği gerçeğinin kabullenilmesini;

depremlerin hasar ve zararlarına karşı önlem alınması gerekliliğini bizlere hatırlatmaktadır.

Taban ankastre yapılarda kat adedi artıkça yapının periyodu yükselir ve katlar arası görelî ötelemeler artar. Bu artışın önüne geçebilmek için yapısal rijitlik arttırılabilir; ancak bu defa taban kesme kuvveti dolayısı ile kat kuvvetleri artabilmektedir (Komodromos, 2000). Klasik depreme dayanıklı yapı tasarımının kısıtlı kaldığı bu noktada, depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda pasif kontrol, yarı aktif kontrol, aktif kontrol ve hibrit sistemler kullanılabilir. Pasif kontrol sistemleri kapsamında bulunan sismik izolasyon bunlardan en sık tercih edilenidir.

Taban ankastre bir binada deprem titreşimleri temel yoluyla yapıya iletilir. Yapıya iletilen titreşimler, katlar arasında ötelenmelere neden olarak, birleşim bölgelerinde zorlamalar oluşturur. Taban izolasyonlu bir binada ise üst yapı ile temel birbirinden izolasyon elemanları aracılığı ile ayrılır. Bu elemanlar düşeyde sıkıştırılmazken, yatayda deplase olarak yatay deprem etkilerinin büyük kısmını sönmürler. Böylelikle üst yapıdaki etkiler azaltılmış olur (Naeim ve Kelly, 1999; Celep ve Kumbasar, 2004; Akyüz 2008). Bu sistemler bir binanın tabanına yerleştirilebileceği gibi, mevcut yapılara uygulanarak klasik güçlendirme yöntemlerine alternatif oluşturabilmektedir. Ayrıca, taban ankastre olarak inşa edilmiş bir yapıda bulunan hassas cihazları korumak amacı ile hassas cihazların da altına yerleştirilebilirler (Hışman, 2011).

Sismik izolasyonda amaç, yapının sismik hareketler karşısında maruz kalacağı etkileri azaltmaktır. Sismik izolasyonlu bir yapıda üst yapı rijit bir blok halinde hareket eder ve yerdeğiştirmenin önemli kısmı izolasyon sisteminde ortaya çıkar (Naeim ve Kelly, 1999). Böylece taşıyıcı sistem ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar önlenerek yapı güvenliği arttırılabilir. Ancak, taban ankastre sistem, yatay deprem yükünü üst katlara doğru artan şekilde uygulamaktadır. Dolayısıyla, büyük kat kuvvetleri ve taban izolasyonlu bir yapıya göre büyük görelî kat ötelemeleri oluşur (Naeim, 2001). Ayrıca kısa periyotlu yapılarda uygun olan sismik izolasyon sisteminin, yumuşak zeminli bölgelerdeki yapılara uygulanmasının deprem kuvvetlerini arttırıcı yönde olabileceği bilinmektedir (Deb, 2004). Sismik izolasyonlu bir yapıda, genellikle izolatörleri rijit bir

şekilde birbirine bağlayan bir izolasyon katı oluşturularak, izolatörler temel ile kolonların arasına yerleştirilir. Yapı depreme maruz kaldığında, izolasyon elemanlarında meydana gelebilecek maksimum deplasmanlara uygun miktarda yapının tüm yönlerinde sismik boşluk adı verilen boşluk bırakılmalıdır.

Artan izolasyon periyodu ile sismik izolasyonlu binanın üst yapı performansı artabilirken; yakın deprem puls periyodu ile izolasyon periyodunun çakışması sonucunda izolatör deformasyonlarının artarak, izolasyon performansını düşürdüğü belirtilmiştir (Hall ve diğ., 1995; Alhan ve Göktaş, 2009). Sismik izolasyonlu yapılarda katlara gelen ivmeler azalırken, yapının yakın depreme maruz kalması durumunda büyük taban deplasmanları oluşabilir. Oluşan taban deplasmanı, bırakılacak sismik boşluk, izolatör deplasman kapasitesi gibi faktörler sebebi ile sınırlı tutulmaya çalışılmaktadır. Bu durum ek sönüm ihtiyacı doğurmaktadır. Ek sönüm ile büyük deplasman taleplerinin önüne geçilebilirken, kat ivmeleri ile katlar arası görelî ötelemeler artabilmektedir. Bu sebeple, sönüm miktarının, söz konusu ikilemi yaratması açısından son derece önemli olduğuna dikkat çekilmiştir (Heaton ve diğ., 1995; Hall 1999; Alhan ve Gavin, 2004; Mazza ve Vulcano, 2009).

Bu tez çalışmasında, kauçuk izolatörlerden oluşan farklı akma sonrası izolasyon periyodu, kuvvet oranı ve ek sönüm oranı parametrelerine sahip sismik izolasyon sistemlerinin sismik performansı; farklı puls periyodu, yeryüzünden faya olan mesafe ve sönüm oranı parametrelerine sahip sentetik yakın depremler altında incelenmiştir. Çalışmanın amaçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Literatürde var olan bazı puls modellerinin incelenmesi ve bu tez çalışmasında kullanılması öngörülen puls modeli kapsamında puls periyotları, sönüm oranları ve faya olan mesafeleri dolayısı ile büyüklüğü ve puls hızı farklı olan yakın depremlerin üretilmesi.
2. Farklı akma sonrası izolasyon periyodu, kuvvet oranı ve ek sönüm oranına sahip lineer olmayan izolasyon sistemlerinin, farklı puls periyodu, yeryüzünden faya olan mesafe ve sönüm oranına sahip sentetik depremlere maruz bırakılması ile pik taban deplasmanı ve pik en üst kat ivmesi gibi yapısal tepki parametrelerinin incelenmesi.

3. Oluşturulan, farklı karakteristiklere sahip izolasyon sistemlerinin farklı karakteristik özelliklere sahip yakın depremlere maruz kalması durumunda belirlenen performans testleri ile sismik başarılarının tespit edilmesi.

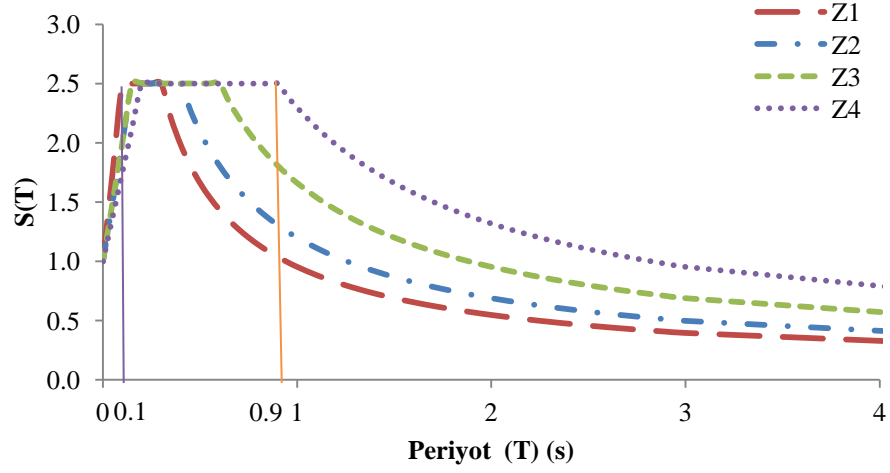
Bu tez kapsamında, öncelikle sismik izolasyonun tanımı yapılmış, bu tekniğin teorisi üzerinde durulmuş ve incelenen bazı teorik çalışmalara yer verilmiştir. Daha sonra dünyada ve ülkemizde son yıllarda yapılan sismik izolasyon uygulamalarından örnekler verilmiş ve sismik izolasyon teorisine yer verilmiştir. Ardından, yakın deprem tanımına ve literatürde yer alan çeşitli puls modellerine değinilerek, sismik izolasyonlu yapıların üzerinde yakın deprem etkileri ile ilgili literatürde var olan bazı çalışmalara yer verilmiştir. Sismik izolasyonlu yapıların lineer olmayan zaman-tanım alanı analizlerinin yapılabilmesi için kullanılan 3D-BASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programına değinilmiştir. Daha sonraki bölümde ise sistemlerin ve depremlerin matematiksel modellenmesi anlatılmıştır. Son bölümde ise, farklı akma sonrası izolasyon periyoduna, kuvvet oranına ve büyük taban deplasmanlarının azaltabilmesi için ilave edilen ek sönüme sahip sistemlere, üretilen yakın depremler etkilip sonuçlar karşılaştırmalı grafikler olarak sunulmuştur. İncelenen yapısal tepki parametreleri için belirlenen limit değerleri ve oluşturulan performans testleri, tüm depremler altında gözlemlenerek, sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde, ilk olarak sismik izolasyonun tanımı yapılarak, dünyadaki ve ülkemizdeki sismik izolasyon uygulamalarının bazılarına değinilmiştir. Ardından, sismik izolasyonun teorisine, yakın deprem tanımına ve literatürde var olan bazı yakın deprem modellerine yer verilmiştir. Son kısımda, sismik izolasyonlu yapıların üzerinde yakın depremlerin etkileri ile ilgili literatürde var olan çalışmalara ve sismik izolasyonlu yapıların modellenmesinde kullanılan 3D-BASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programının özelliklerine değinilmiştir.

2.1. SİSMİK İZOLASYONUN TANIMI

Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımında iki yol izlenebilir. İlki, yapı tasarım dayanımının yüksek tutulması ile deprem sırasında bu dayanımın aşılmamasını göz önüne alan elastik davranış; ikincisi tasarım dayanımın aşılmasına izin verilerek yapıda yerel veya toptan göçme olmaksızın sınırlı hasar oluşumuna izin verilen sünek davranıştır (Akyüz, 2008). Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımına teknolojik bir alternatif olan sismik izolasyon yönteminde ise, yapı periyodunu deprem hakim periyodundan uzaklaştırarak yapıya aktarılan sismik kuvvetlerin azaltılması sağlanmaktadır (Tezcan ve Cimilli, 2002; Akyüz, 2008; Celep ve Kumbasar, 2004). Ülkemizdeki yapı stoğu genel olarak 1 ile 10 kat arasında değişmektedir. Yapı doğal periyodunun toplam kat sayısının 0.1 katı olduğu kabul edilirse; yapıların doğal periyodunun 0.1 s ile 1 s arasında değiştiği söylenebilmektedir. Bu periyot aralığı, zemin sınıflarına bağlı olarak genellikle oluşabilecek depremlerin hakim periyot aralığını içermektedir (Şekil 2.1). Yapılara aktarılan deprem kuvvetleri spektrum katsayısı $S(T)$ ile doğru orantılı olduğundan, Şekil 2.1'den görüleceği gibi, doğal yapı periyotları bu kritik aralıkta bulunan yapılarda artabilmektedir.



Şekil 2.1: DBYBHY 2007 tanımlanan ivme spektrumları.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında karşılaşılan en büyük sorun kat ivmeleri ile görel kat ötelemelerinin aynı anda azaltılabilesidir. Görel kat ötelemeleri, yapısal rijitliğin artırılması ile azaltılabilmektedir; ancak rijitliğin artırılması aynı zamanda doğal yapı periyodunu düşüreceğinden, spektrum katsayısı $S(T)$ 'nin maksimum olduğu 0.1 s-0.9 s aralığına girmesine neden olarak kat ivmelerini arttırabilmektedir. Yapının kat ivmeleri ile görel kat ötelemelerinin aynı anda azaltılabilesi sismik izolasyon sayesinde sağlanabilir. Görel kat ötelemelerinin azaltılabilesi ile yapısal olan ve olmayan hasarlar en aza indirgenebilmektedir.

Sismik izolasyonlu yapıda amaç, yapının sismik hareketler karşısında maruz kalacağı etkileri azaltmaktır. Bu sebeple kullanılan izolasyon elemanları aracılığı ile yapının maruz kalacağı deprem etkileri izolasyon elemanlarında meydana gelecektir. Böylece üst yapıdaki zorlanmalar plastik bölgeye girmeyecek, yapı yapacağı deformasyonlardan sonra eski haline dönebilecektir. Sismik izolasyonlu bir yapıda üst yapı rijit bir blok halinde hareket eder ve yerdeğiştirmenin önemli kısmı izolasyon sisteminde ortaya çıkar (Naeim ve Kelly, 1999). Bu durumda, yapının davranışı izolasyon sisteminin deformasyona uğradığı birinci dinamik modu tarafından belirlenmektedir. Üst yapıda deformasyona neden olabilecek daha yüksek modlar harekete katılamayacakları için bu yüksek modların içerdiği yüksek enerji de üst yapıya aktarılamayacaktır. Böylece taşıyıcı sistem ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar önlenerek yapı güvenliği arttırılabilir. Ancak, bazı depremler en şiddetli etkisini uzun periyotlarda

gösterebilmektedir (Akyüz, 2008). Yakın kaynaklı (uzun periyotlu) depreme maruz kalan sismik izolasyonlu yapılarda büyük taban deplasmanları oluşabilir. Oluşan taban deplasmanı, bırakılacak sismik boşluk, izolatör deplasman kapasitesi gibi faktörler sebebi ile sınırlı tutulmaya çalışılmaktadır. Bu sebeple ek sönüm ihtiyacı doğmaktadır. Ek sönüm ile büyük deplasman taleplerinin önüne geçilebilirken, kat ivmeleri ile katlar arası görelî ötelemeler artabilmektedir. Bu sebeple, sönüm miktarının, söz konusu ikilemi yaratması açısından son derece önemli olduğuna dikkat çekilmiştir (Heaton ve diğ., 1995; Hall 1999; Alhan ve Gavin, 2004; Mazza ve Vulcano, 2009). Sismik izolasyon sistemlerinin tipik uzak kaynaklı depremlerde oldukça etkili olduğu görülürken; yakın kaynaklı depremler altında izolatörlerde meydana gelebilecek büyük deplasmanların, izolasyon elemanlarının sahip olduğu deplasman kapasitesini aşarak izolatörlerin yırtılması, burkulması gibi sorunlara sebep olabileceği belirtilmiştir (Nagarajaiah ve Ferrell, 1999; Alhan ve Göktaş, 2009). İzolasyon sisteminde meydana gelebilecek bu tür sorunlar, yapısal güvenlik için de tehdit oluşturabilmektedir.

İzolasyon sistemleri bir binanın tabanına yerleştirilebileceği gibi, mevcut yapılara uygulanarak klasik güçlendirme yöntemlerine de alternatif oluşturabilmektedir. Ayrıca, taban ankastre olarak inşa edilmiş bir yapıda bulunan hassas cihazları korumak amacı ile hassas cihazların da altına yerleştirilebilirler. Hassas cihazlar ile ilgili izolasyon uygulamalarını, deprem sırasında ve sonrasında aktifliğini sürdürebilmesi açısından önem arz eden finans merkezleri, hastaneler gibi yapıların yanı sıra; müzeler, teknolojik cihaz üretim tesisleri ve laboratuvarlar gibi yapılarda da görebilmekteyiz. Kısım 2.2’de sismik izolasyon uygulamalarının dünyadaki ve ülkemizdeki uygulamalarından birkaçına değinilmiştir.

2.2. SİSMİK İZOLASYON UYGULAMALARI

Sismik izolasyon düşüncesi ilk olarak Tokyo Üniversitesi’nde Dr. John Milne tarafından ortaya atılmıştır. Dr. Milne, 1876-1895 yılları arasında konuyla ilgili çalışarak, sismik izolasyonlu yapı inşa etmiştir. Bilyeler kullanarak yapıyı zeminden ayırmış ve küçük depremler etkisinde olumlu sonuçlara ulaşmıştır. Bu sonuçları, 1909 yılında, Santiago’da bulunan bir sismoloji servisine mektupla bildirilmiştir. Buna göre binaların yapım aşamasında altına talk, mika veya kum tabakasından oluşan bir tabaka

eklenerek yapıların deprem sırasında hareket edebilmesine izin verilmiş olacağını savunmuştur. Böylelikle binaya gelen kuvvetlerin azaltılabileceğini düşünmüştür. 1908 yılında İtalya'da gerçekleşen Messimo-Reggio depremi sonrasında, sismik izolasyonlu yapı tasarımı tekniği tartışmaya açılmıştır (Naeim ve Kelly, 1999). Sismik izolasyon sistemleri, modern anlamda ilk kez 1969 yılında Yugoslavya'da bir ortaokul inşaatı sırasında kullanılmıştır (Kelly, 1997).

Günümüzde, sismik izolasyon sistemlerinin en yaygın olarak kullanıldığı ülkeler arasında Yeni Zelanda, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler kullanılarak inşa edilen ilk bina Yeni Zelanda'nın Wellington şehrinde 1981 yılında yapılan Hükümet binasıdır. Japonya'da, yüz adedin üzerinde sismik izolasyonlu yapı bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ilk taban izolasyonlu bina ise 1985 yılında Kaliforniya'da inşa edilen Foothill binasıdır (Komodromos, 2000).

Sismik izolasyon tekniğinin son yirmi yılda, mevcut yapıların güçlendirilmesi, endüstri yapılarına, köprülere ve tarihi değer taşıyan yapılara yapılan uygulamalarının yanı sıra yeni yapıların sismik tasarımında verimli olduğu ortaya konulmuştur. Bunun sonucu olarak, yüksek sismik riske sahip birçok ülkede (Kaliforniya, Japonya, Yeni Zelanda), sismik izolasyonlu yapıların tasarım yönetmelikleri geliştirilmektedir (Mazza ve Vulcano, 2009).

Sismik izolasyon uygulamalarının, yurtdışında binalarda, köprülerde ve endüstri yapılarında birçok örneğini görmekteyiz. Bunlardan bazıları, Mills-Peninsula Hastane binası inşaatı, Pasadena Belediye Binası güçlendirme çalışması, San Francisco Havalimanı Terminali inşaatı, Benicia-Martinez Köprüsü güçlendirmesi ve I-40 Köprüsü güçlendirmesidir. Alaska ve Kanada gibi ülkelerde, soğuk iklim şartlarına maruz kalan köprülerde (Teslin Nehri Köprüsü, Kodiak-Near Ada Köprüsü, Robertson Nehri Köprüsü), hava sıcaklığının -54°F ile 102°F arasındaki değişimlerde sönümünü ve rijitliğini sürdürebildiği için sismik izolasyon uygulamasının bir türü olan sürtünme sarkaçları kullanılmıştır. Ayrıca açık deniz platformları (Sakhalin Açık Deniz Platformu, Rusya), kimyasal depolama tankları (Kriyojenik Depolama Tankı, İtalya), sıvılaştırılmış doğal gaz depolama tankları (LNG Depolama Tankı, Peru; LNG

Depolama Tankı Yunanistan) gibi uygulamalar da görülmektedir (Earthquake Protection Systems, 2011a, b, c)

Türkiye’de de özellikle son yıllarda meydana gelen yıkıcı depremlerin de etkisiyle özellikle stratejik açıdan öneme sahip yapılarda, deprem sonrası hizmet vermeye devam etmesine olanak sağlaması bakımından oldukça çekici olan sismik izolasyon kavramı önem kazanmıştır. Sismik izolasyon, ülkemizde ilk olarak Tarsus-Adana-Gaziantep otoyolunda Atatürk Viyadüğü’nde kullanılmıştır (Şengel ve diğ., 2009). Daha sonra Trans Avrupa Otoyolu (TEM) Bolu Dağı Viyadüğü, 1999 Düzce Depremi’nin merkez üssüne yakın olmasından dolayı önemli ölçüde hasar almıştır. Viyadüğün onarılması ve güçlendirilmesi çalışmalarında sismik izolasyon sistemi tercih edilmiştir (Earthquake Protection Systems, 2011d).

İstanbul Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali’nde, sismik izolasyon ve deprem güçlendirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Orijinal tasarım ile karşılaştırıldığında, deprem izolatörleri ile depreme karşı çok daha güvenli hale getirilen terminal binası 8 büyüklüğündeki bir depremi bile sorunsuz atlatabilecek bir performansa erişmiştir. (Doka Endüstri Limited Şirketi, 2011a).

Son dönemde, Antalya Havalimanı Uluslararası Terminal Binası’nda sismik izolasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapı ilk olarak, deprem bölgesi 4. Derece (PGA = 0,1 g) kabul edilerek inşa edilmiştir. Daha sonra deprem bölgesi 2. dereceye (PGA = 0,3 g) çıkartılması nedeniyle, yapının sismik etkilere karşı güçlendirilmesi gerekmiştir. İşveren, bir yandan işin hızla tamamlanmasını diğer yandan ise güçlendirilme çalışmalarının yapıldığı sürede hizmetin durdurulmamasını talep etmiştir. Sismik izolasyon bu talebi karşılayacak en iyi çözüm olarak seçilmiştir (Ayalp ve Sarıkaya, 2009). Büyüklük açısından Türkiye’de ilk, Dünyada ise ilk 5 proje arasında yer alan Antalya Havalimanı Uluslar Arası Dış Hatlar Terminali sismik izolasyon ve deprem güçlendirme projesi Temmuz 2004-Temmuz 2005 tarihleri arasında tamamlanmıştır (Şengel ve diğ., 2009).

17 Ağustos depremi ile yıkılan Tıp Fakültesi ve Araştırma Hastanesi'nin yerine Umuttepe kampüsü içerisinde yeni bir tıp fakültesi hastanesinin yapımına karar verilmiştir. Kocaeli Üniversite Hastanesi'nde sismik izolasyon uygulaması yapılmasına karar verilmiş; yerleştirilen izolatörlerin deplasman kapasitesi 30 cm. olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir (Doka Endüstri Limited Şirketi, 2011b).

Erzurum Fayı'na yaklaşık 4 km mesafede yer alan Erzurum Devlet Hastanesi Türkiye'de deprem yalıtımı tekniği kullanılarak tasarlanmış ve inşa edilmiş hastanelerden ikincisidir (Erdik, 2007). Son olarak, İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı'nda sismik izolasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir (İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı, 2011).

Ayrıca, Aliağa'da sıvı doğal gaz depolarında, Tarabya Oteli güçlendirilmesinde, Ankara Büyükşehir Belediyesi Ego Genel Müdürlüğü Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi'nde ve Sağlık Bakanlığı 400 yataklı Erzurum Devlet Hastanesi'nde kullanılmıştır (Şengel ve diğ., 2009).

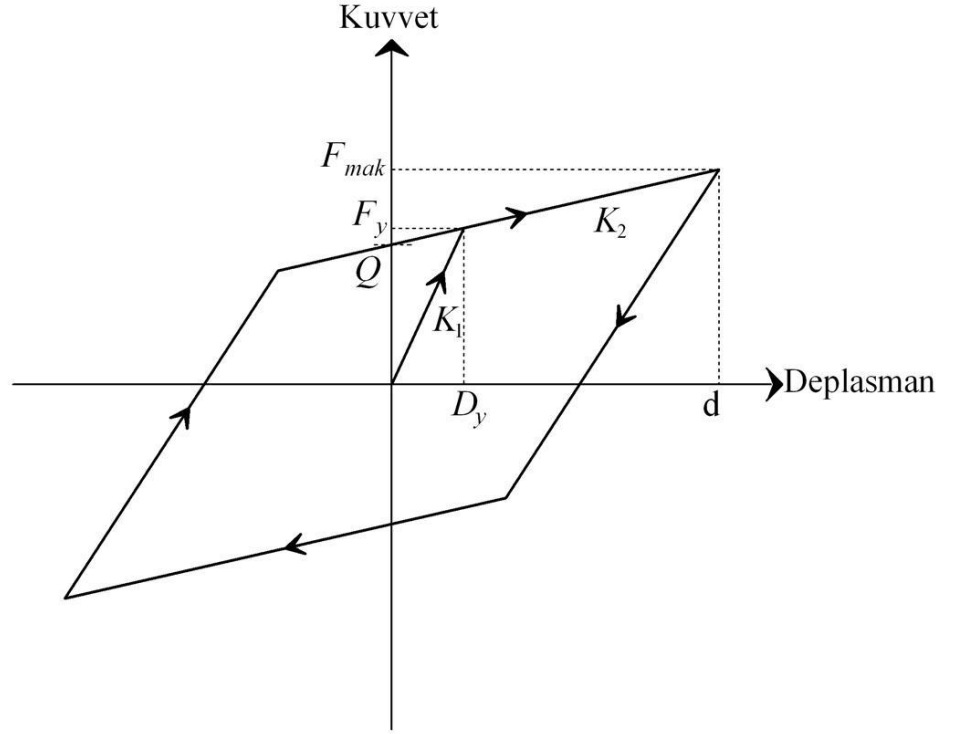
2.3. SİSMİK İZOLASYONUN TEORİSİ

Bu kısımda, kurşun çekirdekli veya yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin kuvvet-deplasman ilişkilerine yer verilmiştir. Kurşun çekirdekli mesnetler ilk olarak 1975 yılında Yeni Zellanda'da kullanılmaya başlanmıştır (Naeim ve Kelly, 1999). Bu mesnetler, deliklerine yerleştirilen kurşunun akma öncesi ve sonrası rijitlik değişimine bağlı olarak ikili lineer davranış sergilemektedirler. Bu davranış histeretiktir ve kuvvet-deplasman özelliği olarak lineer olmayan davranışı yansıtmaktadır. Ayrıca, ikili lineer davranış eşdeğer lineer olarak da modellenenilmektedir (Matsagar ve Jangid, 2004).

2.3.1. İkili Lineer Model

Lineer olmayan izolasyon sistemlerinin davranışı, ikili lineer model kullanılarak Şekil 2.2'deki gibi tanımlanabilir. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin ikili lineer modellenmesinde kullanılan parametreler; K_1 akma öncesi rijitlik (elastik rijitlik), K_2 akma sonrası rijitlik (plastik rijitlik), Q karakteristik kuvvettir (Naeim ve Kelly, 1999).

D_y akma yer değiştirmesini, M yapı toplam kütlesini temsil etmek üzere, akma sonrası titreşim periyodu (izolasyon periyodu) T_0 Denklem 2.1’de verildiği gibidir.



Şekil 2.2: İkili lineer histeretik model

$$T_0 = 2 \pi \sqrt{W/(K_2 g)} = 2 \pi \sqrt{M/K_2} \quad (2.1)$$

Akma sonrası rijitlik K_2 , karakteristik kuvvet Q ve akma öncesi rijitlik K_1 sırasıyla Denklem 2.2, Denklem 2.3 ve Denklem 2.4'deki gibi ifade edilmektedir:

$$K_2 = (4 \pi^2 M)/T_0^2 \quad (2.2)$$

$$Q = (K_1 - K_2)D_y \quad (2.3)$$

$$K_1 = K_2 + Q/D_y \quad (2.4)$$

Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı α ;

$$\alpha = K_2/K_1 \quad (2.5)$$

ve akma dayanımı F_y ise;

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

şeklinde verilmektedir.

2.3.2. Eşdeğer Lineer Model

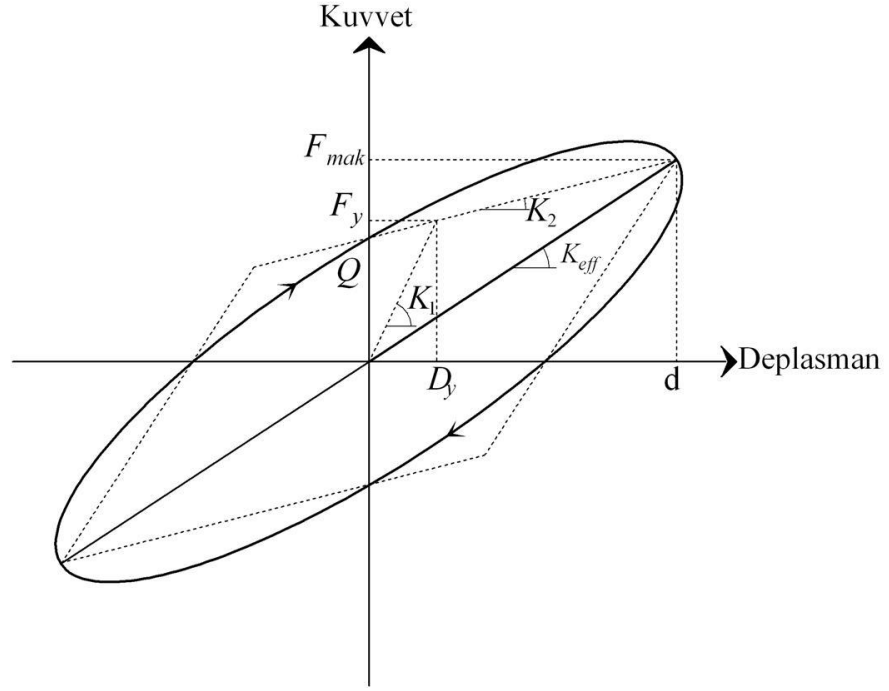
Lineer olmayan izolasyon sistemleri, eşdeğer rijitlik ve eşdeğer sönüm kavramları kullanılarak lineer olarak da modellenebilirler. Matsagar ve Jangid'in (2004) çalışmalarında sundukları, Şekil 2.3'te gösterilen lineer olmayan izolasyon sistemlerinin eşdeğer lineer modellenmesi için etkin rijitlik (K_{eff}), etkin viskoz sönüm oranı (β_{eff}) ve etkin periyot (T_{eff}); K_2 akma sonrası rijitlik, Q karakteristik kuvvet, F_y akma dayanımı, d maksimum taban deplasmanı, D_y akma yer değiştirmesi ve M yapı toplam kütesini temsil etmek üzere, sırasıyla (2.7), (2.8) ve (2.9) denklemleriyle ifade edilmiştir:

Eşdeğer lineer modelde (Şekil 2.3), döngünün oluşturduğu alan eşdeğer sönüm miktarını belirlemektedir.

$$K_{eff} = K_2 - (K_2 D_y - F_y)/d = K_2 + Q/d \quad (2.7)$$

$$\beta_{eff} = 4 Q (d - D_y)/2\pi K_{eff} d^2 \quad (2.8)$$

$$T_{eff} = 2 \pi \sqrt{M/K_{eff}} \quad (2.9)$$



Şekil 2.3: Eşdeğer lineer model (Matsagar ve Jangid, 2004)

Eşdeğer lineer modellemenin kullanımına UBC97 (ICBO, 1997) ve IBC (ICBO, 2006) deprem yönetmelikleri izin vermektedir.

2.4. YAKIN DEPREMLER

2.4.1. Yakın Depremlerin Tanımı

Yakın fay depremleri, uzak fay depremlerinden belirgin bir biçimde ayırt edilebilir. Genelde ivme kayıtlarında belirgin farklar gözlenmemesine rağmen; özellikle hız kayıtlarında belirgin farklar görülür. Bu farklar, deprem fayına yakın bölgelerde uzun periyotlu pulslar ile yüksek pik yer hızlarıyla karakterize edilebilir. Yakın fay olgusunun, ilk kez fay kırığının hareket eden bir kaynak olarak farklı tipteki yer hareketine neden olabileceğinin Benioff (1955) tarafından ortaya konulduğu 1952 Kern Country depremi, çelik ve betonarme binaların ilk katlarında oluşturduğu küçük hasarlarla dikkatleri çekmiştir. Ortaya çıkan hasarlar SEAOC (Structural Engineers Association of California) tarafından yürütülen çalışmalarda UBC (Uniform Building Code)'ye kaynak teşkil eden Blue Book'un oluşturulmasına katkı sağlamıştır. Yakın

tarihimizde ise Northridge (1994), Kobe (1995), Kocaeli (1999), ve Chi-Chi (1999) depremlerinin büyük yapısal hasarlara neden olduğu gözlemlenmiştir. Dicleli ve Buddaram (2007) çalışmasında, yakın fay depremlerinde yüksek PGV/PGA (pik yer hızı/pik yer ivmesi) oranının, yüksek katlı yapılarda taban kesme kuvvetini, görelî kat ötelemelerini ve süneklik talebini arttırdığını göstermiştir.

Sismik kaynağa yakın yer hareketleri, özellikle yakın fay etkilerinden oluşan doğrultu ve sıçrama titreşiminden etkilenir. Doğrultu titreşimi yer hareketinin süresini ve uzun periyotlu enerji içeriğini özellikle fay kırığının normal bileşeni içinde etkiler. Bölgeye doğru kırılan fay, kısa süreli fakat büyük genlikli hareket pulsu üretir. Bu harekete ileri doğrultu titreşimi denir. İleri doğrultu titreşiminin aksine, nötr ve geri doğrultu titreşimi uzun süreli ve göreceli olarak düşük genlik üretir. Fay kırığı boyunca meydana gelen kalıcı yer değiştirmelerle bağlantılı olan sıçrama titreşimi, kaymaya paralel yönde büyük ve tek yönlü hız pulsarı meydana getirir (Stewart ve diğ., 2001). Geçmiş depremlerdeki kayıtlar, kırılan fayın yakınındaki yer hareketinin en önemli karakteristik özelliği olan doğrultu titreşimi nedeniyle büyük enerji çıkarttığını göstermektedir (Gibson ve diğ., 2002). İleri doğrultu titreşimi, kırılmanın ve faydaki kaymanın yönü bölgeye doğru olduğunda meydana gelmektedir. Bu titreşim, fayın kırılma hızının kaynağa yakın olan zeminin kayma dalgası hızına yaklaşması durumunda oluşur. Yanal atımlı faydaki enerji, kırılma odak noktasından bölgeye doğru yayıldığında kırılmanın olacağı yerde birikir. Dalga yüzü, deprem kaydının başında, hareketin büyük pulsa ulaşmasıyla meydana gelir ve normal atım doğrultusunda polarize olur. Hareketin pulsu tipik olarak kısa süreli, orta veya uzun periyotlarda büyük genliklerle karakterize edilir. Eğer bir bölge merkez üssüne yakınsa, yani kırılma bölgeden ilerliyorsa, sismik dalganın varışı zamana yayılır. Bu hareket geri doğrultu titreşimidir ve uzun süreli, düşük genlikli olarak karakterize edilir. Nötr doğrultu titreşimi ise fayın kırılma yüzeyine ve merkez üssüne dik bölgelerinde olur (Stewart ve diğ., 2001). Doğrultu titreşimi yan al ve düşey atımlı fayların normal bileşeninde ortaya çıkar. Yanal atımlı faylarda doğrultu etkilerinin odak noktasından uzak bölgelerde olmasının nedeni, enerjinin kayma dalgalarının bölgeye doğru ilerlemesiyle oluşmasıdır. Düşey atımlı fayın oluşturduğu ileri doğrultu titreşimi ise, fay yüzeyine yakın bölgelerde oluşmaktadır. Fayın geometrisi ne kadar iyi bilinse dahi kırılmanın yönü net olarak tahmin edilememektedir (Gibson ve diğ., 2002).

Kayıt edilen deprem hareketlerini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerden depremin büyüklüğü ve bölgenin faya olan en uzaklığının birbirleri ile ilişkileri vardır. Örneğin, maksimum yer hareketi hızının (v_p), depremin büyüklüğü (M_w) ve yapının faya olan en yakın mesafesi (r) arasındaki ilişki ile puls periyodunun (T_p) depremin büyüklüğü (M_w) arasındaki ilişki Somerville (1998) tarafından sırasıyla (2.10) ve (2.11) denklemleri ile verilmiştir. Puls periyodu, $T_p = 2.2 T_r$ olarak hesaplanmaktadır. Burada, T_r fayın bir yüzünün diğerine göre kayması için geçen süredir (“the rise time of slip on fault”).

$$\ln(v_p) = -2.31 + 1.15 M_w - 0.5 \ln(r) \quad (2.10)$$

$$\log_{10}(T_p) = -2.5 + 0.425 M_w \quad (2.11)$$

2.4.2. Yakın Depremlerin Modellenmesi

Yakın depremlerin modellenmesi ile ilgili literatürde çeşitli model önerilerini içeren çalışmalar mevcuttur (Makris ve Chang, 2000; Menun ve Fu, 2002; Agrawal ve He, 2002; He, 2003; He ve Agrawal, 2008). Bu bölümde, bu çalışmalardan bazıları ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2.4.2.1. Makris ve Chang (2000) Puls Modeli

Makris (1997), Makris ve Chang (1998), ve Makris ve Chang (2000) çalışmalarında, yakın fay etkisi gösteren Tip-A, Tip-B ve Tip-C_n olmak üzere üç çeşit puls hareketi öne sürmüşlerdir. Fiziksel olarak gerçekleştirilebilen puls titreşimleri elde edilmiş ve bu depremlerin yakın fay depremleriyle uyumlulukları gösterilmiştir. Tip-A puls hareketi hız-zaman grafiğindeki ileri hareketi, Tip-B puls hareketi hız-zaman grafiğindeki ileri geri hareketi, Tip-C_n yer değiştirme-zaman grafiğindeki n adet darbe titreşimini ifade etmektedir. $T_p = 2\pi/\omega_p$ puls periyodu, v_p deprem kaydının hız genliği, t ana pulsun süresi, φ faz açısı olmak üzere önerilen formüller aşağıda verilmektedir. Tip-A puls titreşiminin ivme, hız ve yer değiştirme kayıtlarını elde edebilmek için sırasıyla (2.12), (2.13) ve (2.14) formülleri önerilmiştir:

$0 \leq t \leq T_p$ aralığı için,

$$\ddot{u}(t) = \omega_p(v_p/2) \sin(\omega_p t) \quad (2.12)$$

$$\dot{u}(t) = (v_p / 2) - (v_p / 2) \cos(\omega_p t) \quad (2.13)$$

$$u(t) = (v_p / 2) t - (v_p / 2\omega_p) \sin(\omega_p t) \quad (2.14)$$

Tip-B puls titreşiminin ivme, hız ve yer değiştirme kayıtlarını elde edebilmek için sırasıyla (2.15), (2.16) ve (2.17) formülleri önerilmiştir:

$0 \leq t \leq T_p$ aralığı için,

$$\ddot{u}(t) = \omega_p v_p \cos(\omega_p t) \quad (2.15)$$

$$\dot{u}(t) = v_p \sin(\omega_p t) \quad (2.16)$$

$$u(t) = (v_p / \omega_p) - (v_p / \omega_p) \cos(\omega_p t) \quad (2.17)$$

Tip-C_n puls titreşiminin ivme, hız ve yer değiştirme kayıtlarını elde edebilmek için sırasıyla (2.18), (2.19) ve (2.20) formülleri önerilmiştir:

$0 \leq t \leq (n + 1/2 - \varphi / \pi)T_p$ aralığı için,

$$\ddot{u}(t) = \omega_p v_p \cos(\omega_p t + \varphi) \quad (2.18)$$

$$\dot{u}(t) = v_p \sin(\omega_p t + \varphi) - v_p \sin(\varphi) \quad (2.19)$$

$$u(t) = -(v_p / \omega_p) \cos(\omega_p t + \varphi) - v_p t \sin(\varphi) + (v_p / \omega_p) \cos(\varphi) \quad (2.20)$$

Faz açısı değeri φ , titreşimin sonunda yer değiştirmenin sıfır olmasıyla bulunmaktadır.

$$\text{Frekans } \omega_p = 2\pi / T_p \quad (2.21)$$

olan Tip-C_n darbe hareketinin süresi,

$$T = (n + 1/2)T_p - (\varphi / \omega_p) = (n + 1/2 - \varphi / \pi)T_p \quad (2.22)$$

Tip-C_n puls hareketinin sonunda sıfır yer değiştirmesi elde etmek için,

$$\int_0^{(n+1/2-\varphi/\pi)T_p} \dot{u}(t) dt = 0 \quad (2.23)$$

Denklem (2.23)'ün çözümü ile Denklem (2.24)'ü verir:

$$\cos[(2n + 1)\pi - \varphi] + [(2n + 1)\pi - 2\varphi]\sin\varphi - \cos\varphi = 0 \quad (2.24)$$

Denklem 2.24'ten faz açısının, φ , değeri bulunmaktadır. Örneğin $n=1$ alınırsa Tip-C₁ darbe hareketi için $\varphi = 0.0697\pi$; $n=2$ alınırsa Tip-C₂ darbe hareketi için $\varphi = 0.0410\pi$ 'dir. Mazza ve Vulcano (2009), yakın deprem altındaki sismik izolasyonlu sistemlerde ek sönümün etkisini inceledikleri çalışmalarında, Tip-C_n puls modelini kullanmışlardır.

2.4.2.2. Menun ve Fu (2002) Puls Modeli

Menun ve Fu (2002) çalışmasında, fayın normal bileşeni için yeni bir puls modeli idealize edilmiştir. Burada t_0 puls hareketinin başladığı süre, n_1 ve n_2 şekil parametreleri, v_p hız pulsunun genliği ve T_p hız pulsunun periyodu olmak üzere, puls modelinin hız ve ivme kayıtları için verilen denklemler sırasıyla (2.27), (2.28) ve (2.29)'daki gibidir:

$t_0 < t \leq t_0 + 3/4 T_p$ aralığı için,

$$\dot{u}_m(t; \theta) = v_p \exp[-n_1(3/4 T_p - t + t_0)] \sin[2\pi / T_p (t - t_0)] \quad (2.27)$$

$t_0 + 3/4 T_p < t \leq t_0 + 2T_p$ aralığı için,

$$\dot{u}_m(t; \theta) = v_p \exp[-n_2(t - t_0 - 3/4 T_p)] \sin[2\pi / T_p (t - t_0)] \quad (2.28)$$

Yukarıdaki zaman aralıklarının dışındaki t zamanları için,

$$\dot{u}_m(t; \boldsymbol{\theta}) = 0 \quad (2.29)$$

Burada, $\boldsymbol{\theta} = [v_p, T_p, t_0, n_1, n_2]^T$ modeli tanımlayan parametrelerin vektörüdür.

2.4.2.3. Agrawal ve He (2002) Puls Modeli

Kısım 2.4.2.5.'te anlatılan ve Kısım 3.2'de ayrıntılarına yer verilen He ve Agrawal (2008) puls modelinin, $n = 0$ özel hali için verilen hız ve ivme denklemleri Agrawal ve He (2002) çalışmasında, Denklem (2.30) ve (2.31)'de verildiği gibi sunulmuştur. ζ_p sönüm faktörü, s hız pulsunun başlangıç genliği, ω_p sinüzoidin frekansı, t süre (saniye) olmak üzere puls modeli şu şekildedir:

$$\dot{u}(t) = se^{-\zeta_p \omega_p t} \sin \omega_p \sqrt{(1 - \zeta_p^2)} t \quad (2.30)$$

$$\ddot{u}(t) = se^{-\zeta_p \omega_p t} (-\zeta_p \omega_p \sin \omega_p \sqrt{(1 - \zeta_p^2)} t + \omega_p \sqrt{(1 - \zeta_p^2)} \cos \omega_p \sqrt{(1 - \zeta_p^2)} t) \quad (2.31)$$

Bu model, Dicleli ve Buddaram (2007) tarafından da 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, v_p ve T_p ile eşleşmesi gereken model parametreleri; ω_p sinüzoidin frekansı, pik yer hızının olduğu zaman t_p ve s hız pulsunun başlangıç genliği ile ilgili denklemleri aşağıdaki aşamalara göre hesaplamışlardır:

Bunun için öncelikle sinüzoidin frekansı ω_p :

$$\omega_p = 2\pi / (T_p \sqrt{(1 - \zeta_p^2)}) \quad (2.32)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Daha sonra, denklem (2.31)'in sıfıra eşitlenmesi ile elde edilen t değeri; pik yer hızı t_p 'nin olduğu zamanı Denklem (2.33)'te verilmektedir:

$$t_p = \tan^{-1}(1 / \zeta_p^2 - 1) / (\omega_p \sqrt{(1 - \zeta_p^2)}) \quad (2.33)$$

Elde edilen pik yer hızının t_p değeri, Denklem (2.30)'da yerine yerleştirildiğinde, denklem maksimum yer hareketi hızı v_p 'ye eşit olur. Bu eşitlikten elde edilen s değeri Denklem (2.34)'te sunulmuştur.

$$s = v_p / (e^{-\zeta_p \omega_p t_p} \sin \omega_p \sqrt{(1 - \zeta_p^2) t_p}) \quad (2.34)$$

2.4.2.4. He (2003) Puls Modeli

He (2003) tarafından önerilen puls modelinde; C genlik ölçeklendirme faktörü, a sönüm faktörü, n zarfın şekil parametresi, ω_p puls frekansı olmak üzere, puls titreşiminin hız ve ivme kayıtları için denklemler sırasıyla (2.35) ve (2.36)'da verilmiştir.

$$\dot{u} = Ct^n e^{-at} \sin \omega_p t \quad (2.35)$$

$$\ddot{u} = Ct^n e^{-at} [(n/t - a) \sin \omega_p t + \omega_p \cos \omega_p t] \quad (2.36)$$

Örneğin, Xu ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada He (2003) puls modelini kullanmışlar ve $T_p = 2\pi/\omega_p = 1$ sn, $n = 1$, $a = 2.51/T_p = 2.5$ ve $C = 7.17$ alarak, maksimum puls hızı 1m/sn ve maksimum puls ivmesini 0.6g olarak elde etmişlerdir.

2.4.2.5. He ve Agrawal (2008) Puls Modeli

Bu puls modeli çalışmasında, C genlik ölçeklendirme faktörü, v sinüzoidal bileşenin faz açısı, a sönüm faktörü, n puls modelinin zarf eğrisi şekil parametresi, $\omega_p = 2\pi/T_p$ puls frekansı, t_0 puls hareketinin başladığı zaman olmak üzere yer hızı ve yer ivmesi sırasıyla Denklem (2.37) ve Denklem (2.38)'deki gibidir (He ve Agrawal, 2008).

$$\dot{u} = Ct^n e^{-at} \sin(\omega_p t + v), \quad t \geq t_0 \quad (2.37)$$

$$\ddot{u} = Ct^n e^{-at} [(n/t - a) \sin(\omega_p t + v) + \omega_p \cos(\omega_p t + v)], \quad t \geq t_0 \quad (2.38)$$

2.5. SİSMİK İZOLASYONLU YAPILARIN ÜZERİNDE YAKIN DEPREMLERİN ETKİLERİ

Heaton ve diğ. (1995) ile Hall ve diğ. (1995) çalışmalarında, yakın deprem etkisi altında sismik izolasyonlu yapıların savunmasız kaldığını, fonksiyonel kalabilmeleri için özel önlemler alınması gerektiğini belirtmeleri üzerine; Kelly, (1999) çalışmasında, tasarımda kullanılan yönetmelik gerekliliklerine göre, tasarımcıların yakın deprem etkisi altındaki sismik izolasyonlu yapılarda, izolatörlerin büyük deplasmanlar yapması ile karşılaştıklarını belirtmiştir. Bu deplasmanların azaltılabilmesi için, ek sönüm konulmasının çoğu kez tavsiye edildiğini; fakat ek sönümün deplasmanları azaltırken, üst yapının görelî kat ötelemelerini ve kat ivmelerini önemli biçimde arttırdığını vurgulamıştır. Bu ikilemi gösterebilmek için basit bir izolasyonlu model üzerinde yaptığı çalışmanın (Kelly, 1999) sonucunda, sisteme ek sönüm ilave edilmesi ile izolatör deplasmanının ve taban kesme kuvvetinin azaltılabilirken, katlar arası görelî ötelemelerin ve kat ivmelerinin artabileceğini göstererek; ek sönümün isabetsiz bir çaba olduğu, yönetmeliklerin yetersiz olduğunu ve farklı stratejilerin geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu fikre karşı olarak, Hall (1999) çalışmasında, ek sönümün izolatörlerin büyük taban deplasmanlarını azaltırken katlar arası görelî ötelemeleri ve kat ivmelerini arttırdığını, buna yönetmeliğin de izin verdiğini vurgulamıştır. Ek sönümün etkisinin incelendiği analitik çalışmada, %50 oranındaki sönümün ivme ve görelî ötelemeler üzerinde hasar verici etkilerinin olabileceği; buna karşın ek sönümün herhangi bir miktarına karşı olmanın hatalı bir çaba olduğu belirtilmiştir.

Bir başka çalışmada, sismik izolasyon sistemlerinin tipik uzak kaynaklı depremlerde oldukça etkili olurken; yakın kaynaklı depremler altında izolatörlerde meydana gelebilecek büyük deformasyonlar sonucu izolatörlerin yırtılması, burkulması gibi sorunlarla karşılaşılacağı belirtilmiştir (Nagarajaiah ve Ferrell, 1999).

Hall ve Ryan (2000) ise, UBC 97 Yönetmeliğine uygun olarak tasarlanan taban izolasyonlu yapıların, yakın kaynaklı depremler etkisini değerlendirebilmek için bilgisayar simülasyonları yapmıştır. Aktif faya yakınlık faktörü $N_v=1.6$ değeri için tasarlanan altı katlı taban izolasyonlu bir bina, yakın deprem etkisi içeren altı adet gerçek yer hareketine maruz bırakıldığında, elastik yapısal davranış sergilemiştir. Buna

ek olarak, taban izolasyonlu binaların periyoduna yakın olan 3 saniye süreli 113 cm yerdeğiştirme pulsu, aktif faya yakınlık faktörü $N_v=1.6$ değeri için tasarlanan yapıda yaklaşık olarak %5 ve $N_v=2.0$ değeri için tasarlanan yapıda %2'den fazla katlar arası görelî ötelemelere neden olmuştur. Bu tür görelî kat ötelemeleri, izolatörlerin yanına eklenen ek sönümleyiciler ile etkin olarak azaltılabilmektedir. Aktif faya yakınlık faktörü $N_v=1.6$ değeri için %20 miktarında ek sönüm ile tasarlanan sistemde, aynı 3 saniye süreli yerdeğiştirme pulsu için %1.2 oranında katlar arası görelî ötelemeler oluşmuştur.

Sismik izolasyonlu yapıların davranışları taban ankastre yapılardan oldukça farklıdır. Yapısal cevabın neredeyse tamamında birinci modun etkisi vardır. Sismik izolasyonlu bir yapının yapacağı deplasmanın çok büyük kısmı üst yapıya göre çok esnek olan izolasyon sisteminde meydana gelmekte ve üst yapı rijit bir blok gibi hareket etmektedir. İzolasyon sistemi lineer olmayan bir davranış göstermektedir. Etkin rijitlik ve etkin sönüm kullanılarak lineer modellenen sistemlerde ise üst yapı ve izolasyon sistemi arasındaki büyük sönüm farkı ortaya çıkmaktadır. Yapısal sistemin dinamik davranışına yüksek mod etkileri, plan düzensizlikleri ve iki yönlü yer hareketleri önemli katkı sağlarlar. Bu önemli detayları yapılan çalışmada birleştirmek için, farklı izolasyon rijitliği, izolasyon periyodu ve farklı sönüm karakteristiği olan L tipi plan boyutlarına sahip 8 katlı prototip bina modelleri Alhan ve Gavin (2004) tarafından incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları, artan sönümün izolatör deplasmanlarını azalttığını ancak kat ivmelerini ve katlar arası görelî ötelemeleri arttırdığını göstermiştir. Diğer yandan, kat ivmelerini ve görelî kat ötelemelerini arttırmadan taban deplasmanlarını limitlendirmek için uygun izolasyon rijitliği ve sönümü birleştirilebilir; ancak uygun izolasyon rijitliği ve sönümü deprem kaydının içeriğine bağlıdır (Alhan ve Gavin, 2004).

Dicleli ve Buddaram (2007), ileri doğrultu titreşimi etkisini içeren yakın deprem hareketlerine maruz kalan sismik izolasyonlu köprülerin, eşdeğer lineer analiz prosedürünü içeren bir çalışma yapmışlardır. Çeşitli yakın deprem ve izolatör özelliklerinin değerlendirildiği bu çalışmada, eşdeğer lineer analiz sonuçlarının yakın depremin büyüklüğünden, yapının faya olan en yakın mesafesinden, akma sonrası rijitliğinden ve izolatörün akma kuvvetinden etkilendiği belirtilmiştir. Bu çalışmada

yakın deprem modellemesinde Agrawal ve He (2002) modeli geliştirilerek, tarihi yakın depremlerin puls hızının ve puls periyodunun belirlenmesinde kullanılmıştır.

Yakın deprem etkisi, kurşun kauçuk izolasyonlu çok katlı yapılarda yapılan bir çalışma ile araştırılmıştır (Jangid, 2007). Bu çalışmada, kuvvet-deformasyon ilişkisi viskoz sönüm ile ikili lineer olarak modellenmiştir. İzolasyonlu yapının mutlak en üst kat ivmesi ile taban deplasmanları arasındaki değişimi, üst yapının esnekliği, izolasyon periyodu ve izolatör akma kuvveti gibi farklı sistem parametreleri altında incelenmiştir. Sonuçların karşılaştırılması ile düşük akma kuvvetinin yakın depremler etkisi altında önemli deplasmanlar oluşturduğu belirtilmiştir. Yakın deprem etkileri altındaki optimum izolatör akma kuvveti, farklı sistem parametrelerinden türetilmiştir. Bu kriter, en üst kat ivmesi ile taban deplasmanının ikisini birden minimize etmek için optimum olarak seçilmiştir. Kurşun kauçuk izolatörün optimum akma kuvveti, yakın deprem etkisindeki binanın toplam ağırlığının %10 ile %15'i arasında bulunmuştur.

Alhan ve Göktaş'ın (2009) yaptıkları çalışmada, lineer izolasyon sistemine sahip üç katlı bir yapının, yakın ve uzak kaynaklı tarihi depremler ile farklı odak uzaklıklarında üretilen sentetik depremler altında sismik davranışı incelenmiştir. Depremlerin odak uzaklıkları ve izolasyon sistemlerinin puls periyodunun, taban deplasmanları, taban ve kat ivmeleri ile katlar arası görelî ötelemeleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu parametrik çalışma, artan izolasyon periyodu ile sismik izolasyonlu binanın üst yapı performansının arttığını ortaya koymuştur. Ancak, yakın deprem puls periyodu ile izolasyon periyodunun çakışması sonucunda izolatör deformasyonlarının artarak, izolasyon performansını düşürdüğü belirtilmiştir.

Kat ivmelerini ve katlar arası görelî ötelemeleri azaltmak için kullanılan kauçuk yastıklar, uzun periyotlu hız pulsü içeren yakın depremlere maruz kaldığında, izolasyon sistemi periyodu ile çakışarak izolatörlerin büyük deformasyonlar yapmasına ve yırtılmasına sebep olabilmektedir. Sismik izolasyonlu yapıların tasarımında, yakın depremler ile ilgili hükümleri de içeren UBC 97 Yönetmeliği yaygın olarak kullanılmaktadır. UBC 97 Yönetmeliği'ne göre tasarlanan sismik izolasyonlu sistemlerin performansını incelemek için, yakın ve uzak kaynaklı depremler altında, 4 katlı sismik izolasyonlu, aktif faya yakın sistemde iki yönlü lineer olmayan zaman-

tanım analizi yapılmıştır. İzolasyon sistemi, yüksek sönümlü kauçuk izolatörler ve ikili lineer olarak modellenen kuvvet-deplasman davranışı ile kompoze edilmiştir. Tasarım deplasmanları UBC 97 Yönetmeliği'nin yakın deprem parametrelerini kullanılarak tahmin edilmiştir. Sismik izolasyonlu yapı, 1940 El Centro Deprem'ine ve 1996 Kobe yakın depremine maruz bırakılmıştır. Sonuçlar, UBC 97'nin izolatör deplasmanlarını başarılı bir şekilde önceden tahmin ettiğini göstermiştir. Sismik izolasyonlu yapı, eşdeğer ankastre tabanlı yapı ile karşılaştırıldığında kat ivmeleri ve katlar arası göreceli ötelemelerin önemli ölçüde azaltıldığı belirtilmiştir (Alhan ve Altun 2009).

Yapılan bir başka çalışmada (Mazza ve Vulcano, 2009), yakın deprem etkisi altındaki sismik izolasyonlu çerçeve binada oluşan geniş deplasman kapasitesi gerektirecek izolatörlerden kaçınmak için ek sönümün kullanılması incelenmiştir. Bu nümerik çalışmada, iki ve çok serbestlik dereceli orta yükseklikteki sismik izolasyonlu çerçeve binalar dikkate alınmıştır. Tipik betonarme düzlem çerçeveli izolasyonlu yapı, yüksek sismik riski bulunan bölge için, kaya (Zemin A) ve kısmen yumuşak (Zemin D) zemin türleri için Eurocode 8'e göre dizayn edilmiştir. Paralel olarak yüksek sönümlü lamineli kauçuk izolatör ve ek viskoz sönümleyicilerden oluşan tüm izolasyon sistemi, eşdeğer viskoelastik lineer model ile modellenmiştir. Eurocode 8 ile uyumlu olarak A ve D zemin sınıflarının tepki spektrumundan yapay ivme kayıtları ile yakın deprem bölgelerinde yumuşak zemin ve kaya zeminden elde edilen ivme kayıtları dikkate alınmıştır. Yüksek taban deplasmanlarının kontrolü için ek sönümün uygun olduğu; fakat ek sönüm ile sismik girdinin frekans içeriğine bağlı olarak yapısal ve yapısal olmayan hasarların önlenmesini garanti altına alınamadığı vurgulanmıştır. Özellikle yumuşak zemin bölgelerinde bulunan sismik izolasyonlu yapılarda, yakın deprem etkisi düşünülerek önlemler alınması gerektiği belirtilmiştir.

2.6. ÜÇ BOYUTLU SİSMİK İZOLASYONLU YAPILARIN ANALİZİ İÇİN 3D-BASIS PROGRAMI

Bu tez kapsamında kullanılan 3D-BASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programı, üç boyutlu ve iki boyutlu sismik izolasyonlu yapıların lineer ve nonlineer zaman-tanım alanı analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Reinhorn ve diğ. (1994) tarafından hazırlanan bir rapor ile programın teorik ve uygulama esasları anlatılmıştır.

Program ile düşük ve yüksek sönümlenme özellikleri olan elastomer mesnetler, kurşun çekirdekli elastomer mesnetler, kayıcı mesnetler ve viskoz sönümleyicileri modellenerek oluşturulan yapıların, sismik hareketler altındaki üç boyutlu analizleri yapılabilmektedir. Programın beş farklı serisi vardır. Bunlar, 3D-BASIS (Nagarajaiah, ve diğ., 1989, 1991), 3D-BASIS-M (Tsopelas ve diğ., 1991), 3D-BASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) ve 3D-BASIS-TABS'tır (Nagarajaiah ve diğ., 1993; Reinhorn ve diğ., 1994). Her bir serisinde farklı kullanım özellikleri ve kolaylıkları mevcuttur.

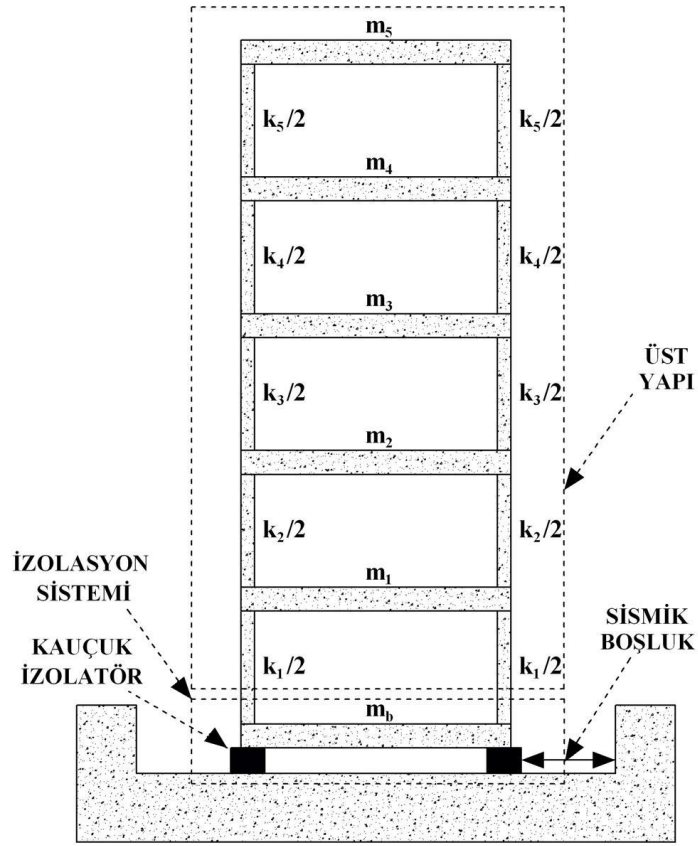
Sismik izolasyonlu bir yapı, 3D-BASIS programında, üst yapı ve izolasyon sistemi olarak iki aşamada modellenir. Üst yapı modellemesinde tercih edilebilen kayma çerçevesi modeli için her katın kütlesi, rijitliği, atalet kütle momenti, üst yapı sönüm oranı ve kat yükseklikleri kullanılır. İzolasyon sisteminin modellenmesinde ise, izolasyon katının kütlesi, atalet kütle momenti, ek sönüm değeri, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğine oranı, akma dayanımı ve akma yer değiştirmesi değerleri kullanılır. Üst yapı ve izolasyon sisteminin modellenmesine ait teorik bilgiler ve yapılan kabüller Özgür (2010) ve Hışman (2011)'ın yaptıkları çalışmalarda daha ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, ilk olarak nümerik analizlerde kullanılmak üzere oluşturulan sismik izolasyonlu yapılara ait üst yapı ve sismik izolasyon sistemlerinin matematiksel modellenmesi anlatılmış ve bu yapıların maruz bırakıldığı sentetik depremlere ait detaylı bilgiler sunulmuştur. Daha sonra sentetik deprem kayıtlarının üretimi ile ilgili bilgilere yer verilmiştir.

3.1. YAPISAL MODEL

Kiriş ve kolonların meydana getirdiği çok serbestlik dereceli taşıyıcı sistemlerden bir tanesi düzlem çerçevedir. Çerçeveler, kirişleri bağlayan kolonların kütsüz oldukları ve yapının kat kütlelerinin döşeme seviyesinde toplu olduğu kabul edilerek modellenebilir. Çerçevenin rölatif kat yer değiştirmesi rijitliğine, kolonlardaki eğilme momenti şekil yer değiştirmesi yanında kolonların iki ucunun dönmesi de etkili olur. Kolon uçlarının dönmesi, kolonun iki uca bağlandığı kirişlere göre olan rölatif rijitliği ile ilgilidir. Rijitliği çok küçük olan kirişlere bağlı kolon, mafsallı mesnetlenmeye yakın biçimde kolayca dönebilirken; rijitliği çok büyük kirişlere bağlı kolon ucu ankastre mesnetlenmeye yakın davranış gösterir. Kolonun eğilme şekil değiştirmesinden doğan yatay yer değiştirme ise eğilme rijitliğine bağlı olarak ortaya çıkar. Kolondaki eğilme momentinin kesme ile doğrudan ilişkisi olduğundan, kolon uçlarının rölatif yer değiştirmesi kolonun öteleme rijitliğine ve kolon kesme kuvvetine bağlanabilir. Bu durum çerçeveyi oluşturan kolonların yatay yer değiştirmesinde kesme kuvvetinin etkili olduğunu gösterirken, *kayma çerçevesi* tanımı yapılarak hesaplar basitleştirilebilir. Bu tanımda, döşeme sistemi rijit kabul edildiği için bir kattaki bütün düğüm noktaları aynı yatay yer değiştirmeyi yapmakta ve kolon başlarında dönme meydana gelmemektedir (Celep ve Kumbasar, 2004). Öte yandan kayma çerçevesi, kendisi ile aynı periyoda sahip diğer yapıları temsilen araştırma çalışmalarında kullanılabilirler (Alhan ve Sürmeli, 2011). Bu çalışmada da, Şekil 3.1’de beş katlı bir kayma çerçevesi bu amaçla kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Kayma çerçevesi modeli

3.1.1. Üst Yapı

Üst yapıya ait kayma çerçevesinin, taban ankastre birinci mod periyodu $T_n=0.5$ s olacak şekilde kat kütleleri ve rijitlikleri MATLAB (MathWork, 2008) programında yazılan bir program ile hesaplanmıştır. İzolasyon katı hariç, beş kattan oluşan çerçevede her katın kütlesi eşit ve $m_i=m_1=m_2=m_3=m_4=50$ ton; toplam kat rijitlikleri eşit ve $k_i=k_1=k_2=k_3=k_4=95656$ kN olarak seçilmiştir. Bu çerçeve, bir önceki kısımda bahsedildiği üzere periyodu 0.5 sn olan ve kat rijitliği ile kat kütleleri tüm katlarda eşit olan yapıları temsil etmektedir.

Hedeflenen üst yapı periyoduna göre hesaplanan kat kütleleri ve rijitlikleri, 3D-BASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programına girdi olarak aktarılmıştır. Üst yapı modal sönüm oranı ise her mod için eşit ve $\xi_s = \%3$ olarak kabul edilmiştir.

3.1.2. İzolasyon Sistemi

Sismik izolasyonlu bir yapının deplasman, ivme, kesme kuvveti gibi yapısal davranış parametreleri, izolasyon sisteminin davranışını etkileyen özelliklere bağlıdır. Bu özellikler izolasyon sisteminin taşıdığı kütleyle, sistemdeki sönüme ve sistemin rijitliğine göre değişir. Bu bölümde, lineer olmayan izolasyon sistemi Kısım 2.3.1.'de anlatıldığı gibi modellenmiş ve ilgili hesaplar sunulmuştur.

İzolasyon katı hariç beş kattan oluşan çerçevede, izolasyon katının kütlesi diğer kat kütleleri ile aynı ve $m_b=50$ tondur. Sismik izolasyonlu çalışmalarda ele alınan tipik değerlere uygun olarak, izolasyon sisteminde hedeflenen akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=2$ s, 3 s, 4 s, 5 s; kuvvet oranı $Q/W=\%5$, $\%10$, $\%15$ ve akma yer değiştirmesi $D_y=20$ cm değerlerine göre farklı izolasyon sistemleri oluşturulmuştur. Bu parametrelerin aralıkları Mazza ve Vulcano (2009) ve Pan ve diğ. (2005) tarafından sunulan bilgilere dayanılarak seçilmiştir. Her bir modelin, 3D-BASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programında izolasyon sistemini tanımlamak üzere hesaplanan; akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı α , akma öncesi rijitlik K_1 akma sonrası rijitlik K_2 , akma dayanımı F_y değerleri Denklem (2.2)-(2.6)'ya göre hesaplanmış, izolasyon sistemlerinin isimlendirmeleri ile birlikte Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1: İzolasyon sistemlerine ait karakteristik özellikler.

İzolasyon Sistemi	T_0 (s)	Q/W (%)	D_y (m)	Q (kN)	K_2 (kN/m)	K_1 (kN/m)	α (-)	F_y (kN)
T02QW5	2	5	0.02	147.15	2960.9	10318.4	0.29	206.4
T03QW5	3	5	0.02	147.15	1315.9	8673.4	0.15	173.5
T04QW5	4	5	0.02	147.15	740.2	8097.7	0.09	161.9
T05QW5	5	5	0.02	147.15	473.7	7831.2	0.06	156.6
T02QW10	2	10	0.02	294.3	2960.9	17675.9	0.17	353.5
T03QW10	3	10	0.02	294.3	1315.9	16030.9	0.08	320.6
T04QW10	4	10	0.02	294.3	740.2	15455.2	0.05	309.1
T05QW10	5	10	0.02	294.3	473.7	15188.7	0.03	303.8
T02QW15	2	15	0.02	441.45	2960.9	25033.9	0.12	500.7
T03QW15	3	15	0.02	441.45	1315.9	23388.4	0.06	467.8
T04QW15	4	15	0.02	441.45	740.2	22812.7	0.03	456.3
T05QW15	5	15	0.02	441.45	473.7	22546.2	0.02	450.9

Maksimum taban deplasmanlarının azaltılabilmesi için arttırılan sönümün neden olabileceği kat ivmelerindeki artışları inceleyebilmek için, kuvvet oranı (Q/W) %15 ve %30 olan sistemlere ayrıca oluşturulan modellerde ζ_0 ek sönümüne denk gelen, viskoz sönüm c_0 ilave edilmiştir. Bu tezde eklenen viskoz sönüm c_0 akma sonrası açısıl frekans ω_0 'a bağlı olarak tanımlanmış ve şu şekilde hesaplanmıştır:

$$c_0 = 2 M \zeta_0 \omega_0 = 2 M \zeta_0 \sqrt{(K_2/M)} \quad (3.1)$$

Burada akma sonrası açısıl frekans ω_0 ile akma sonrası titreşim periyodu T_0 arasındaki bağıntı;

$$T_0 = 2\pi/\omega_0 \quad (3.2)$$

ile ifade edilir. Açısıl frekans ω_0 ise,

$$\omega_0 = \sqrt{K_2/M} \quad (3.3)$$

olmaktadır.

Ek sönüm sağlamak için izolasyon sistemine ilave edilen viskoz sönümleyicilerden elde edilen efektif sönüm ζ_{eff} değeri ise, M yapı toplam kütlesi, T_{eff} efektif periyot (Denklem (2.9)) ve $\omega_{eff} = 2\pi / T_{eff}$ efektif açısıl frekans olmak üzere,

$$\zeta_{eff} = c_0/(2M\omega_{eff}) = c_0T_{eff}/(4\pi M) \quad (3.4)$$

ile ifade edilmiştir.

ζ_0 =%15 ve %30 ek sönümün ilave edildiği sistemlerin isimlendirmeleri; ilave edilen ek sönümlere denk gelen, viskoz sönüm c_0 ve diğer özellikler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: İzolasyon sistemlerine ilave edilen viskoz sönüm değerleri.

İzolasyon Sistemi	ζ_0 (%)	T_0 (s)	M (ton)	K_2 (kN/m)	ω_0 (rad/s)	c_0 (kNs/m)
T02QW15 ζ 015	15	2	300	2960.9	3.14	282.7
T03QW15 ζ 015	15	3	300	1316.0	2.09	188.5
T04QW15 ζ 015	15	4	300	740.2	1.57	141.4
T05QW15 ζ 015	15	5	300	473.7	1.26	113.1
T02QW15 ζ 030	30	2	300	2960.9	3.14	565.5
T03QW15 ζ 030	30	3	300	1316.0	2.09	377.0
T04QW15 ζ 030	30	4	300	740.2	1.57	282.7
T05QW15 ζ 030	30	5	300	473.7	1.26	226.2

Tablo 3.2’de verilen viskoz sönüm c_0 değerleri T_0 ’a bağlı olarak sırasıyla T02QW15, T03QW15, T04QW15, T05QW15 isimli sistemlere eklenerek, 3D-BASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programında dosyaları oluşturulmuştur. Kısım 3.2.’de anlatıldığı gibi oluşturulan depremlere tüm sistemler maruz bırakılmıştır.

3.2. SENTETİK DEPREM KAYITLARININ ÜRETİLMESİ

Sentetik deprem kayıtlarının üretilmesinde, Kısım 2.4.2.3.’de anlatılan Dicleli ve Buddaram, (2007) çalışmasında da önerilen Agrawal ve He (2002) puls modeli kullanılmıştır. Cox ve Asford’un (2002) yaptıkları çalışmada, deprem büyüklüğü $M_w \geq 6$ ve faya uzaklığı 20 km olan 13 farklı depreme ait 34 kayıt ele alınmıştır. Faya olan mesafenin 10 km’yi aşması durumunda genellikle puls etkisi görülmezken; faya olan mesafenin 15.6 km olduğu Northridge Depremi Tarzana Nursery kaydında puls etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca Dicleli ve Buddaram’ın (2007) çalışmalarında, yakın fay zonunun aktif fayın 20 km yarıçapı içinde olduğunu varsayarak yakın fay depremlerini üretmeleri, bu tezin kapsamında üretilen yakın fay depremlerinin faya olan mesafesinin 20km’ye kadar seçilmesine neden olmuştur.

Bu çalışmada kullanılan yakın depremlerin oluşturulması sırasında, yapıların faya olan mesafeleri (r) 2.5 km, 5 km, 7.5 km, 10 km, 12.5 km, 15 km, 17.5 km ve 20 km; yakın deprem puls periyotları (T_p) ise 2 s, 3 s, 4 s, 5 s olarak seçilmiştir. Deprem sönüm oranı (ζ_p) ise çoklu, ileri geri ve ileri hız pulslerini oluşturmak için Agrawal ve He’nin (2002) çalışmasında önerildiği üzere sırasıyla %10, %20 ve %40 olarak alınmıştır.

Agrawal ve He (2002) puls modelinin oluşturulmasında gerekli olan puls hızının (v_p) hesaplanmasında, Kısım 2.4.1'de verilen Denklem (2.10) ve Denklem (2.11) kullanılarak MATLAB (Math Work, 2008) programında sentetik deprem üreten bir program yazılmıştır. Denklem (2.10) ve Denklem (2.11)'in fay hattına çok yakın mesafeler için geçerli olmayabileceği Sommerville (1998) tarafından bildirilmiştir. Bununla uyumlu olarak bu tez çalışmasında, faya olan en yakın mesafe (r) 2.5 km'den daha yakın mesafelerde sentetik deprem üretimi yapılmamıştır. Çok büyük deprem büyüklükleri ($M_w > 7.0$) ve çok yakın mesafeler için sentetik deprem üretimi yapıldığında, bugüne kadar kaydedilmiş deprem datalarına göre orantısız bir şekilde büyük pik yer hızları ortaya çıkabilmektedir. Bu tez çalışmasında PEER (Berkeley, 2011) data bankasında yapılan araştırmada, 1999 ($M_w = 7.6$) Chi-Chi depremi TCU068 İstasyon'u kaydında ($r = 1.09$ km) pik yer hızının 263.1 cm/s; 1994 ($M_w = 6.7$) Norridge depremi 77 Rinaldi Receiving Sta İstasyonu kaydında ($r = 7.1$ km) pik yer hızının 166.1 cm/s olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamındaki $T_p = 4$ s ($M_w = 7.3$) için $r = 2.5$ km'de üretilen sentetik depremin hızı 277.46 cm/s olup bugüne kadar elde edilen kayıtlarla uyumludur. Ancak, sadece $T_p = 5$ s ($M_w = 7.52$) için $r = 2.5$ km'deki pik yer hızı değeri 360.64 cm/s olup bugüne kadar elde edilen kayıtlardan yüksektir. Bu değer $r = 5$ km'de 255.01 cm/s'ye düşmektedir. Sonuçların gerçekçiliği değerlendirilirken yukarıdaki durum dikkate alınmalıdır.

Agrawal ve He (2002) tarafından tanımlanan yakın deprem puls modeline göre, belirlenen niteliklerde üretilen depremlere ait hız ve ivme bilgileri Tablo 3.3-3.6'da verilmektedir. Burada T_p deprem puls periyodu, M_w depremin büyüklüğü, v_p deprem puls hızı, r yeryüzünden faya olan mesafe, A depremin ivmesi ve ζ_p deprem sönüm oranıdır. MATLAB (Math Work, 2008)'de yazılan program sonucunda üretilen depremlerden puls periyodu $T_p = 2$ s ve 5 s ile faya olan mesafe $r = 2.5$ km ve $r = 20$ km için üretilen depremlere ait ivme ve hız grafikleri örnek olarak sırasıyla Şekil 3.2-3.3'te sunulmuştur.

Tablo 3.3: $T_p=2$ s için üretilen yakın depremlere ait değerler.

r (km)	M_w (-)	v_p (cm/s)	A (g)		
			$\zeta_p=\%10$	$\zeta_p=\%20$	$\zeta_p=\%40$
2.5	6.59	122.87	0.46	0.53	0.71
5	6.59	86.88	0.32	0.38	0.50
7.5	6.59	70.94	0.26	0.30	0.41
10	6.59	61.43	0.23	0.27	0.36
12.5	6.59	54.95	0.21	0.24	0.32
15	6.59	50.16	0.19	0.22	0.29
17.5	6.59	46.44	0.17	0.20	0.27
20	6.59	43.44	0.16	0.19	0.25

Tablo 3.4: $T_p=3$ s için üretilen yakın depremlere ait değerler.

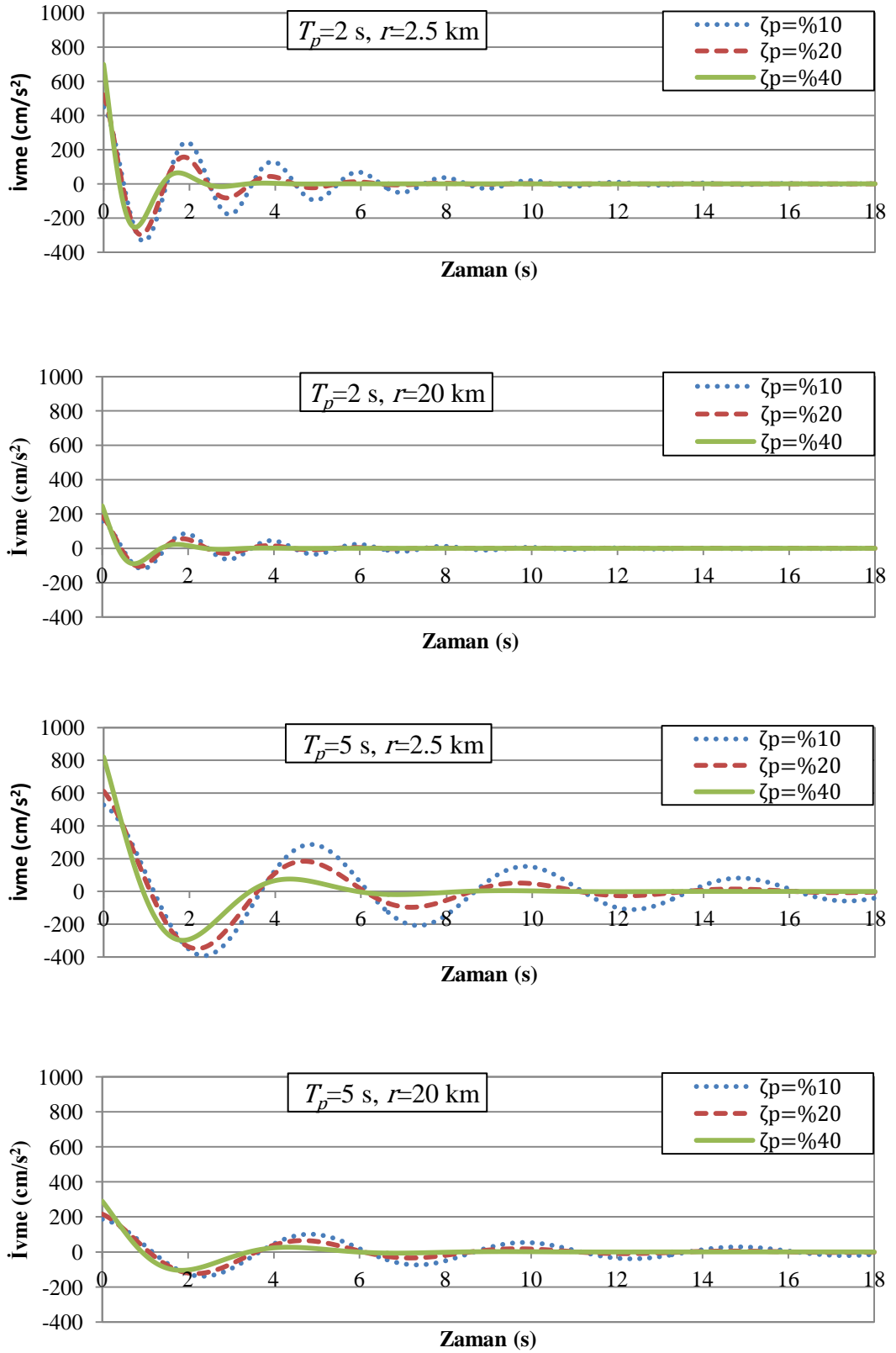
r (km)	M_w (-)	v_p (cm/s)	A (g)		
			$\zeta_p=\%10$	$\zeta_p=\%20$	$\zeta_p=\%40$
2.5	7.00	197.87	0.49	0.57	0.76
5	7.00	139.91	0.35	0.40	0.54
7.5	7.00	114.24	0.28	0.33	0.44
10	7.00	98.93	0.25	0.29	0.38
12.5	7.00	88.49	0.22	0.25	0.34
15	7.00	80.78	0.20	0.23	0.31
17.5	7.00	74.79	0.19	0.22	0.29
20	7.00	69.96	0.17	0.20	0.27

Tablo 3.5: $T_p=4$ s için üretilen yakın depremlere ait değerler.

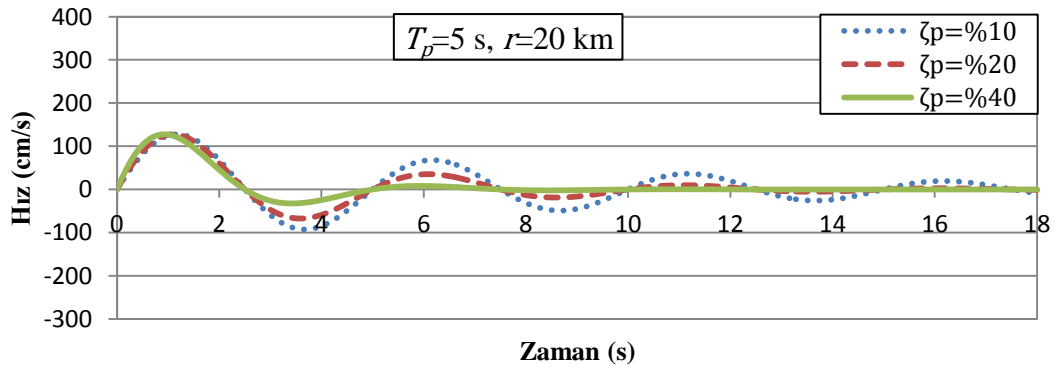
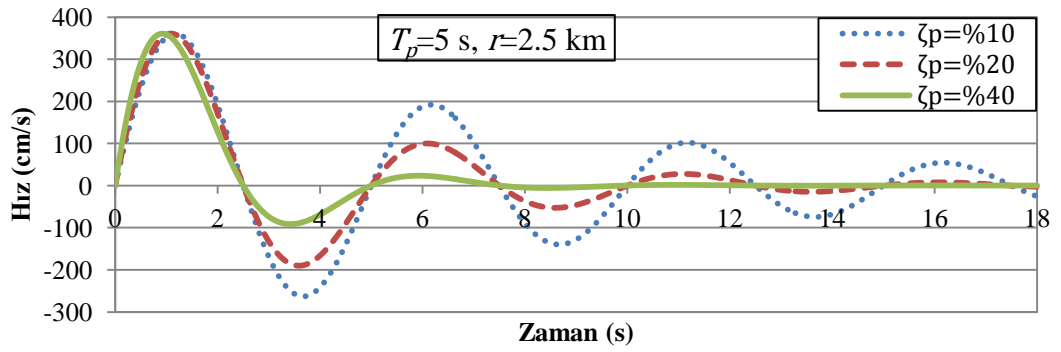
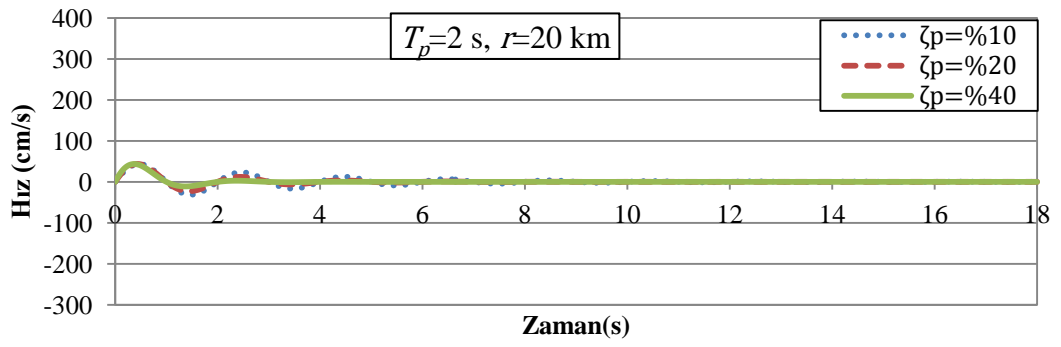
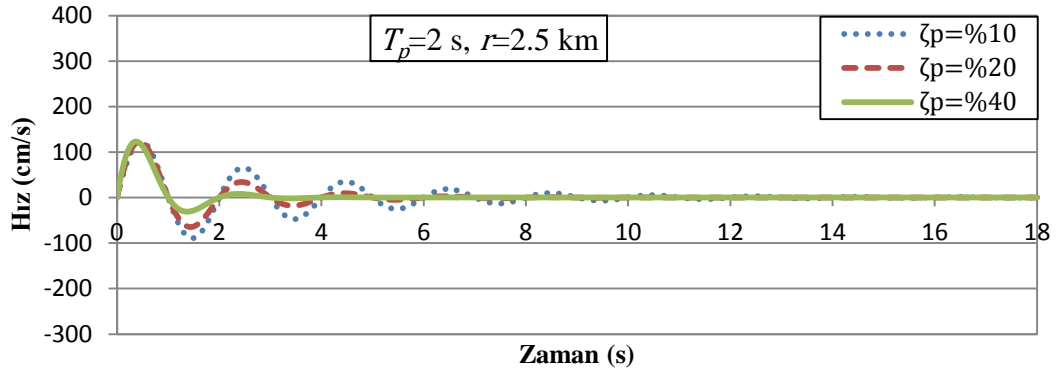
r (km)	M_w (-)	v_p (cm/s)	A (g)		
			$\zeta_p=\%10$	$\zeta_p=\%20$	$\zeta_p=\%40$
2.5	7.30	277.46	0.52	0.60	0.80
5	7.30	196.19	0.37	0.42	0.57
7.5	7.30	160.19	0.30	0.35	0.46
10	7.30	138.72	0.26	0.30	0.40
12.5	7.30	124.08	0.23	0.27	0.36
15	7.30	113.27	0.21	0.24	0.33
17.5	7.30	104.87	0.20	0.23	0.30
20	7.30	98.10	0.18	0.21	0.28

Tablo 3.6: $T_p=5$ s için üretilen yakın depremlere ait değerler.

r (km)	M_w (-)	v_p (cm/s)	A (g)		
			$\zeta_p=\%10$	$\zeta_p=\%20$	$\zeta_p=\%40$
2.5	7.52	360.64	0.54	0.62	0.84
5	7.52	255.01	0.38	0.44	0.59
7.5	7.52	208.22	0.31	0.36	0.48
10	7.52	180.32	0.27	0.31	0.42
12.5	7.52	161.28	0.24	0.28	0.37
15	7.52	147.23	0.22	0.25	0.34
17.5	7.52	136.31	0.20	0.24	0.32
20	7.52	127.51	0.19	0.22	0.30



Şekil 3.2: $T_p=2$ s, $r=2.5$ km; $T_p=2$ s, $r=20$ km; $T_p=5$ s, $r=2.5$ km; $T_p=5$ s, $r=20$ km olan depremlere ait ivme-zaman grafikleri.



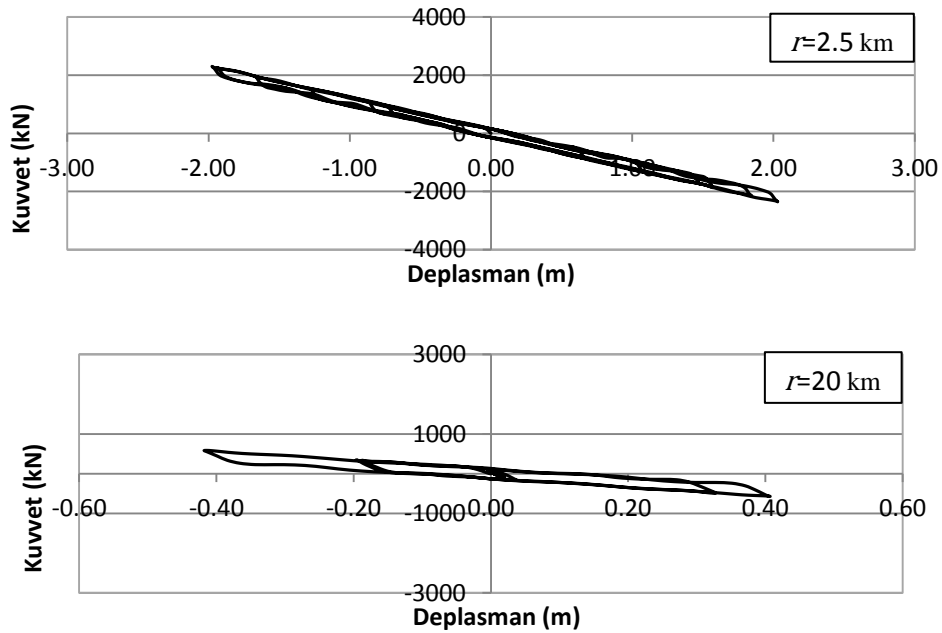
Şekil 3.3: $T_p=2$ s, $r=2.5$ km; $T_p=2$ s, $r=20$ km; $T_p=5$ s, $r=2.5$ km; $T_p=5$ s, $r=20$ km olan depremlere ait hız-zaman grafikleri.

4. BULGULAR

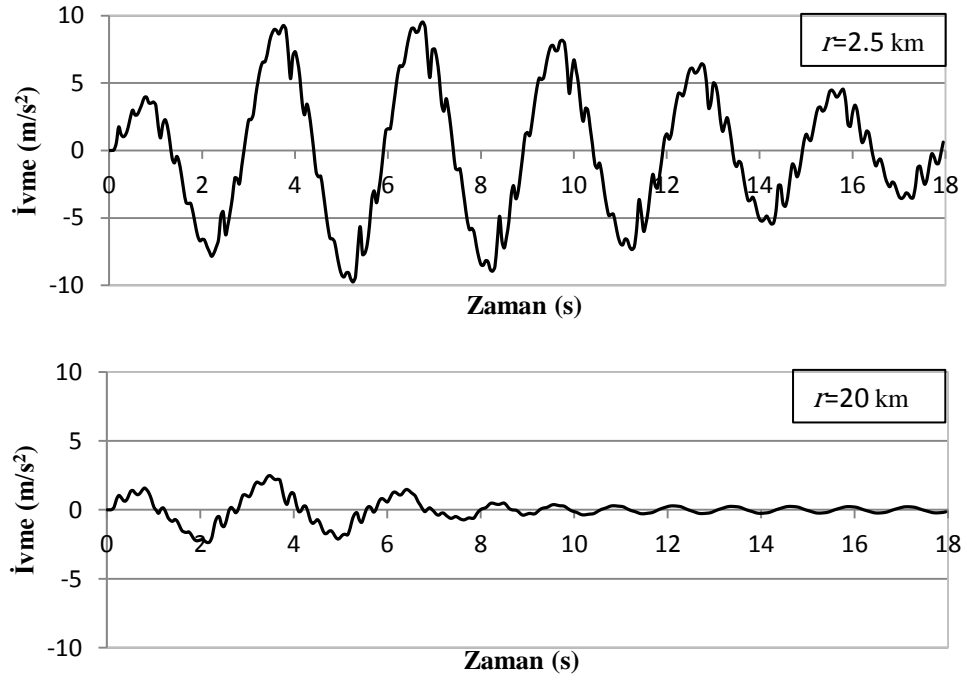
Bu bölümün ilk kısmında, izolasyon sistemlerinin davranışları, daha sonra yapısal tepki parametreleri tanımlanmıştır. Sismik performansın belirlenmesi amacıyla oluşturulan limit değerlerin tespitinde hangi kriterlerin etkili olduğuna ve bu limit değerler ile oluşturulan performans testlerine değinilmiştir. Dördüncü ve beşinci kısımda sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1. İZOLASYON SİSTEMLERİNİN YAKIN DEPREMLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

Tez kapsamında incelenen sistemlerin üretilen yakın depremler altındaki zaman tanım analizleri yapılmıştır. Örnek olarak, T03QW5 sisteminin, sönüm oranı $\zeta_p = \%20$ ve puls periyodu $T_p = 3$ s olan, $r = 2.5$ km ve $r = 20$ km için üretilen depremler altındaki kuvvet-deplasman döngüleri ile en üst kat ivmesi-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.1: Sönüm oranı $\zeta_p = \%20$ ve puls periyodu $T_p = 3$ s olan deprem altında T03QW5 izolasyon sistemine ait kuvvet-deplasman döngüsü.



Şekil 4.2: Sönüm oranı $\zeta_p=20\%$ ve puls periyodu $T_p=3$ s olan deprem altında T03QW5 izolasyon sistemine sahip yapının en üst kat ivme-zaman grafiği.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, çevrimlerin genişliği ve deplasmanlar, her durumda değişmektedir. Bu değişimleri göstermek amacıyla; kuvvet oranı $Q/W=15\%$ olan izolasyon sistemlerinin, sönüm oranı $\zeta_p=20\%$ olan depremler altında, etkin rijitlik (K_{eff}), etkin viskoz sönüm (β_{eff}) ve etkin periyot (T_{eff}) değerleri sırasıyla Kısım 2.3.2.’de verilen (2.7), (2.8) ve (2.9) denklemleriyle hesaplanmıştır. Elde edilen değerler, Tablo 4.1-4.4’te verilmiştir. Etkin viskoz sönüm oranının, ek sönümün $\zeta_0=0$, 15% ve 30% olduğu durumlarda, izolasyon periyodu $T_0=2$ s olan sistemde (Tablo 4.1) sırasıyla 11.3% ile 31.1% ; 27.7% ile 40.1% ve 33.9% ile 49.5% aralıklarında; $T_0=3$ s olan sistemde (Tablo 4.2) sırasıyla 10.7% ile 39.2% ; 28.1% ile 46.8% ve 42.5% ile 63.4% aralıklarında; $T_0=4$ s olan sistemde (Tablo 4.3) 11.9% ile 44.2% ; 29.3% ile 50.8% ve 46.7% ile 74.3% aralıklarında ve $T_0=5$ s olan sistemde (Tablo 4.4) ise 14.2% ile 47.5% , 31.6% ile 53.5% ve 49.1% ile 84.4% aralıklarında değiştiği görülmüştür.

İzolasyon sistemlerine ilave edilen ek sönümden kaynaklanan etkin sönüm oranı ζ_{eff} (Denklem 3.4) ile kauçuk izolatörlerin histeretik özelliklerinden kaynaklanan etkin viskoz sönüm oranının, β_{eff} (Denklem 2.8) toplamı izolasyon sisteminde oluşan toplam etkin viskoz sönüm oranını (β_{eff}^*) vermektedir.

$$\beta_{eff}^* = \beta_{eff} + \zeta_{eff} \quad (4.1)$$

Örneğin, izolasyon periyodu $T_0=2$ s, akma yer değiştirmesi $D_y=20$ mm, akma sonrası rijitlik $K_2=2960.8$ kN/m ve karakteristik kuvvet $Q=441.45$ kN olan sistem, deprem sönüm oranı $\zeta_p=\%20$, puls periyodu $T_p=4$ s ve fay hattına olan en yakın mesafe $r=7.5$ km olan deprem altında sistemde oluşacak toplam etkin viskoz sönüm oranı hesaplanacak olursa; ek sönümün olmadığı durumda pik taban deplasmanı $d=0.21$ m için etkin rijitlik $K_{eff} = K_2 + Q/d = 2960.88 + 441.45/0.206 = 5101.5$ kNm ve etkin viskoz sönüm oranı Denklem 2.8'e göre histeretik etkiden kaynaklanan $\beta_{eff} = (4 Q (d - D_y) / 2\pi K_{eff} d^2) \times 100 = \%24.1$ hesaplanmıştır. Ek sönüm oranının $\%15$ olması ile pik taban deplasmanı azalarak $d=0.17$ m değerine ulaşmıştır. Bu durumda etkin rijitlik $K_{eff} = 5553.6$ kN/m ve histeretik etkiden kaynaklanan etkin viskoz sönüm oranı $\beta_{eff} = \%26.2$; ek sönümün oluşturduğu etkin viskoz sönüm oranı ise, Denklem 3.4'e göre $\zeta_{eff} = c_0 T_{eff} / (4\pi M) = \%11$ olmaktadır. Böylece izolasyon sisteminde oluşan toplam etkin viskoz sönüm oranı $\beta_{eff}^* = \beta_{eff} + \zeta_{eff} = \%37.2$ olmaktadır. Ek sönüm oranının $\%30$ olduğu durumda ise pik taban deplasmanı $d=0.14$ m değerine düşmekte ve etkin rijitlik $K_{eff} = 6015.5$ kN/m ile etkin viskoz sönüm oranı $\beta_{eff} = \%27.9$, etkin sönüm oranı ise $\zeta_{eff} = \%21$ dolayısıyla sistemde oluşan toplam etkin viskoz sönüm oranı $\beta_{eff}^* = \%48.9$ olmaktadır.

Ayrıca, tüm sistemler için toplam etkin viskoz sönüm β_{eff}^* ile etkin periyot T_{eff} ile dağılımları deprem sönüm oranları $\zeta_p = \%10$, $\%20$ ve $\%40$ için sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=20\%$, kuvvet oranı $Q/W=15\%$ ve periyodu $T_0=2$ s izolasyon sistemi için etkin viskoz sönüm, etkin rijitlik ve etkin periyot değerleri.

Deprem Puls Periyodu	r (km)	$\zeta_0=0\%$		$\zeta_0=15\%$				$\zeta_0=30\%$			
		T_{eff} (s)	β_{eff}^* (%)	T_{eff} (s)	β_{eff} (%)	ζ_{eff} (%)	β_{eff}^* (%)	T_{eff} (s)	β_{eff} (%)	ζ_{eff} (%)	β_{eff}^* (%)
$T_p=2$ s	2.5	1.7	15.7	1.6	19.8	12.2	32.1	1.5	23.4	23.1	46.6
	5	1.6	22.7	1.4	26.9	10.8	37.7	1.3	29.7	19.8	49.5
	7.5	1.4	27.5	1.3	30.3	9.6	39.9	1.2	31.1	17.3	48.4
	10	1.3	30.1	1.2	31.0	8.6	39.7	1.0	29.6	15.6	45.2
	12.5	1.2	31.1	1.0	29.8	7.9	37.7	1.0	27.7	14.7	42.4
	15	1.1	30.7	1.0	27.5	7.3	34.8	0.9	25.6	13.9	39.5
	17.5	1.0	29.4	0.9	25.2	6.9	32.2	0.9	23.3	13.3	36.7
	20	1.0	27.7	0.9	23.2	6.7	29.8	0.9	21.0	12.9	33.9
$T_p=3$ s	2.5	1.8	11.9	1.7	16.2	12.8	29.0	1.6	20.1	24.4	44.5
	5	1.6	19.2	1.5	24.5	11.4	35.8	1.4	27.6	21.2	48.8
	7.5	1.5	25.4	1.3	29.1	10.1	39.3	1.3	30.1	19.4	49.5
	10	1.3	29.7	1.3	30.6	9.4	40.0	1.2	31.0	18.0	49.1
	12.5	1.2	30.8	1.2	31.1	8.9	39.9	1.1	31.0	17.0	48.0
	15	1.2	31.1	1.1	30.9	8.4	39.3	1.1	30.4	16.2	46.5
	17.5	1.1	30.9	1.1	30.3	8.0	38.3	1.0	29.4	15.5	44.9
	20	1.1	30.4	1.0	29.4	7.7	37.2	1.0	28.3	14.9	43.2
$T_p=4$ s	2.5	1.8	11.3	1.7	15.7	12.9	28.6	1.7	18.6	24.9	43.5
	5	1.7	18.7	1.6	22.5	11.7	34.3	1.5	24.5	22.7	47.2
	7.5	1.5	24.1	1.5	26.2	11.0	37.2	1.4	27.9	21.0	48.9
	10	1.4	26.9	1.4	28.6	10.3	38.9	1.3	29.8	19.7	49.5
	12.5	1.4	28.8	1.3	30.1	9.7	39.8	1.2	30.8	18.6	49.4
	15	1.3	30.0	1.2	30.8	9.2	40.1	1.2	31.1	17.7	48.7
	17.5	1.2	30.8	1.2	31.1	8.8	39.9	1.1	30.9	16.9	47.8
	20	1.2	31.1	1.1	30.9	8.5	39.4	1.1	30.4	16.2	46.7
$T_p=5$ s	2.5	1.8	12.2	1.7	14.6	13.1	27.7	1.7	16.5	25.6	42.1
	5	1.7	17.9	1.6	20.2	12.2	32.4	1.6	22.2	23.6	45.8
	7.5	1.6	21.7	1.5	24.0	11.5	35.4	1.5	25.9	22.1	47.9
	10	1.5	24.6	1.4	26.7	10.8	37.5	1.4	28.2	20.8	49.1
	12.5	1.4	26.8	1.4	28.5	10.3	38.9	1.3	29.8	19.7	49.5
	15	1.4	28.4	1.3	29.8	9.8	39.7	1.3	30.6	18.8	49.4
	17.5	1.3	29.6	1.3	30.6	9.4	40.0	1.2	31.0	18.0	49.0
	20	1.3	30.4	1.2	31.0	9.1	40.0	1.2	31.0	17.3	48.3

Tablo 4.2: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=\%20$, kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve periyodu $T_0=3$ s izolasyon sistemi için etkin viskoz sönüm, etkin rijitlik ve etkin periyot değerleri.

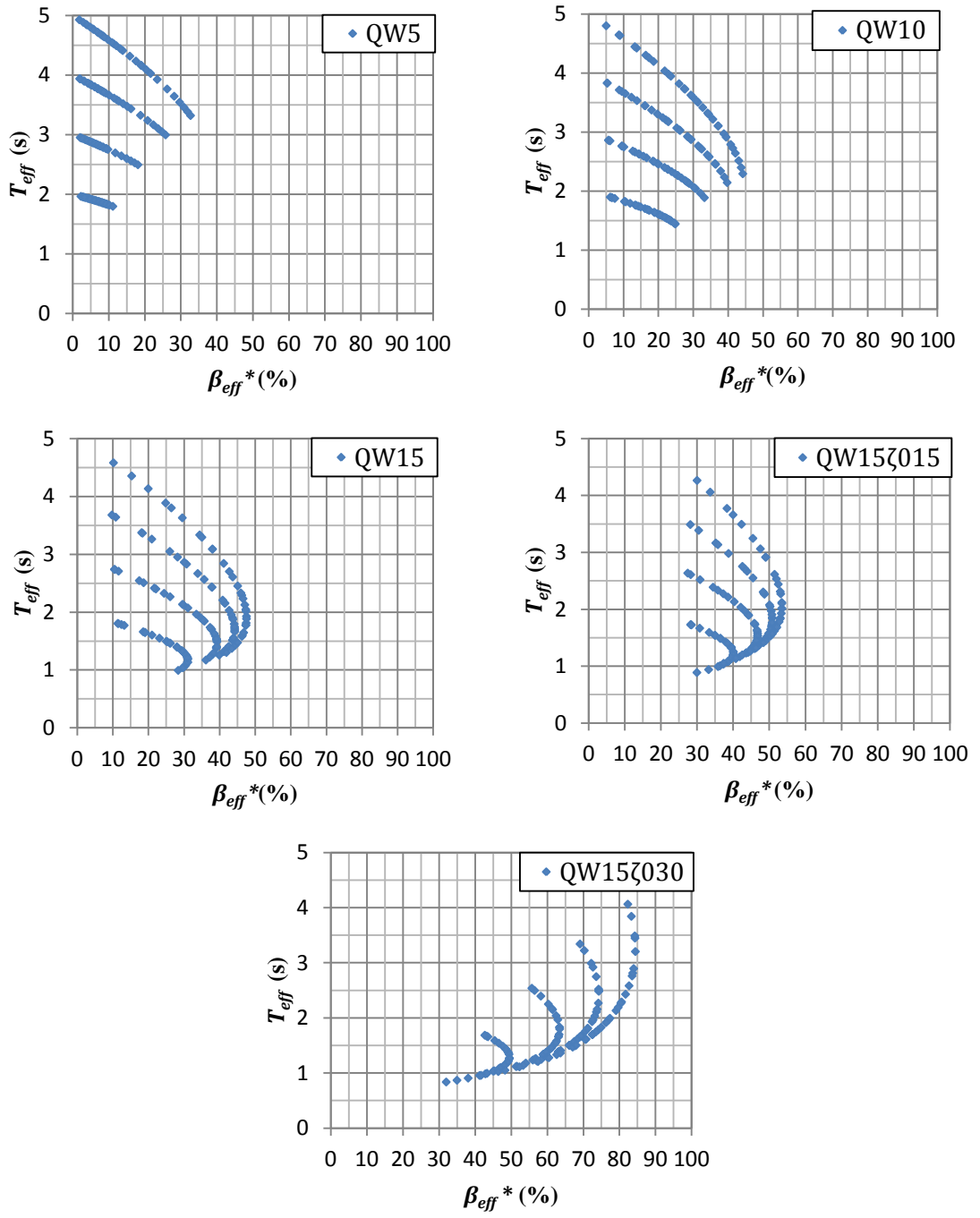
Deprem Puls Periyodu	r (km)	$\zeta_0=\%0$		$\zeta_0=\%15$				$\zeta_0=\%30$			
		T_{eff} (s)	β_{eff}^* (%)	T_{eff} (s)	β_{eff} (%)	ζ_{eff} (%)	β_{eff}^* (%)	T_{eff} (s)	β_{eff} (%)	ζ_{eff} (%)	β_{eff}^* (%)
$T_p=2$ s	2.5	2.3	24.6	2.2	28.6	10.9	39.5	2.0	31.9	30.5	62.5
	5.0	2.0	32.3	1.8	35.7	9.2	44.9	1.7	37.9	25.4	63.2
	7.5	1.8	36.7	1.6	38.7	8.0	46.7	1.4	39.2	21.6	60.9
	10.0	1.6	38.9	1.4	39.2	7.0	46.2	1.3	37.8	18.9	56.7
	12.5	1.4	39.2	1.3	37.8	6.3	44.0	1.1	35.1	17.0	52.1
	15.0	1.3	38.2	1.1	35.2	5.7	40.9	1.1	32.7	16.0	48.7
	17.5	1.2	36.3	1.1	32.2	5.3	37.5	1.0	30.3	15.2	45.5
	20.0	1.1	34.0	1.0	29.7	5.0	34.7	1.0	27.9	14.6	42.5
$T_p=3$ s	2.5	2.6	15.4	2.5	20.1	12.3	32.4	2.3	24.6	34.8	59.4
	5.0	2.3	24.2	2.1	29.9	10.6	40.5	1.9	34.4	28.8	63.2
	7.5	2.0	31.7	1.8	36.7	8.9	45.6	1.7	38.2	24.9	63.1
	10.0	1.7	37.3	1.6	38.8	7.9	46.8	1.5	39.2	22.7	61.8
	12.5	1.5	39.1	1.5	39.3	7.3	46.6	1.4	39.1	20.9	60.0
	15.0	1.4	39.2	1.4	38.9	6.8	45.7	1.3	38.4	19.5	57.9
	17.5	1.3	38.8	1.3	38.2	6.4	44.6	1.2	37.3	18.4	55.8
	20.0	1.3	38.1	1.2	37.1	6.1	43.2	1.2	36.0	17.6	53.6
$T_p=4$ s	2.5	2.7	11.9	2.6	16.4	12.9	29.3	2.4	20.8	36.7	57.4
	5.0	2.5	19.7	2.3	25.9	11.4	37.2	2.1	31.1	31.1	62.2
	7.5	2.2	27.4	2.0	33.6	9.8	43.4	1.9	35.3	28.1	63.3
	10.0	1.9	34.7	1.8	36.4	9.0	45.4	1.7	37.5	25.8	63.3
	12.5	1.8	36.8	1.7	38.0	8.4	46.4	1.6	38.7	23.9	62.7
	15.0	1.7	38.2	1.6	38.9	7.9	46.8	1.5	39.2	22.4	61.6
	17.5	1.6	38.9	1.5	39.2	7.4	46.6	1.4	39.2	21.1	60.3
	20.0	1.5	39.2	1.4	39.1	7.0	46.1	1.3	38.7	20.0	58.7
$T_p=5$ s	2.5	2.7	10.7	2.6	15.0	13.1	28.1	2.5	19.1	37.4	56.5
	5.0	2.5	17.8	2.3	23.9	11.7	35.6	2.2	27.8	33.1	60.9
	7.5	2.3	25.2	2.1	30.2	10.6	40.7	2.0	32.3	30.3	62.6
	10.0	2.1	31.2	2.0	33.6	9.8	43.4	1.9	35.3	28.0	63.3
	12.5	1.9	34.0	1.8	35.9	9.2	45.1	1.7	37.3	26.1	63.4
	15.0	1.8	36.1	1.7	37.5	8.6	46.1	1.6	38.4	24.5	63.0
	17.5	1.7	37.5	1.6	38.5	8.1	46.6	1.5	39.1	23.2	62.2
	20.0	1.6	38.4	1.5	39.1	7.7	46.8	1.5	39.3	22.0	61.2

Tablo 4.3: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=\%20$, kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve periyodu $T_0=4$ s izolasyon sistemi için etkin viskoz sönüm, etkin rijitlik ve etkin periyot değerleri.

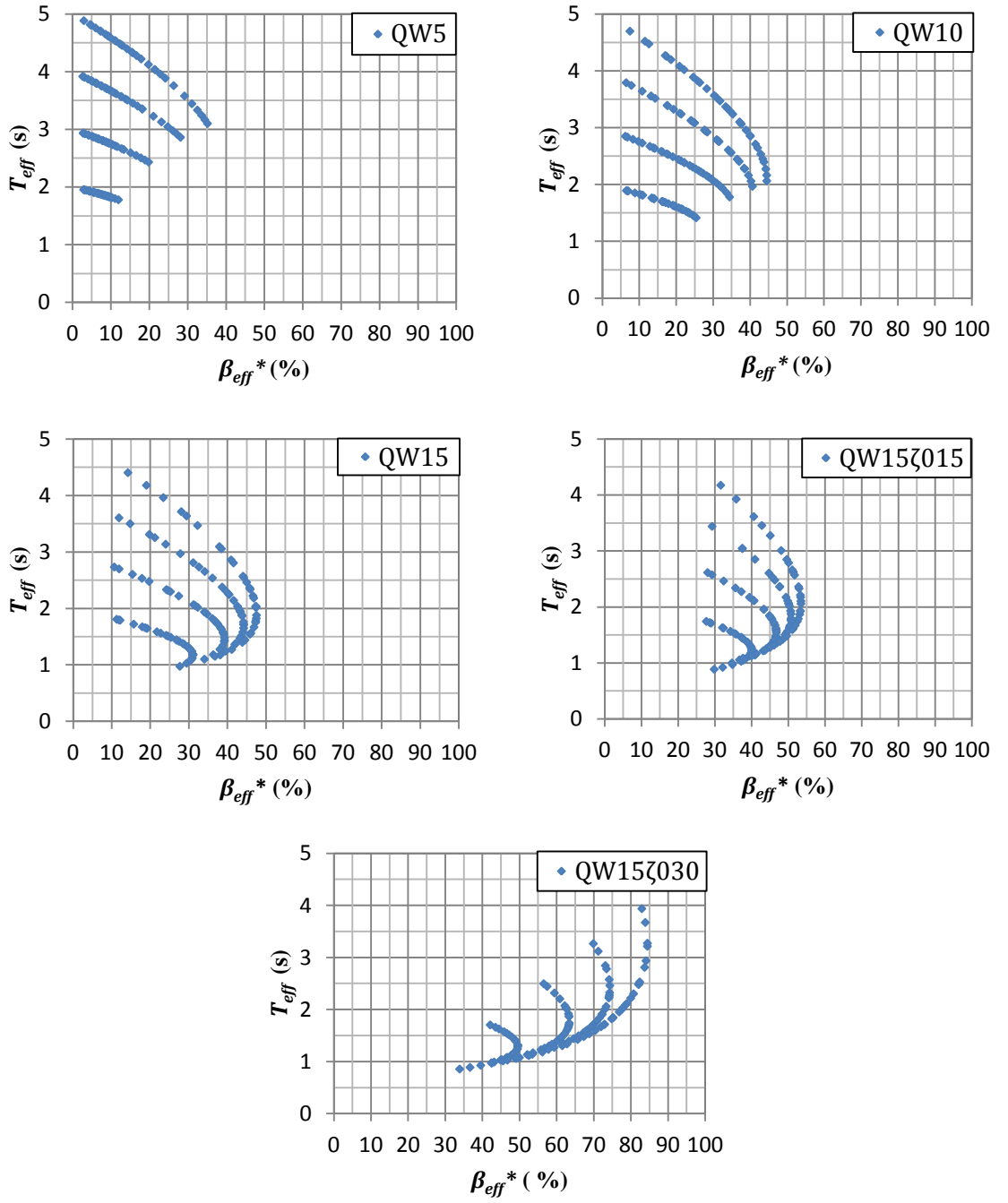
Deprem Puls Periyodu	r (km)	$\zeta_0=\%0$		$\zeta_0=\%15$				$\zeta_0=\%30$			
		T_{eff} (s)	β_{eff}^* (%)	T_{eff} (s)	β_{eff} (%)	ζ_{eff} (%)	β_{eff}^* (%)	T_{eff} (s)	β_{eff} (%)	ζ_{eff} (%)	β_{eff}^* (%)
$T_p=2$ s	2.5	2.7	34.1	2.5	37.1	9.3	46.4	2.3	39.4	34.9	74.3
	5.0	2.2	40.4	2.1	42.4	7.7	50.1	1.9	43.6	28.5	72.2
	7.5	2.0	43.2	1.8	44.1	6.6	50.8	1.6	44.1	24.2	68.3
	10.0	1.7	44.2	1.5	43.8	5.8	49.5	1.4	42.4	20.9	63.3
	12.5	1.5	43.6	1.4	41.9	5.1	47.0	1.2	39.3	18.5	57.8
	15.0	1.4	41.9	1.2	39.1	4.6	43.7	1.1	36.3	17.1	53.4
	17.5	1.2	39.5	1.1	35.8	4.2	40.0	1.1	33.8	16.2	50.0
	20.0	1.2	36.8	1.1	32.8	4.0	36.7	1.0	31.3	15.4	46.7
$T_p=3$ s	2.5	3.3	21.2	3.0	26.1	11.4	37.5	2.8	30.4	42.7	73.1
	5.0	2.8	31.1	2.5	36.2	9.5	45.7	2.3	40.0	34.2	74.2
	7.5	2.4	38.6	2.1	42.4	7.7	50.2	1.9	43.6	28.6	72.2
	10.0	1.9	43.4	1.8	44.1	6.7	50.8	1.7	44.2	25.7	69.9
	12.5	1.7	44.2	1.6	44.2	6.1	50.3	1.6	43.9	23.4	67.3
	15.0	1.6	44.0	1.5	43.6	5.7	49.2	1.4	43.0	21.6	64.6
	17.5	1.5	43.3	1.4	42.5	5.3	47.8	1.3	41.7	20.2	61.9
	20.0	1.4	42.2	1.3	41.2	5.0	46.2	1.3	40.2	19.1	59.3
$T_p=4$ s	2.5	3.5	14.8	1.3	41.2	5.0	46.2	3.1	24.4	46.8	71.2
	5.0	3.1	24.0	2.9	30.3	10.7	41.0	2.6	35.5	38.7	74.1
	7.5	2.7	32.6	2.4	38.8	8.9	47.7	2.2	40.7	33.3	74.0
	10.0	2.3	40.3	2.1	42.0	7.9	49.9	2.0	42.9	30.1	73.0
	12.5	2.0	42.6	1.9	43.4	7.2	50.7	1.8	43.9	27.6	71.5
	15.0	1.9	43.7	1.8	44.1	6.7	50.8	1.7	44.2	25.5	69.8
	17.5	1.8	44.2	1.7	44.2	6.3	50.5	1.6	44.0	23.9	67.9
	20.0	1.7	44.2	1.6	43.9	5.9	49.8	1.5	43.5	22.4	65.9
$T_p=5$ s	2.5	3.6	11.9	3.4	16.4	12.9	29.3	3.3	20.9	49.0	69.9
	5.0	3.3	19.8	3.0	26.1	11.4	37.5	2.8	31.7	41.7	73.4
	7.5	3.0	27.8	2.6	35.0	9.8	44.8	2.5	37.4	36.9	74.3
	10.0	2.5	36.1	2.4	38.9	8.9	47.7	2.2	40.5	33.6	74.1
	12.5	2.3	39.6	2.2	41.3	8.2	49.4	2.1	42.4	30.9	73.3
	15.0	2.1	41.6	2.0	42.8	7.6	50.4	1.9	43.6	28.6	72.2
	17.5	2.0	43.0	1.9	43.7	7.0	50.8	1.8	44.1	26.7	70.8
	20.0	1.9	43.8	1.8	44.2	6.6	50.8	1.7	44.2	25.1	69.3

Tablo 4.4: Deprem sönüm oranı $\zeta_p=\%20$, kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve periyodu $T_0=5$ s izolasyon sistemi için etkin viskoz sönüm, etkin rijitlik ve etkin periyot değerleri.

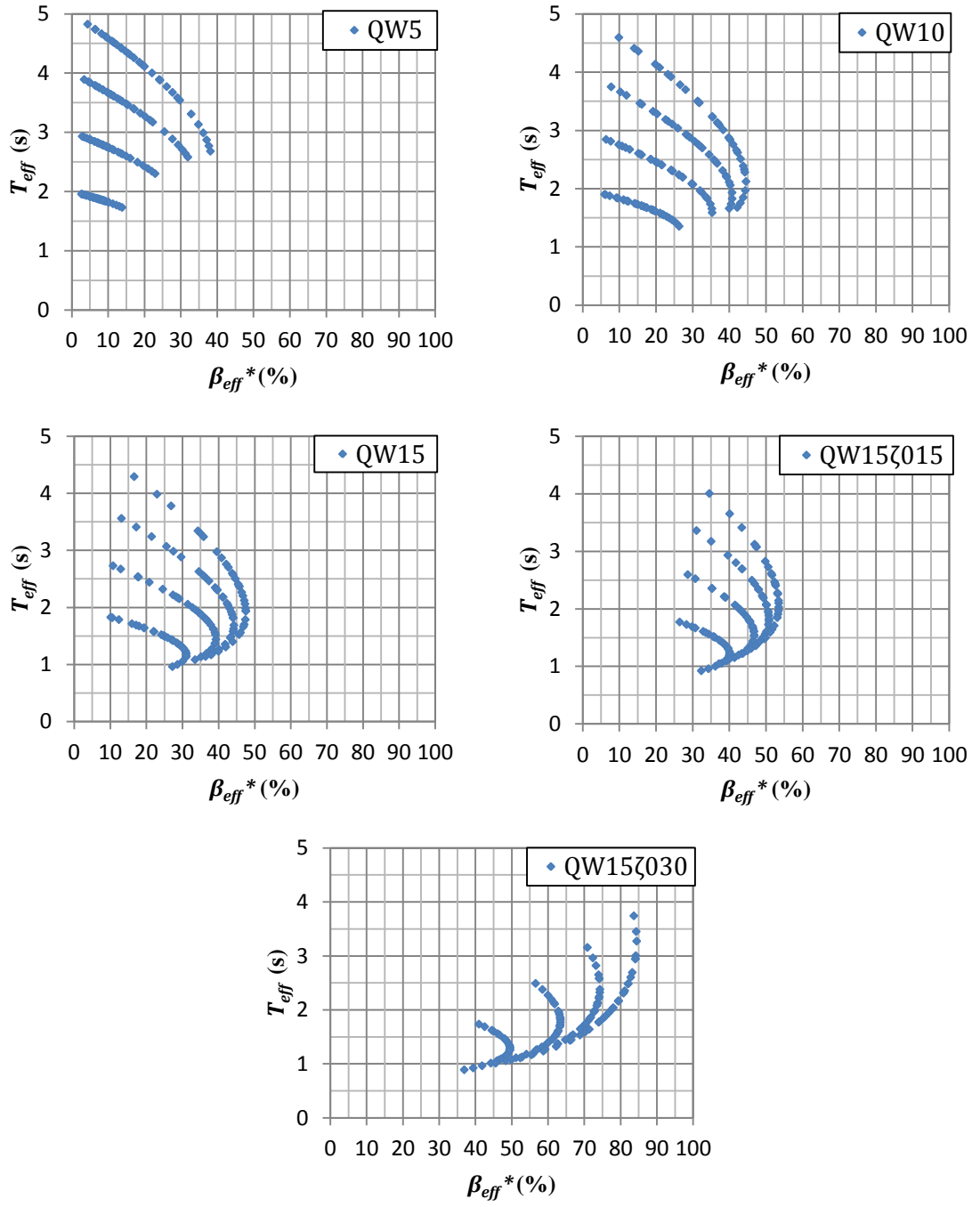
Deprem Puls Periyodu	r (km)	$\zeta_0=\%0$		$\zeta_0=\%15$				$\zeta_0=\%30$			
		T_{eff} (s)	β_{eff}^* (%)	T_{eff} (s)	β_{eff} (%)	ζ_{eff} (%)	β_{eff}^* (%)	T_{eff} (s)	β_{eff} (%)	ζ_{eff} (%)	β_{eff}^* (%)
$T_p=2$ s	2.5	2.8	41.6	2.6	43.4	7.9	51.3	2.5	44.8	37.2	82.1
	5.0	2.3	45.9	2.2	46.9	6.5	53.4	2.0	47.4	30.4	77.8
	7.5	2.0	47.4	1.9	47.5	5.6	53.1	1.7	47.1	25.8	72.9
	10.0	1.8	47.4	1.6	46.5	4.9	51.4	1.5	45.1	22.2	67.3
	12.5	1.6	46.1	1.4	44.3	4.3	48.5	1.3	41.9	19.6	61.5
	15.0	1.4	43.9	1.3	41.2	3.8	45.1	1.2	38.4	17.8	56.1
	17.5	1.3	41.1	1.2	37.8	3.5	41.3	1.1	35.7	16.7	52.5
	20.0	1.2	38.1	1.1	34.4	3.3	37.7	1.1	33.2	15.9	49.1
$T_p=3$ s	2.5	3.7	28.0	3.5	32.5	10.4	42.8	3.2	36.2	48.2	84.4
	5.0	3.1	37.9	2.8	41.8	8.4	50.1	2.5	44.6	37.7	82.3
	7.5	2.6	44.2	2.2	46.7	6.6	53.3	2.1	47.3	31.2	78.4
	10.0	2.0	47.4	1.9	47.5	5.8	53.3	1.8	47.5	27.7	75.2
	12.5	1.8	47.5	1.7	47.2	5.2	52.5	1.7	46.9	25.1	72.0
	15.0	1.7	46.9	1.6	46.4	4.8	51.2	1.5	45.8	23.0	68.8
	17.5	1.5	45.9	1.5	45.1	4.4	49.6	1.4	44.3	21.4	65.7
	20.0	1.4	44.6	1.4	43.6	4.2	47.8	1.3	42.7	20.1	62.8
$T_p=4$ s	2.5	4.2	19.0	3.9	24.1	11.8	35.8	3.7	28.8	55.1	83.9
	5.0	3.6	29.4	3.3	35.3	9.8	45.1	2.9	40.0	44.1	84.1
	7.5	3.1	38.4	2.6	43.6	7.9	51.4	2.5	44.8	37.4	82.1
	10.0	2.5	45.0	2.3	46.0	7.0	53.0	2.2	46.7	33.3	79.9
	12.5	2.2	46.6	2.1	47.2	6.3	53.5	2.0	47.4	30.1	77.6
	15.0	2.0	47.4	1.9	47.5	5.8	53.3	1.8	47.5	27.7	75.2
	17.5	1.9	47.5	1.8	47.4	5.4	52.8	1.7	47.1	25.7	72.8
	20.0	1.8	47.3	1.7	46.9	5.0	51.9	1.6	46.4	24.0	70.4
$T_p=5$ s	2.5	4.4	14.2	4.2	19.1	12.5	31.6	3.9	23.9	59.1	82.9
	5.0	4.0	23.4	3.6	29.8	10.8	40.6	3.3	35.3	49.1	84.4
	7.5	3.5	32.2	3.0	39.1	9.0	48.1	2.8	41.5	42.2	83.7
	10.0	2.9	41.0	2.7	43.1	8.0	51.1	2.5	44.4	38.0	82.4
	12.5	2.6	44.0	2.6	44.0	7.7	51.8	2.3	46.2	34.5	80.7
	15.0	2.4	45.8	2.4	45.8	7.1	52.8	2.1	47.1	31.7	78.8
	17.5	2.2	46.8	2.1	47.3	6.2	53.5	2.0	47.5	29.3	76.8
	20.0	2.0	47.4	2.8	41.1	8.5	49.6	1.8	47.5	27.3	74.8



Şekil 4.3: Deprem sönüm oranı $\zeta_p = \%10$ için toplam etkin viskoz sönüm (β_{eff}^*) ile etkin periyot (T_{eff}) dağılımları.



Şekil 4.4: Deprem sönüm oranı $\zeta_p = 20\%$ için toplam etkin viskoz sönüm (β_{eff}^*) ile etkin periyot (T_{eff}) dağılımları.



Şekil 4.5: Deprem sönüm oranı $\zeta_p = 40\%$ için toplam etkin viskoz sönüm (β_{eff}^*) ile etkin periyot (T_{eff}) dağılımları.

4.2. YAPISAL TEPKİ PARAMETRELERİ, LİMİT DEĞERLER VE PERFORMANS TESTLERİ

Bir yapının sismik izolasyonlu olarak inşa edilmesindeki amaçlardan en önemlisi kat ivmelerinin azaltılmasıdır. Bu yapıların yapısal güvenliği ile ilgili en önemli parametrelerden bir tanesi ise izolasyon sistemi deplasmanıdır (taban deplasmanı). Dolayısıyla ile bu çalışmada aşağıdaki yapısal tepki parametreleri incelemeye dahil edilmişlerdir:

- pik taban deplasmanı (d)
- pik en üst kat ivmesi (a)

Pik taban deplasmanının (d) aşmaması gereken limitin belirleyici faktörleri arasında bırakılması gereken sismik boşluk, kullanılacak izolatörlerin burkulma ve yırtılma limitleri yer almaktadır. Pan ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada, yaygın kullanımlı izolatörler için pik taban deplasmanı değerlerinin 40 cm ile 50 cm arasında olduğu; çapı 130 cm'den 150 cm'ye kadar olan izolatörlerin kullanılması ile tolere edilebilecek taban deplasmanı değerinin 80 cm'den fazla olabileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla, pik taban deplasmanı için limit değerler $L_1=40$ cm, $L_2=70$ cm ve $L_3=100$ cm olarak belirlenmiştir.

Tıbbi, elektronik ve diğer önemli aktivitelerin yürütülebilmesi için, yönetmeliklerde açıkça belirtilmese de maksimum yatay ivme limiti 3 m/s^2 'dir (Mizuno ve diğ., 1986). Ayrıca, deprem titreşimlerinin çeşitli disk sürücülerindeki etkisinin incelenmesi ile deprem sırasında ve sonrasında kullanılabilmesi için belirlenen maksimum kat ivmelerinin 2.5 m/s^2 ile 10 m/s^2 arasında değiştiği belirlenmiştir (Worksafe, 2011). Dolayısıyla bu tez çalışmasında, pik en üst kat ivmesi için üç farklı limit değeri $L_1=2.5 \text{ m/s}^2$, $L_2=5 \text{ m/s}^2$ ve $L_3=10 \text{ m/s}^2$ olarak belirlenmiştir.

Pik taban deplasmanı (d) ve pik en üst kat ivmesi (a) için seçilen limit değerler kullanılarak dokuz farklı performans testi oluşturulmuştur. Bu performans testleri aşağıda verilmektedir:

- Test 1: $d \leq 100$ cm ve $a \leq 10 \text{ m/s}^2$
- Test 2: $d \leq 100$ cm ve $a \leq 5 \text{ m/s}^2$

- Test 3: $d \leq 100$ cm ve $a \leq 2.5$ m/s²
- Test 4: $d \leq 70$ cm ve $a \leq 10$ m/s²
- Test 5: $d \leq 70$ cm ve $a \leq 5$ m/s²
- Test 6: $d \leq 70$ cm ve $a \leq 2.5$ m/s²
- Test 7: $d \leq 40$ cm ve $a \leq 10$ m/s²
- Test 8: $d \leq 40$ cm ve $a \leq 5$ m/s²
- Test 9: $d \leq 40$ cm ve $a \leq 2.5$ m/s²

4.3. YAPISAL TEPKİ PARAMETRELERİNE AİT BULGULAR

Fay hattına olan mesafeye göre yapısal tepki parametrelerinin değişimi farklı izolasyon sistemlerine sahip yapılar için, Şekil 4.3-Şekil 4.18'de sunulmuştur. Kayıtlı yakın fay depremlerinin %50'si ileri-geri hız pulsı içerdiğinden (Dicleli ve Buddaram, 2007), ilgili grafiklerde farklı puls periyotlarına sahip depremler altındaki tepkiler, deprem sönüm oranı $\zeta_p = \%20$ olan depremler için gösterilmiştir. Diğer ζ_p değerleri için de benzer eğilimler söz konusudur.

Bir önceki kısımda farklı pik yapısal tepki parametreleri için tanımlanan limit değerlerine, görsel açıdan karşılaştırma kolaylığı yaratılabilmesi için tüm grafiklerde yer verilmiştir. Yapısal tepkinin kuvvet oranına, dolayısıyla sönümüne bağlı olarak nasıl değiştiğini ortaya koyabilmek için *QW5*, *QW10*, *QW15*, *QW15Ç015* ve *QW15Ç030* olan sistemler göz önüne alınmıştır.

4.3.1. Pik Taban Deplasmanına Ait Bulgular

Pik taban deplasmanı grafiklerinin fay hattına olan en yakın mesafesine göre değişimleri Şekil 4.6-4.10'da sunulmuştur. Grafiklerden, deprem puls periyodunun artması ile pik taban deplasman taleplerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca izolasyon sistemi periyodu daha uzun ve *Q/W* oranı düşük olan sistemlerde, izolasyon sistemi deplasman talebi çok daha büyüktür. Ancak, izolasyon sistemi periyodu ile deprem puls periyodunun çakıştığı özel durumlarda, izolasyon periyodu daha küçük olan sistemler daha büyük olan sistemlere göre daha büyük deplasman talep edebilmektedir.

Şekil 4.6'da, $Q/W=5\%$ olan sistemler için, deprem puls periyodu T_p 'nin 2 s'den büyük olduğu durumlarda $r \leq 10$ km olması durumunda limit değerlerinin üzerine çıktığı ve $r \leq 5$ km için deplasman taleplerinin, özellikle uzun periyotlu sistemlerde gerçekçi (sağlanabilecek) sınırların dışına çıktığı görülmüştür. Örneğin, $T_p=5$ s ve $T_0=5$ s olan durum için, izolasyon sistemi deplasman talebi 6m'yi geçmektedir. Tüm izolasyon sistemleri için, $T_p=2$ s olan depremde $r \geq 5$ km'de tüm limitler sağlanmaktadır. $T_0=2$ s olan sistem, tüm pulsar için gerçekçi deplasman talepleri oluşturmaktadır. $T_p > 3$ s olan depremlerde, $T_0 > 2$ s için $r=20$ km uzaklıkta dahi L_1 limiti sağlanamamaktadır.

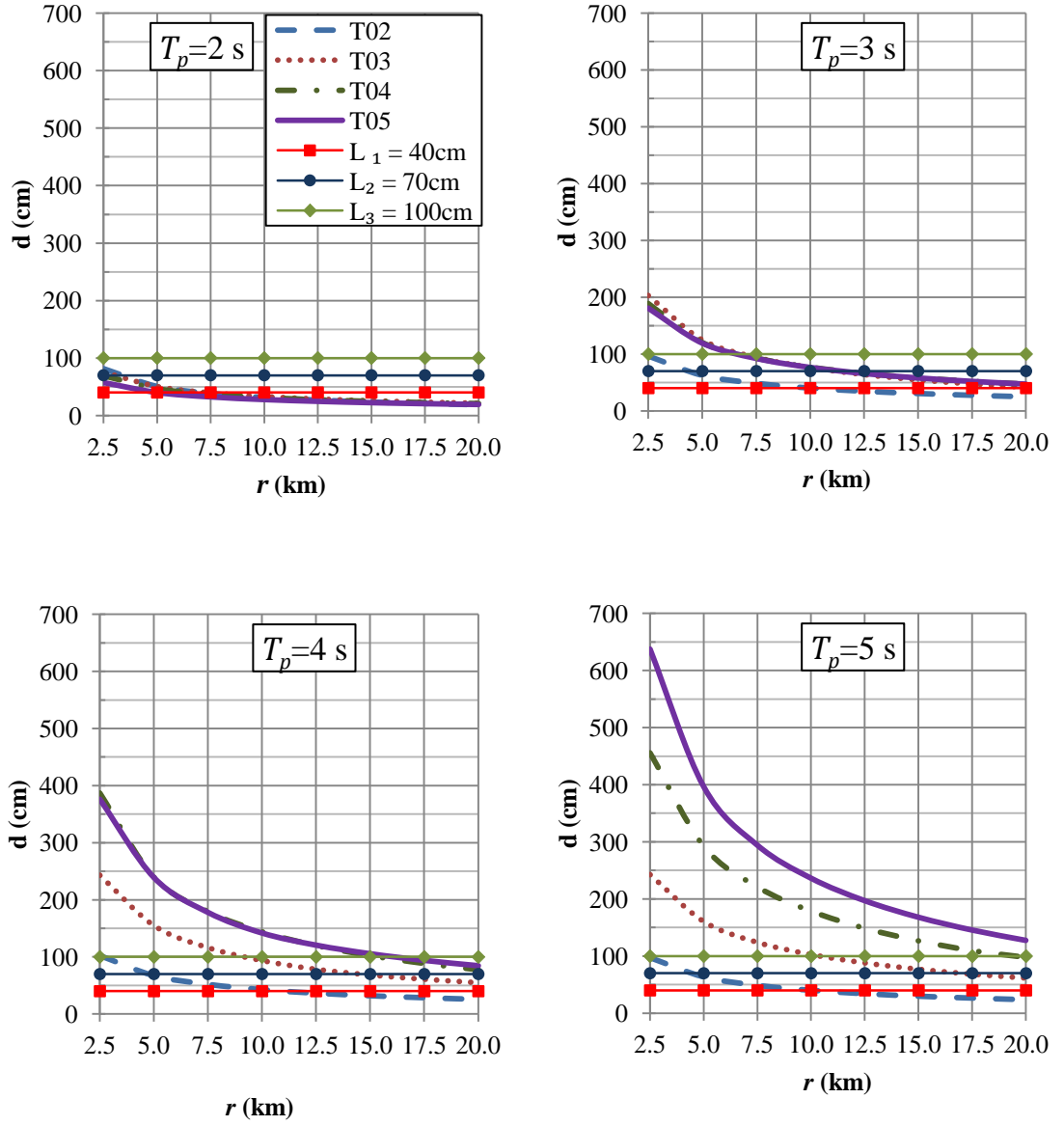
Kuvvet oranının sırasıyla $Q/W=10\%$ ve $Q/W=15\%$ olduğu Şekil 4.7 ve 4.8'deki grafiklerden, kuvvet oranının artışıyla pik taban deplasmanı taleplerinin, Şekil 4.6'daki ($Q/W=5\%$) grafiklere göre önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. L_1 , L_2 ve L_3 limit değerleri $T_p=2$ s olan depremlerde tüm izolasyon sistemleri için $r \geq 5$ km'de sağlanmıştır. Şekil 4.7'de ($Q/W=10\%$), $T_0=2$ s olan sistemin, tüm depremlerde $r \geq 5$ km'de tüm limitleri sağladığı görülmektedir. $T_0 > 2$ s olan sistemlerde, $T_p=3$ s olan depremde $r \geq 10$ km'de; $T_p=4$ s olan depremde $r \geq 17.5$ km'de; $T_p=5$ s olan depremde ise ancak $r=20$ km'de tüm limitler sağlanmaktadır.

Şekil 4.5'te ($Q/W=15\%$), $T_p < 4$ s olan depremlerde, tüm sistemler ve mesafeler için gerçekçi deplasman talepleri görülebilmektedir. $T_p=5$ s olan depremde, $T_0=3$ s olan sistem $r \leq 7.5$ km'de; $T_0=4$ s ve 5 s olan sistemler $r \leq 10$ km'de L_1 limitini aşmıştır. L_3 limiti ise, $T_0=3$ s için $r \leq 5$ km'de; $T_0=4$ s ve 5 s için $r \leq 7.5$ km'de aşılmaktadır. $T_p=2$ s olan depremlerde, tüm izolasyon sistemleri için $r \leq 5$ km için kuvvet oranı $Q/W=15\%$ olsa dahi L_1 limiti aşılabilmektedir. Bu bulgular ek sönüme olan ihtiyacı göstermektedir.

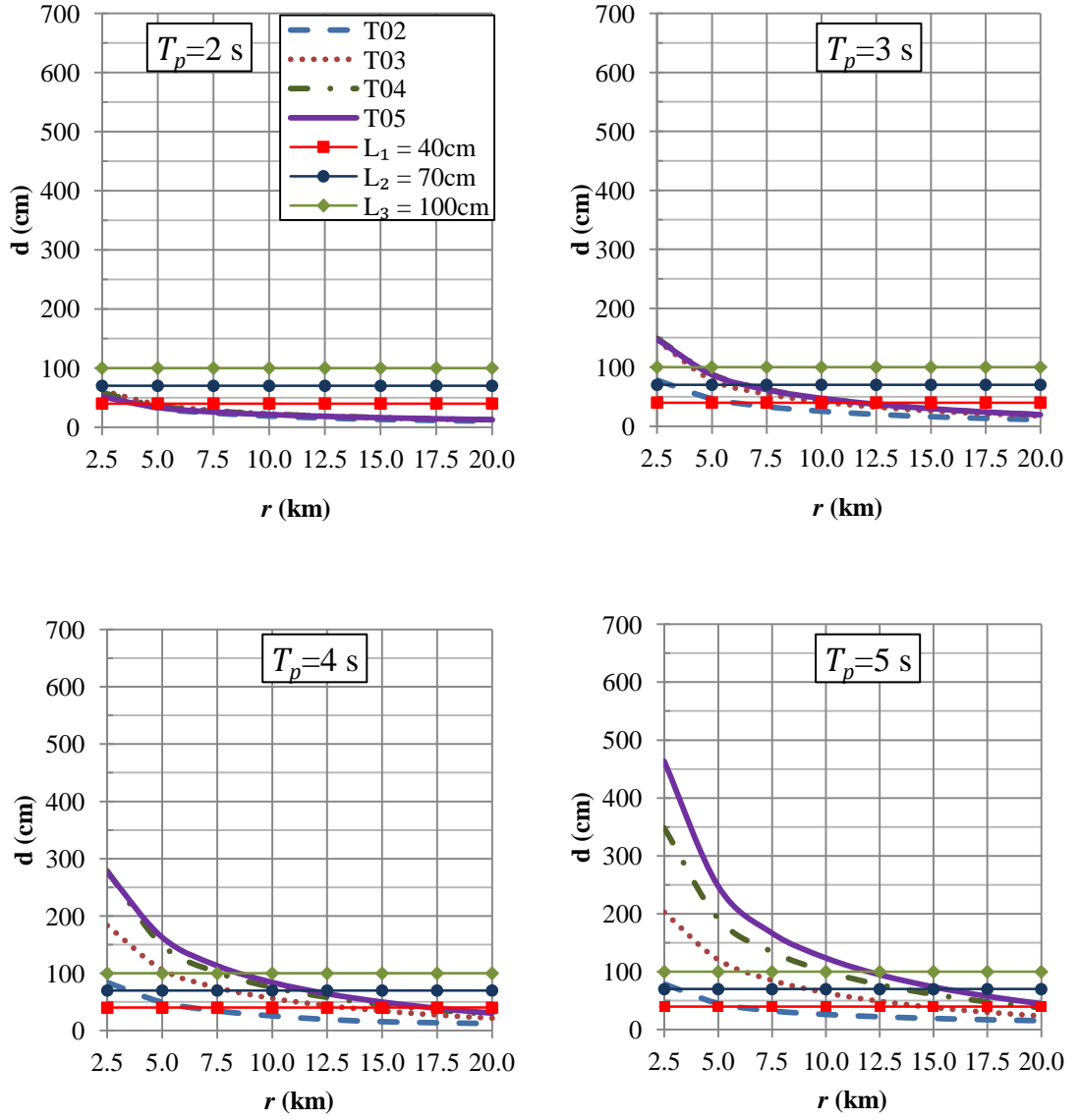
Kuvvet oranının $Q/W=15\%$ olduğu ve ek sönüm oranı $\zeta_0=15\%$ ve $\zeta_0=30\%$ eklenmesi ile elde edilen sistemlere ait grafikler sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10'da sunulmuştur. Bu grafiklerde pik taban deplasmanı taleplerinin, ek sönümün olmadığı sistemlere göre önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Şekil 4.9'da ($\zeta_0=15\%$) $T_p=5$ s için üç farklı limitin $r=10$ km için; Şekil 4.10'da ($\zeta_0=30\%$) ise $r \geq 7.5$ km için sağlandığı görülmüştür. Her iki sönüm durumu için de $T_0=2$ s olan sistemlerin faya olan hemen tüm mesafeler için üç limitin de altında kaldığı görülmüştür. Özellikle büyük pulslu depremlerde ($T_p=4$ s

ve 5 s) ve uzun periyotlu sistemlerin ($T_0=4$ s, 5 s) deplasman taleplerinin, ek sönüm oranının $\zeta_0=\%15$ olduğu sistemlerde $r\leq 10$ km için limitleri aştığı; $\zeta_0=\%30$ olduğu sistemlerde ise $r\geq 7.5$ km için limitlerin ancak sağlanabildiği görülmektedir. Bu durumlarda gerekli ek sönüm de fayda sağlamamaktadır ve deplasman taleplerinin yakın fay mesafelerinde ve uzun periyotlu sistemler için ancak ek sönüm oranının $\zeta_0=\%15$ olduğu sistemlerde $T_p<4$ s olan depremlerde; $\zeta_0=\%30$ olduğu sistemlerde ise $T_p<5$ s olan depremlerde gerçekçi olduğu görülebilmektedir.

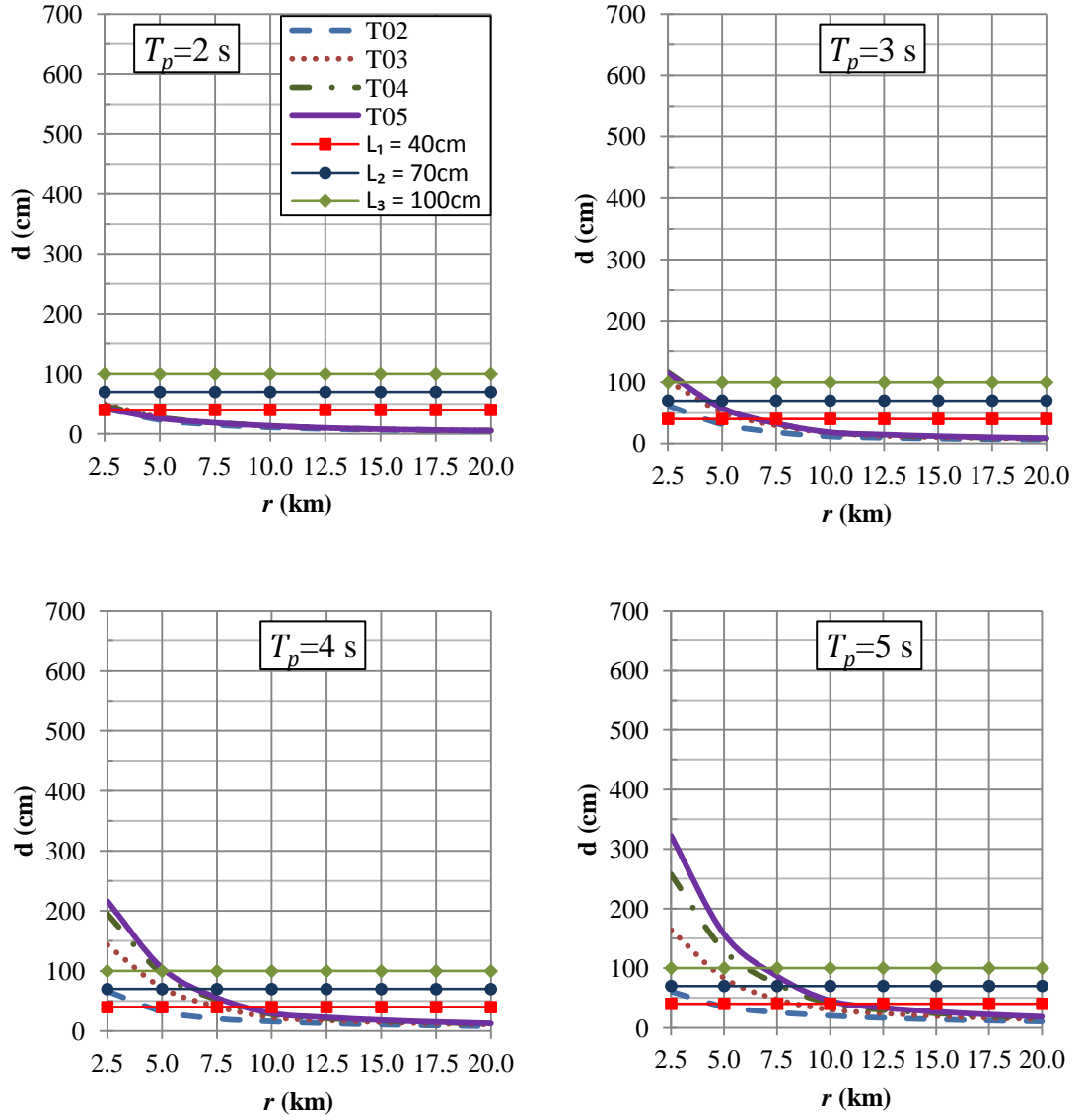
Tipik olarak pik taban deplasmanı talepleri, $T_0=5$ s olan uzun periyotlu sistemler için tüm depremlerde en yüksek; $T_0=2$ s olan kısa periyotlu sistemler ise en düşük değerleri vermektedir. Özellikle ek sönümün olmadığı sistemlerde, puls periyodunun artması pik taban deplasmanı taleplerini makul sınırların oldukça dışına çekmiştir. Ek sönümün ilave edilmesiyle dahi, pik taban deplasmanı talepleri $T_p=4$ s ve 5 s için ancak faya olan mesafenin $r=10$ km'den fazla olduğu, diğer bir deyişle yakın deprem etkilerinin büyük ölçüde azaldığı durumlarda limit değerlerini aşmamıştır. Bu durum ek sönümün ilave edilmesiyle dahi, özellikle uzun izolasyon periyotlu sistemlerin yakın depremlere maruz kalması durumunda, yapısal güvenlik problemi yaşayacağını göstermektedir.



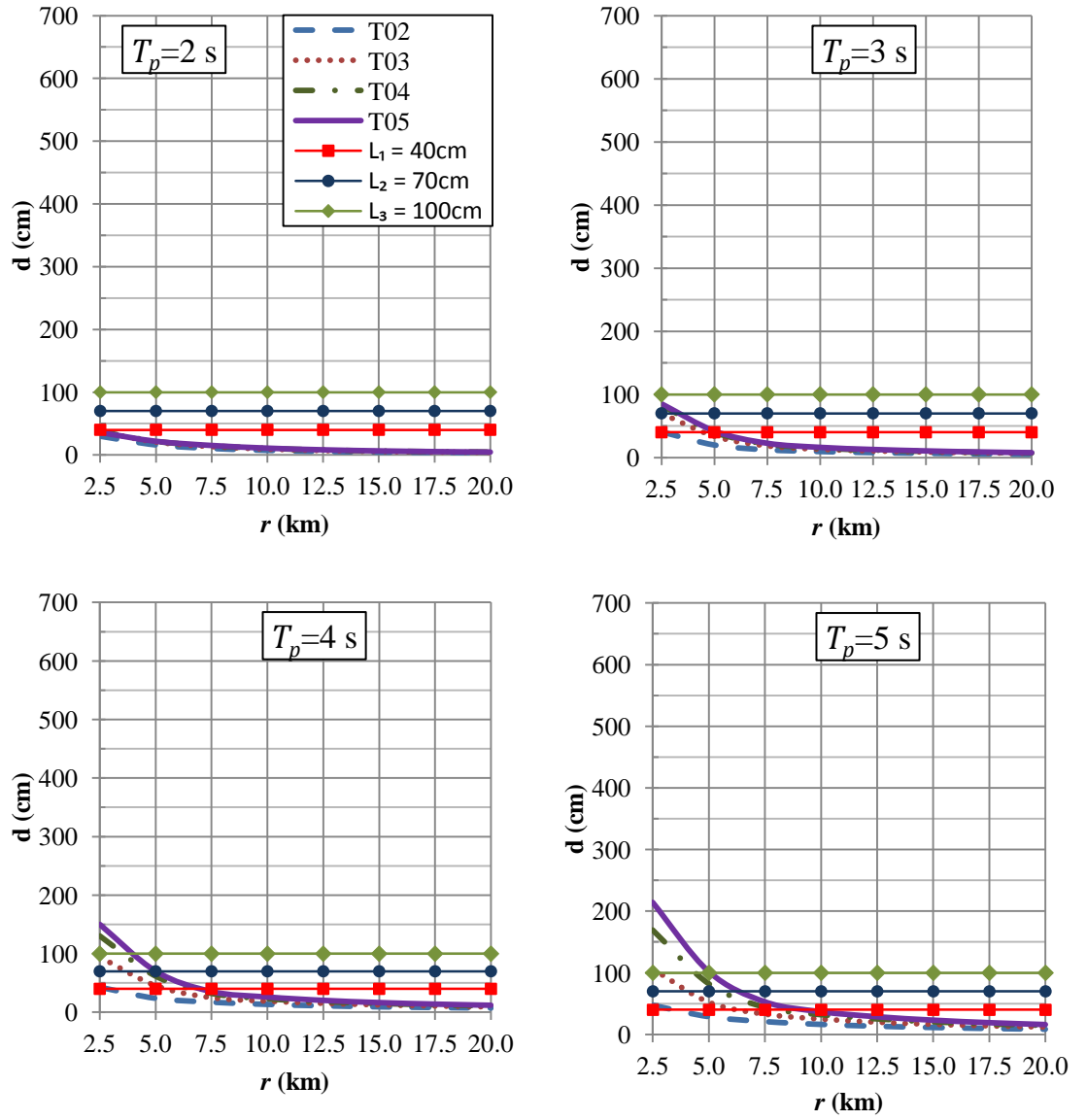
Şekil 4.6: Kuvvet oranı $Q/W=\%5$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=\%0$ için pik taban deplasmanları.



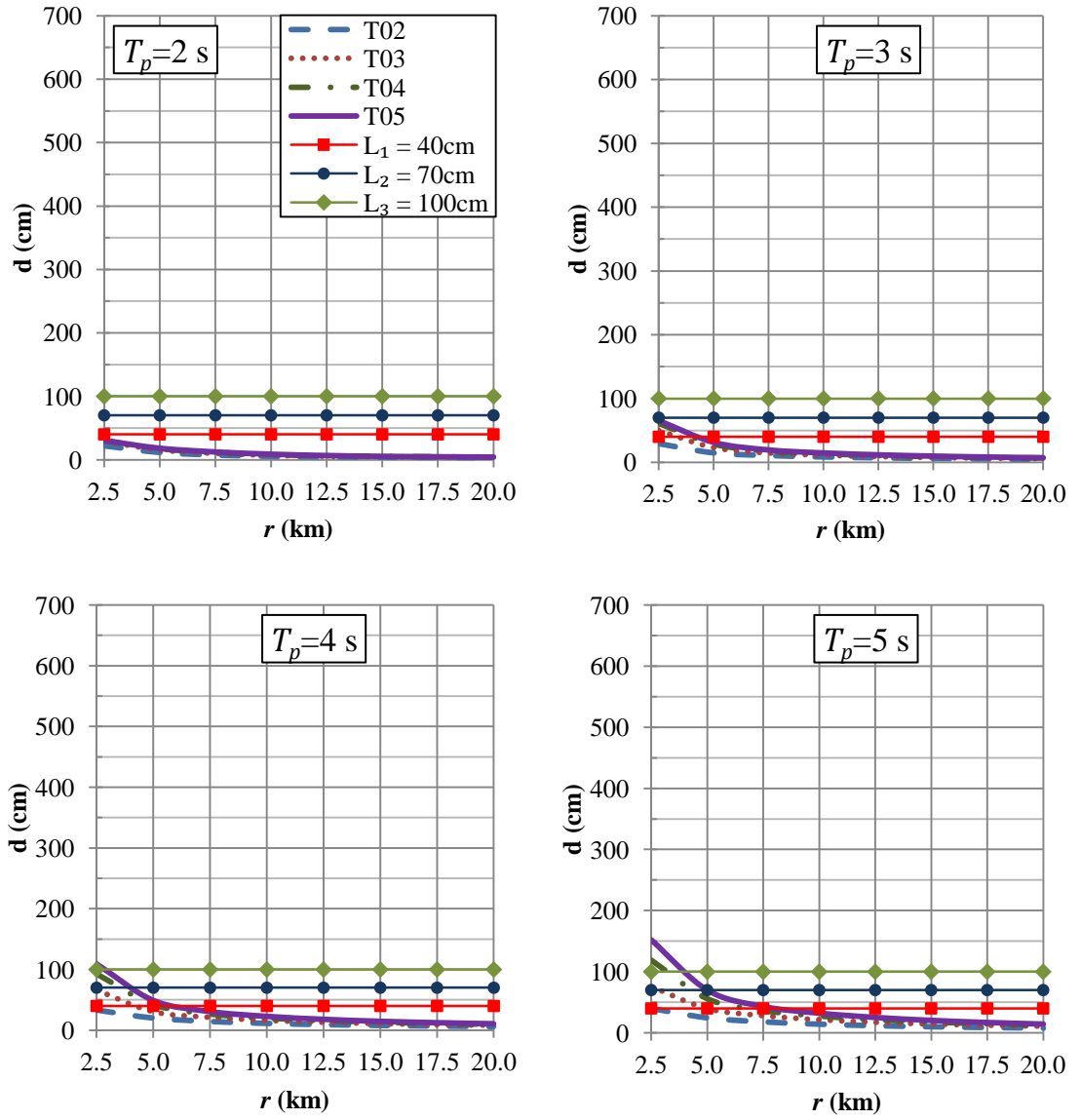
Şekil 4.7: Kuvvet oranı $Q/W = \%10$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0 = \%0$ için pik taban deplasmanları.



Şekil 4.8: Kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=\%0$ için pik taban deplasmanları.



Şekil 4.9: Kuvvet oranı $Q/W = \%15$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0 = \%15$ için pik taban deplasmanları.



Şekil 4.10: Kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=\%30$ için pik taban deplasmanları.

4.3.2. Pik En Üst Kat İvmesine Ait Bulgular

Pik en üst kat ivmesi grafikleri Şekil 4.11-4.15'de sunulmuştur. Şekil 4.11'deki grafiklerden ($Q/W=5\%$) pik en üst kat ivmesi değerlerinin deprem puls periyodunun artması ile genel olarak artış gösterdiği; bu artışın en belirgin olarak $T_0=3$ s, 4 s ve 5 s olan sistemlerde olduğu görülmüştür. $T_0=4$ s ve 5 s olan sistemlerde, L_1 limitinin $T_p=2$ s için aşılmadığı; $T_p=3$ s için sırasıyla $r \geq 10$ km ve $r \geq 5$ km için sağlandığı görülmektedir. L_1 limiti $T_p=4$ s için, sadece $T_0=5$ s olan sistemde ve $r \geq 12.5$ km'de sağlamıştır. Bu limit değeri $T_p=5$ s için hiçbir sistemde sağlanamayan bir limit değeridir. $T_0=2$ s olan sistemde, $T_p=2$ s olan deprem için $r \geq 7.5$ km'de; $T_0 > 2$ s olan sistemler için tüm mesafelerde L_2 rahatlıkla limiti sağlanmaktadır. $T_p=3$ s olan deprem için $T_0 > 3$ s olan sistemlerde, tüm mesafelerde; $T_0=3$ s olan sistem için $r \geq 7.5$ km'de ve $T_0=2$ s olan sistem için $r \geq 10$ km'de L_2 limiti sağlanmaktadır. Bu limit değeri, $T_p=4$ s olan deprem için, $T_0 < 5$ s olan sistemlerde $r \geq 10$ km'de; $T_0=5$ s olan sistemde ise $r \geq 5$ km'de sağlanırken; $T_p=5$ s olan deprem için ise $T_0=2$ s ve $T_0=5$ s olan sistemlerde $r \geq 7.5$ km'de; $T_0=3$ s ve $T_0=4$ s olan sistemlerde $r \geq 10$ km'de sağlanmaktadır. Tüm sistemler ve tüm deprem puls değerleri için L_2 limitinin $r \geq 10$ km'de, L_3 limitinin ise $r \geq 5$ km'de sağlandığı görülmüştür. Görüldüğü gibi, kuvvet oranı $Q/W=5\%$ limitlerin sağlanabilmesi için yetersiz kalmıştır.

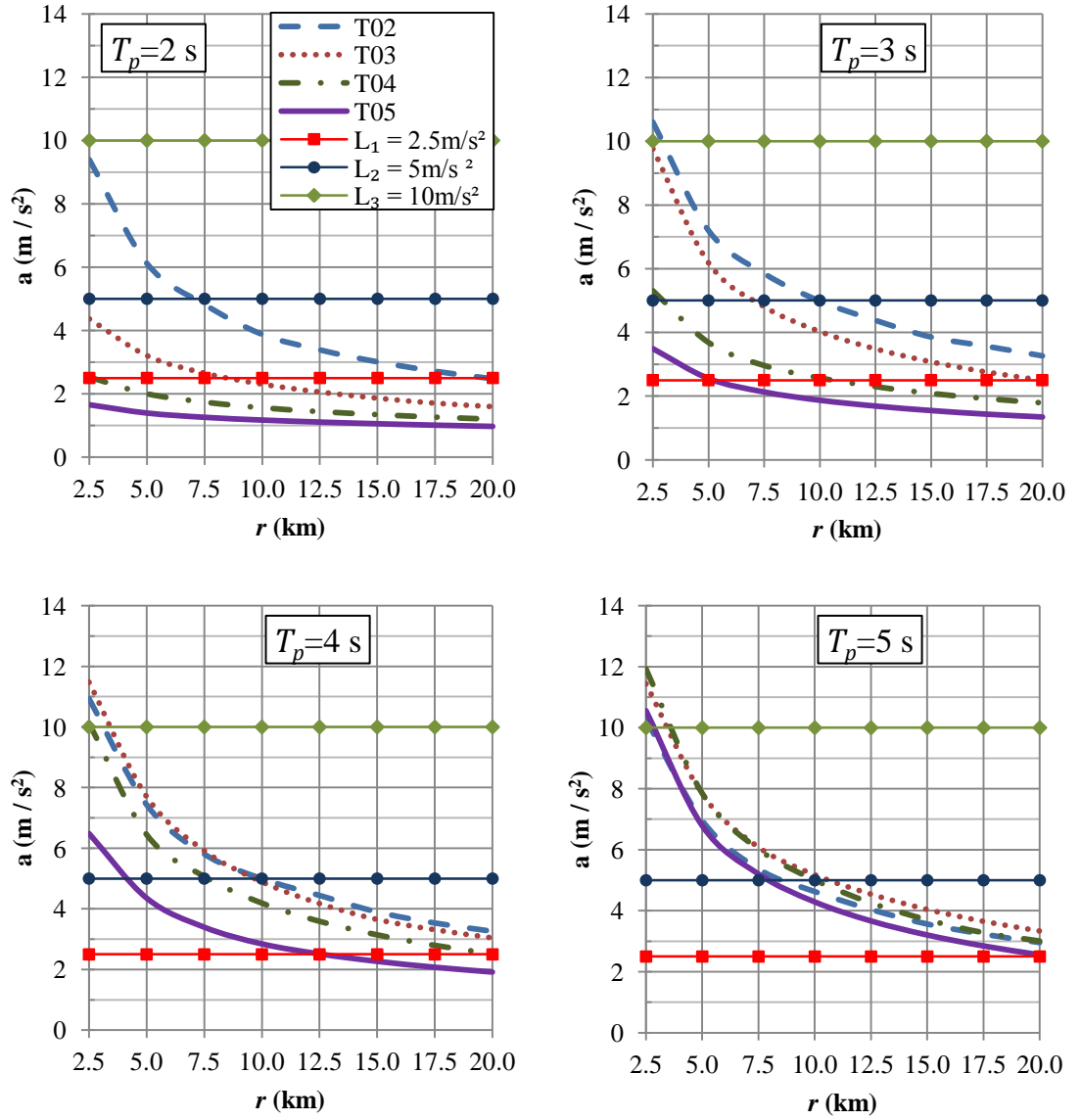
Kuvvet oranının $Q/W=5\%$ 'den $Q/W=10\%$ 'a çıkması ile pik en üst kat ivmesi değerlerinde genel anlamda azalma görülürken; bazı sistemlerde kayda değer bir değişme görülmemiştir. Örneğin, $T_p=3$ s için $T_0=4$ s ve 5 s olan sistemlerde; $T_p=4$ s için $T_0=5$ s olan sistemde kayda değer bir değişme görülmemiştir. Kuvvet oranındaki bu artış ile L_3 limitinin tüm sistemler ve depremler için her mesafede tamamen sağlandığı; L_1 limitinin sağlanması hususunda ise olumlu katkısı olduğu görülmüştür. Pik en üst kat ivmesi değerlerinin, kuvvet oranının $Q/W=10\%$ 'a çıktığı sistemlerde (Şekil 4.12) $T_p=4$ s ve 5 s depremlerinde dahi, $r \geq 10$ km için L_1 limitinin uzun periyotlu sistemlerde sağlandığı görülmüştür. $T_p=2$ s ve 3 s olması durumunda ise $r \geq 5$ km için L_1 limiti sağlanmaktadır.

Şekil 4.13'de ($Q/W=15\%$) faya olan mesafenin az olduğu kısımlarda, pik en üst kat ivmesi değerlerinde genel anlamda azalma olmasına karşın, bazı durumlarda neredeyse

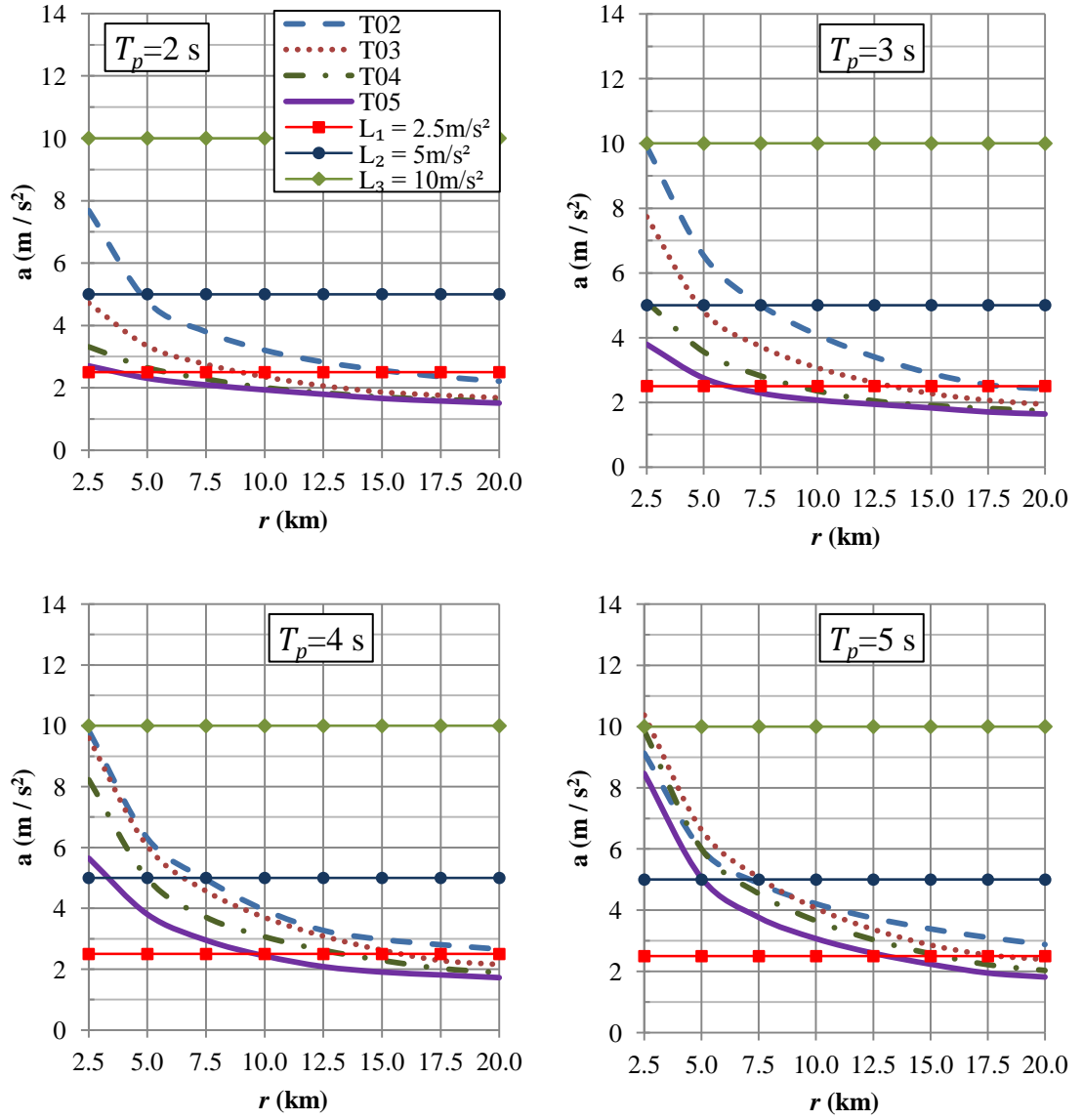
değişmediği söylenebilirken; faya olan mesafenin arttığı kısımlarda, Şekil 4.12'ye ($Q/W=10\%$) göre artışlar dahi olduğu gözlenmektedir. Bu durum sebebiyle, $T_0=3$ s, 4 s ve 5 s olan sistemlerin L_1 limitini $Q/W=10\%$ için sağlarken $Q/W=15\%$ için sağlanmadığı görülebilir ($T_p=4$ s ve $T_p=5$ s, $r \geq 15$ km). L_2 limitinin her deprem ve $r \geq 7.5$ km için tüm sistemlerde sağlandığı, L_3 limitinin ise tüm mesafeler için sağlandığı tespit edilmiştir.

Kuvvet oranının $Q/W=15\%$ olduğu sistemlere ek sönüm oranı $\zeta_0=15\%$ ve $\zeta_0=30\%$ eklenmesi ile elde edilen pik en üst kat ivmesi grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.11-4.12'de sunulmuştur. 15% ek sönümün (Şekil 4.14), $Q/W=15\%$ 'e (Şekil 4.13) göre L_1 limitini sağlamak açısından olumlu bir etkisinin olmadığı görülmüştür. L_2 limitinin tüm sistemlerde $r \geq 5$ km için; L_1 limitinin ise tüm sistemlerde sağlandığı belirlenmiştir. Ayrıca, 15% ek sönümün $T_p=5$ s için pik en üst kat ivmesi değerlerini fazla değiştirmedeği, diğer tüm durumlar için de, bu değerleri bir miktar azalttığı ya da neredeyse değiştirmedeği söylenebilir.

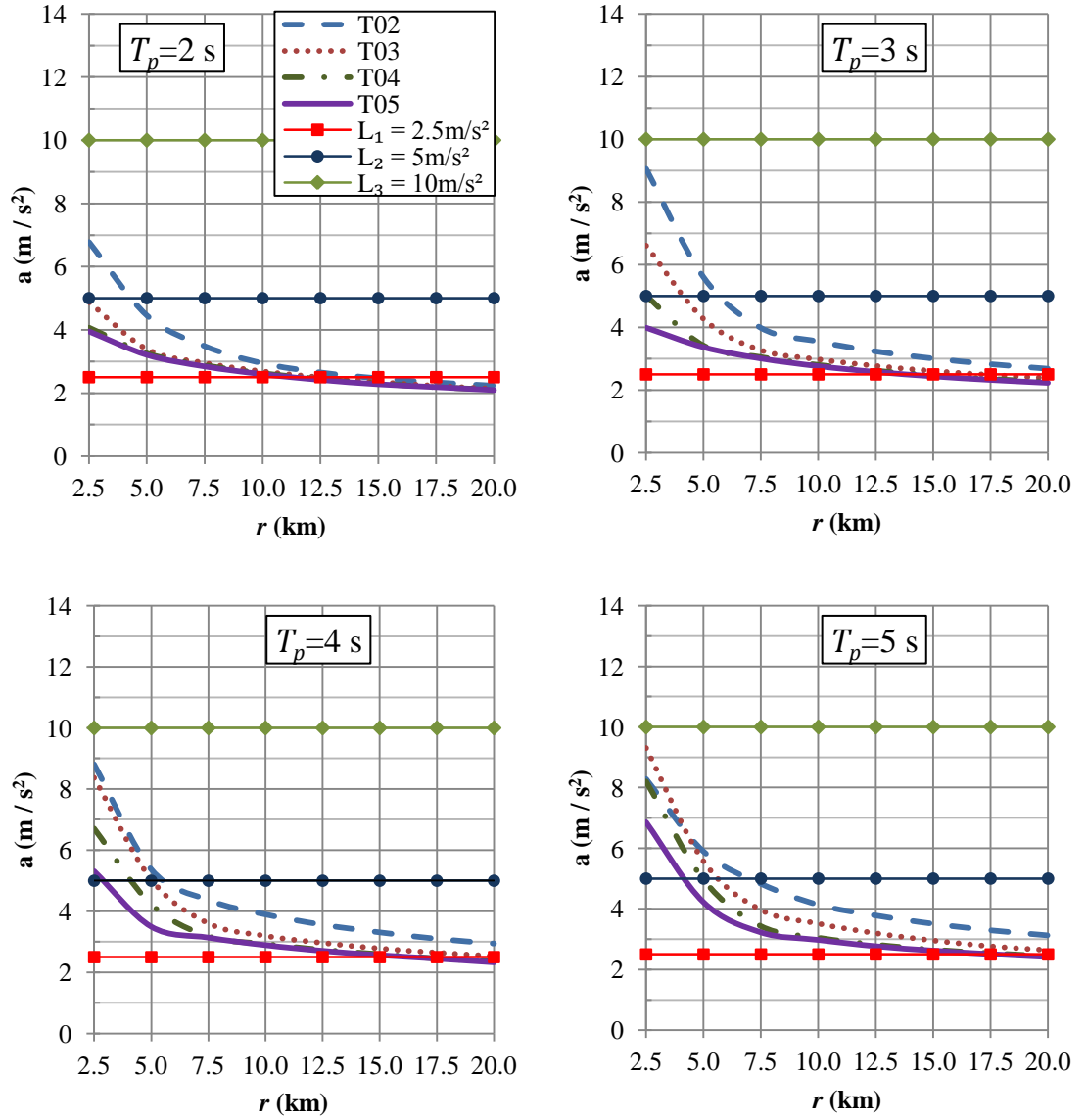
Şekil 4.15'de, ek sönümün (ζ_0) 15% 'den 30% 'a çıkartılmasının L_1 limitinin sağlanmasına katkı sağlayamadığı görülmektedir. Dolayısıyla sönüm oranının belirli miktarın üzerinde arttırılmasının, hassas cihazların deprem sırasında kullanılabilirliği açısından önemli bir fayda sağlamadığı açıktır. Ayrıca, ek sönümün 15% 'den 30% 'a çıkartılmasından dolayı pik en üst kat ivmesi değerlerinin neredeyse değişmediği hatta faya uzak mesafelerde bazı durumlarda arttırabildiği görülmüştür.



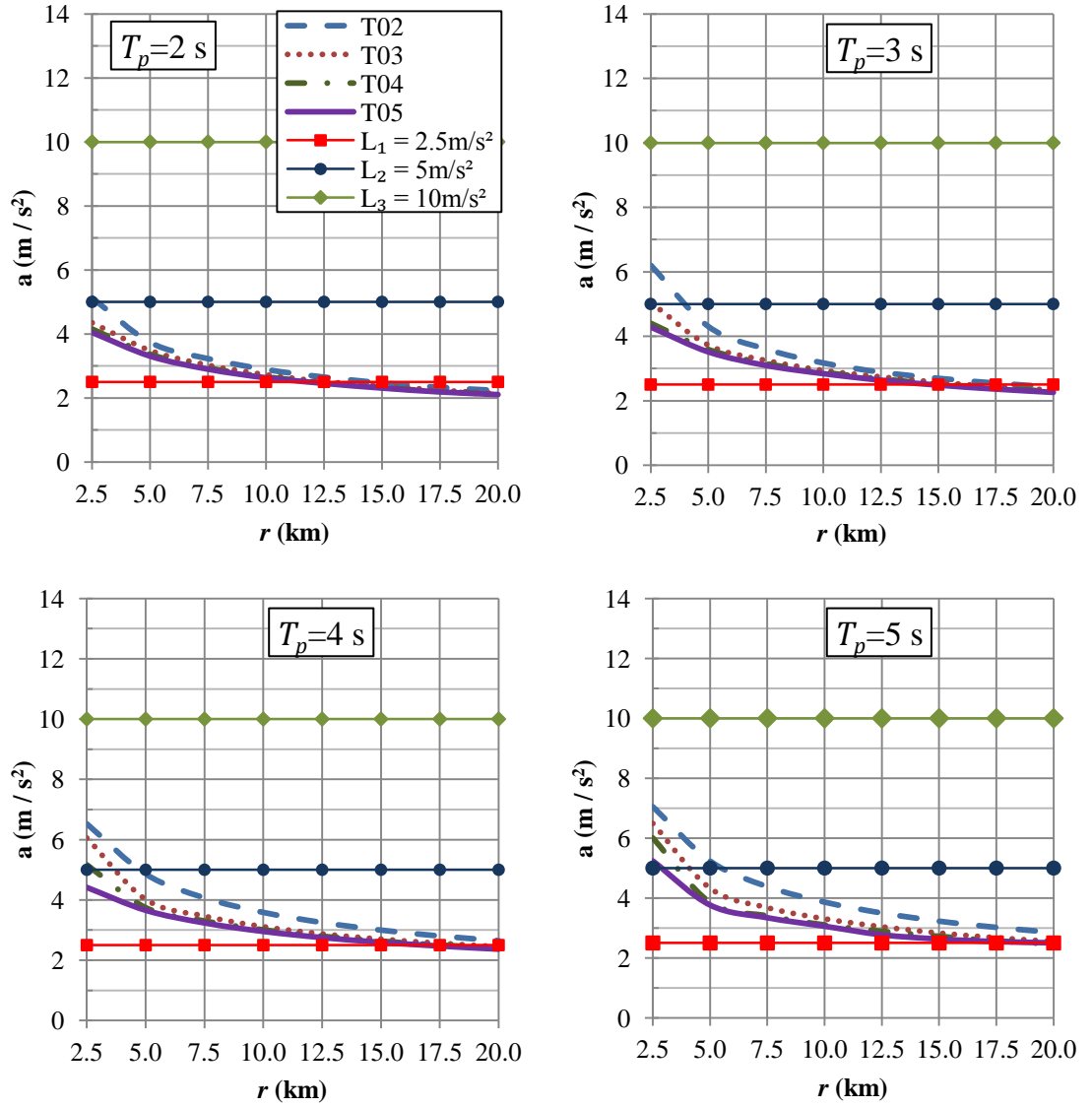
Şekil 4.11: Kuvvet oranı $Q/W=\%5$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=\%0$ için pik kat ivmeleri.



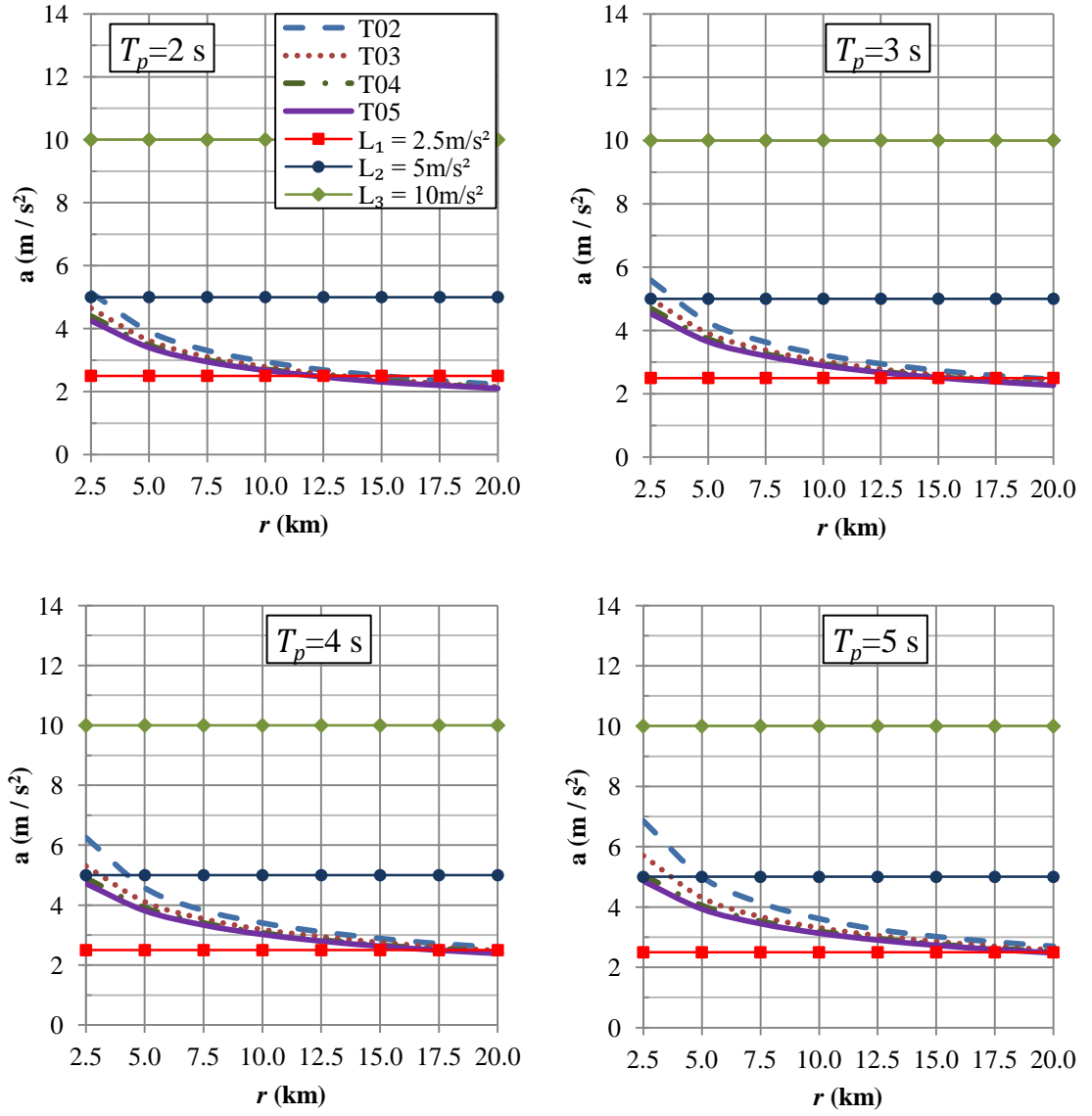
Şekil 4.12: Kuvvet oranı $Q/W = \%10$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0 = \%0$ için pik kat ivmeleri.



Şekil 4.13: Kuvvet oranı $Q/W = \%15$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0 = \%0$ için pik kat ivmeleri.



Şekil 4.14: Kuvvet oranı $Q/W=15\%$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=15\%$ için pik kat ivmeleri.



Şekil 4.15: Kuvvet oranı $Q/W=\%15$ ve ek sönüm oranı $\zeta_0=\%30$ için pik kat ivmeleri.

Sönümün etkisini, uzak depremlerle olan ilişkileri açısından da gözlemleyebilmek amacıyla, tüm sistemler Berkeley Üniversitesi'ne ait "Peer Strong Motion Databank" (Berkeley, 2011) isimli data bankasından elde edilen ve Tablo 4.5'te verilen tarihi uzak deprem kayıtlarına maruz bırakılmıştır. Burada M_w deprem büyüklüğü, PGA ise pik deprem ivmesidir. Bu analiz sonucunda elde edilen pik taban deplasmanı ile pik en üst kat ivmeleri sırasıyla Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.5: Tarihi uzak deprem kayıtlarının özellikleri.

Deprem Adı	Kayıt Bileşeni	M_w	İstasyon Adı	Odak Uzaklığı(km)	PGA(g)
Loma Prieta, 1989	GMR090	6.9	57425 Gilroy Array #7	24.2	0.323
Northridge, 1994	ORR090	6.7	24278 Castaic - Old Ridge Route	22.6	0.568
San Fernando, 1971	ORR021	6.6	24278 Castaic - Old Ridge Route	24.9	0.324

Tablo 4.6: Tarihi uzak depremler altında oluşan pik taban deplasmanı değerleri.

İzolasyon Sistemi	Loma Prieta d (cm)	Northridge d (cm)	San Fernando d (cm)
T02QW5	2.38	15.14	2.94
T02QW10	2.15	12.37	2.79
T02QW15	1.55	11.59	3.32
T02QW15ç015	1.36	9.85	2.85
T02QW15ç030	1.26	8.42	2.48
T03QW5	2.62	16.94	3.33
T03QW10	2.02	12.47	3.32
T03QW15	1.65	10.12	3.26
T03QW15ç015	1.42	9.15	2.97
T03QW15ç030	1.25	8.41	2.71
T04QW5	2.56	14.96	3.48
T04QW10	1.89	13.10	3.57
T04QW15	1.66	11.55	3.19
T04QW15ç015	1.46	10.64	3.00
T04QW15ç030	1.32	9.84	2.80
T05QW5	2.51	15.66	3.55
T05QW10	1.81	14.23	3.69
T05QW15	1.66	12.58	3.15
T05QW15ç015	1.49	11.64	3.01
T05QW15ç030	1.36	10.80	2.86

Tablo 4.7: Tarihi uzak depremler altında oluşan pik en üst kat ivmesi değerleri.

İzolasyon Sistemi	Loma	Northridge	San
	Prieta		Fernando
	a (m/s ²)	a (m/s ²)	a (m/s ²)
T02QW5	1.03	2.93	1.28
T02QW10	1.62	3.91	2.00
T02QW15	2.30	5.06	2.39
T02QW15ζ015	2.04	4.72	2.33
T02QW15ζ030	2.08	5.37	2.36
T03QW5	0.92	1.91	0.94
T03QW10	1.45	2.99	1.78
T03QW15	2.16	4.34	2.27
T03QW15ζ015	2.00	4.45	2.22
T03QW15ζ030	1.88	4.58	2.27
T04QW5	0.85	1.68	0.83
T04QW10	1.40	2.78	1.67
T04QW15	2.12	4.24	2.21
T04QW15ζ015	1.99	4.34	2.18
T04QW15ζ030	1.87	4.44	2.23
T05QW5	0.81	1.54	0.78
T05QW10	1.38	2.75	1.63
T05QW15	2.09	4.19	2.19
T05QW15ζ015	1.99	4.29	2.18
T05QW15ζ030	1.89	4.37	2.21

Artan sönüm (Q/W) ve ek sönüm (ζ_0) ile pik taban deplasmanı talepleri düşerken pik en üst kat ivmesi değerlerinde tipik olarak artışlar görülmüştür. Uzak depremler altında oluşan pik taban deplasmanı talep değerleri, tüm sistemler için pratik limit değerlerin oldukça altında kalmıştır (Tablo 4.6). Ancak, sistemlere etki edebilecek yakın depremlerde pik taban deplasmanı talep değerlerinin Kısım 4.4.1’de anlatıldığı gibi gerçekçi değerlerin dışına çıktığı durumlar oluşabilmektedir. Yakın depremlerde gerçekleşen büyük taban deplasmanı taleplerini düşürebilmek için arttırılan sönüm, uzak depremlere maruz kalınması halinde pik en üst kat ivmesi değerlerini arttırmış veya değiştirmemiştir (Tablo 4.7). Uzak depremlerde, bu artışın olması durumunda dahi pik en üst kat ivmesi değerleri hemen tüm durumlarda $L_2=5 \text{ m/s}^2$ limitinin altında kalmış ancak özellikle Northridge depreminde $L_1=2.5 \text{ m/s}^2$ limitini aşarak hassas cihazların kullanılabilirliği açısından kritik bir etkiye sebep olabileceği gözlenmiştir.

Genel olarak pik en üst kat ivmesi değerlerinin, hassas cihazların depremler sırasındaki ve sonrasındaki kullanılabilirliği açısından kritik bir parametre olduğu; yapılan analizler sonucunda ek sönümün bu sistemlere kayda değer katkı sağlamadığı bazı durumlarda zarar dahi verebileceği söylenebilir.

4.4. YAPISAL CEVAP PARAMETRELERİ TESTLERİNE AİT BULGULAR

Tüm deprem sönüm oranları (ζ_p =%10, %20 ve %40) ve puls periyotları (T_p =2 s, 3 s, 4 s ve 5 s) için yapılan analizlerin sonucunda, Kısım 4.2'de belirlenen performans testlerini geçenlerin sayısı her bir sistem periyodu T_0 'a ve yapıya olan her r mesafesine bağlı olarak ayrı ayrı yüzde olarak hesaplanmıştır. Testler ile ilgili sonuçlar grafiksel olarak, bu kısımda Şekil 4.16-4.24'da verilmiştir.

4.4.1. Test 1'e ($d \leq 100$ cm ve $a \leq 10$ m/s²) Ait Bulgular

Akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=2$ s için ek sönüm oranının (ζ_0) %15 ve %30 olduğu durumlarda faya olan tüm mesafeler için Test 1, %100 oranında sağlanmıştır. Kuvvet oranının Q/W =%5, %10 ve %15 olduğu durumlarda ise $r \geq 5$ km'de %100 oranında sağlanmıştır. Akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=3$ s için, kuvvet oranı Q/W =%15 ve ek sönüm oranı %15 ve %30 olan sistemlerde $r \geq 5$ km'de %100 oranında; kuvvet oranı Q/W =%5 olan sistemde $r=2.5$ km de %20 civarında iken ancak $r=12.5$ km için %100 oranına ulaşmıştır. Aynı şekilde, Q/W =%10 olan sistemde $r=2.5$ km'de %20 civarında iken $r=7.5$ km için %100 oranına; Q/W =%15 olan sistemde $r=2.5$ km'de %30 civarında iken $r=5$ km için %100 oranına ulaşmıştır. Akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=4$ s için, kuvvet oranı Q/W =%15 ve ek sönüm oranı %15 ve %30 olan sistemlerde $r=7.5$ km için %100 oranına ulaşmıştır. Ancak, Test 1'i geçme oranı, kuvvet oranı Q/W =%5 olan sistem için $r=20$ km'de dahi %80 oranını ancak geçebilmiş; kuvvet oranı Q/W =%10 olan sistem ise $r=12.5$ km %100 oranına ulaşabilmiştir. Akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=5$ s için ise, kuvvet oranı Q/W =%15 ve ek sönüm oranı (ζ_0) %15 ve %30 olan sistemlerde, %100 oranında geçme durumu için faya olan mesafe $T_0=4$ s'ye göre gerileyerek $r=10$ km olmuştur. Kuvvet oranı Q/W =%5 olan sistem için $r=20$ km'de dahi %70 oranına ulaşamamıştır (Şekil 4.16). Test 1'in kısa periyotlu ve yüksek sönümlü sistemler tarafından daha rahat

geçildiği, ek sönümün yakın depremler için çok uzun periyotlu sistemlerde gerekli fakat yetersiz olduğu görülmüştür.

4.4.2. Test 2'ye ($d \leq 100$ cm ve $a \leq 5$ m/s²) Ait Bulgular

Test 2, $r=2.5$ km'de akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=2$ s olan sistemler içerisinde sadece ek sönüm oranının $\zeta_0=\%30$ olduğu sistemde yaklaşık olarak %10 oranında sağlanmıştır. Kuvvet oranı $Q/W=\%5$ olan sistem hariç tüm sistemler faya olan mesafe $r=10$ km'de Test 2'yi %100 oranında sağlamıştır. $T_0=5$ s olan ve ek sönümün olduğu sistemlerde, $r=2.5$ km'de testi geçme oranının %42 olduğu görülürken; $r \geq 7.5$ km'de %100'e ulaştığı görülmüştür. Ancak kuvvet oranının $Q/W=\%5$ ve periyodun $T_0=5$ s olduğu sistemde $r=2.5$ km'de %25 olan testi geçme oranının, $r=20$ km'de %67 olduğu görülmüştür. Test 1 performans testinde tüm sistemler %100 oranında $r \geq 5$ km'de sağlanmakta iken; ivme sınırının 5 m/s² olması ile oluşturulan Test 2 performans testi, tüm sistemleri %100 olarak ancak $r \geq 15$ km'de sağlayabilmektedir (Şekil 4.16). Hiç bir izolasyon periyodu ve sönüm oranı kombinasyonu için $r=2.5$ km mesafesinde test geçme oranı %50'yi dahi sağlayamamıştır. Bu test için en uygun sistemlerin $T_0=4$ s ve $\zeta_0=\%15$ ek sönüm kullanılan sistemler olduğu görülmektedir.

4.4.3. Test 3'e ($d \leq 100$ cm ve $a \leq 2.5$ m/s²) Ait Bulgular

Test 3, akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=2$ s olan sistemler içerisindeki hiçbir sistem $r \leq 10$ km'de performans testini sağlayamamıştır. Ancak, ek sönüm oranının (ζ_0) %15 ve %30 olduğu sistemler $r=12.5$ km'de %10 oranına yaklaşabilmektedir. Tüm sistemler Test 3'ü %20 ile %30 oranları arasında da olsa ancak $r=17.5$ km'de sağlayabilmiştir. $r=20$ km'de tüm sistemlerin, Test 3'ü geçme oranı %20 ile %50 arasında değişmekte olup, bu durumda dahi %100 olarak sağlayan sistem bulunmamaktadır. Akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=3$ s olan sistemler içerisinde, sadece kuvvet oranı $Q/W=\%5$ olan sistem $r=7.5$ km'de %10 civarında testi sağlamıştır. Tüm sistemler $r \geq 12.5$ km'de testi sağlamaya başlamış; hatta kuvvet oranı $Q/W=\%10$ olan sistem, $r=20$ km'de %90'ı aşmıştır. Genel olarak, akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=4$ s ve 5 s olan sistemlerde, $T_0 \leq 3$ s olan tüm sistemlere göre testi sağlama oranında artış olmuştur. Kuvvet oranı $Q/W=\%10$ olan, akma sonrası izolasyon periyodu $T_0 \geq 4$ s sistemler için, faya olan mesafe $r \geq 17.5$ km'de testi geçme oranları %100 oranında sağlanmıştır (Şekil 4.18).

Genel olarak, akma sonrası izolasyon periyodunun uzaması ile düşen pik en üst kat ivmeleri sayesinde, testleri sağlama oranlarında artış gözlemlenmiştir. Değerlendirilen ilk üç test, belirleyici kısıt olan ivme sınırının 10 m/s^2 'den 2.5 m/s^2 'ye düşürülmesi ile testi geçme oranlarının Test 1'e göre belirgin şekilde düştüğünü göstermiştir (Şekil 4.16-4.18).

4.4.4. Test 4'e ($d \leq 70 \text{ cm}$ ve $a \leq 10 \text{ m/s}^2$) Ait Bulgular

Test 4'te (Şekil 4.19) pik taban deplasmanı sınırı Test 1'e (Şekil 4.16) göre düşürülerek, belirleyici kısıt olmuştur. Sönüm oranı düşük sistemler ($Q/W = \%5$ ve $\%10$), Test 4'ü geçme oranında Test 1'e göre belirgin düşüşler görülmektedir. Örneğin, kuvvet oranı $Q/W = \%5$ için, Test 1'i faya olan mesafe $r = 5 \text{ km}$ 'de $\%100$ oranında sağlarken; Test 4'ü $\%75$ oranında sağlamaktadır. Akma sonrası izolasyon periyodu $T_0 = 3 \text{ s}$ için tüm sistemler, Test 1'i (Şekil 4.16) $r \geq 12.5 \text{ km}$ 'de $\%100$ oranında geçerken; Test 4'ü (Şekil 4.19) $r = 20 \text{ km}$ 'de $\%100$ oranında geçebilmiştir. Genel olarak, akma sonrası izolasyon periyodunun uzaması ile pik taban deplasmanları, tüm testlerde olduğu gibi Test 4'te de arttığından, uzun periyotlarda ($T_0 \geq 3 \text{ s}$) testi geçme oranları düşmüştür. Bu test sınırları için ek sönümün özellikle uzun periyotlu sistemler için fayda sağladığı anlaşılmaktadır.

4.4.5. Test 5'e ($d \leq 70 \text{ cm}$ ve $a \leq 5 \text{ m/s}^2$) Ait Bulgular

İvme sınırının 5 m/s^2 olduğu Test 5 (Şekil 4.20) testini geçme oranları, ivme sınırının 10 m/s^2 olduğu Test 4 (Şekil 4.19) testini geçme oranlarına göre düşmüştür. Örneğin, akma sonrası izolasyon periyodu $T_0 = 3 \text{ s}$ ve ek sönüm oranı (ζ_0) $\%30$ olan sistemin, faya olan mesafe $r = 2.5 \text{ km}$ 'de Test 4'ü geçme oranı $\%67$ iken; Test 5'i geçme oranı $\%25$ 'e düşmüştür. Pik taban deplasmanı sınırının 100 cm 'den 70 cm 'e düşüşünü gözlemleyebilmek için Test 2 ile Test 5 kıyaslandığında, akma sonrası izolasyon periyodunun $T_0 = 2 \text{ s}$ olduğu durumda tüm sistemler, faya olan tüm mesafelerde her iki testi de aynı oranda geçtiği görülmüştür. Akma sonrası izolasyon periyodunun $T_0 = 3 \text{ s}$ olduğu durumda ise kuvvet oranının $Q/W = \%5$ olduğu sistemde, faya olan tüm mesafelerde, Test 5'i geçme oranı Test 2'yi geçme oranına göre düşmüştür. Akma sonrası izolasyon periyodunun uzaması ile ($T_0 \geq 4 \text{ s}$) pik taban deplasmanları arttığından, özellikle düşük sönümlü sistemlerde ($Q/W = \%5$ ve $\%10$) faya olan tüm mesafelerde testi geçme oranında Test 2'ye göre düşüşler görülmüştür.

4.4.6. Test 6'ya ($d \leq 70$ cm ve $a \leq 2.5$ m/s²) Ait Bulgular

Pik en üst kat ivme sınırının 5 m/s² olduğu Test 5'e göre (Şekil 4.20), pik en üst kat ivme sınırının 2.5 m/s² olduğu Test 6'da (Şekil 4.21), tüm sistemler için faya olan tüm mesafelerde testi geçme oranları belirgin bir şekilde düşmüştür. Bu durum özellikle düşük akma sonrası izolasyon periyoduna sahip sistemlerde ($T_0 \leq 3$ s) ivmelerin artmasına bağlı olarak önem kazanmıştır. Örneğin akma sonrası periyodu $T_0=2$ s ve ek sönüm oranı (ζ_0) %30 olan sistem, Test 5'i faya olan mesafe $r \geq 7.5$ km'de %100 oranında geçerken; Test 6'yı $r=20$ km'de dahi %50 oranında geçebilmiştir. Aynı şekilde, akma sonrası periyodu $T_0=5$ s ve kuvvet oranı $Q/W=\%15$ olan ve %15 ile %30 ek sönüm içeren sistemler, Test 5'i faya olan mesafe $r \geq 10$ km'de %100 oranında sağlarken; Test 6'yı faya olan mesafe $r=20$ km'de dahi %75 oranında sağlayabilmiştir. $T_0 \leq 3$ s için tüm mesafeler ve tüm sistemler için, Test 6'yı geçme oranları (Şekil 4.21) Test 3'ü (Şekil 4.18) geçme oranlarına göre kıyaslandığında ise, Test 3'e göre düşürülen pik taban deplasmanı sınırının testi geçme oranlarını değiştirmedeği görülmüştür. Akma sonrası izolasyon periyodunun uzaması ile ($T_0=5$ s) kuvvet oranı $Q/W=\%5$ ile %10 olan sistemler, periyodun uzaması ile pik taban deplasmanlarının artmasından dolayı faya olan tüm mesafelerde Test 3'ü geçme oranlarına göre Test 6'yı geçme oranları düşerken; diğer sistemlerde faya olan tüm mesafelerde her iki testi geçme oranları değişmemiştir. Bu test için en uygun izolasyon periyodunun $T_0=4$ s veya 5 s, en uygun sönüm oranının $Q/W=\%15$ olduğu ve ek sönümün uygun olmadığı anlaşılmıştır.

4.4.7. Test 7'ye ($d \leq 40$ cm ve $a \leq 10$ m/s²) Ait Bulgular

Pik taban deplasmanı sınırının oldukça düşük 40 cm olduğu Test 7 (Şekil 4.22) testini geçme oranları, sönüm oranının düşük olduğu sistemlerde ($Q/W=\%5$ ve %10) pik taban deplasmanı sınırının 70 cm olduğu Test 4'e (Şekil 4.19) göre düşmüştür. Tüm akma sonrası izolasyon periyotları için sönüm oranı daha yüksek olan sistemler ($Q/W=\%15$ ve $\zeta_0=\%15, \%30$), faya olan mesafenin $r \geq 12.5$ km olduğu durumda testi geçme oranları arasında $T_0=5$ s ve ek sönüm $\zeta_0=\%30$ olduğu sistem hariç, her iki testi de (Test 7 ve Test 4) %100 oranında sağlamıştır. Test 7'yi geçme oranı, akma sonrası izolasyon periyodu $T_0=2$ s olan ve kuvvet oranı $Q/W=\%5$ olan sistem hariç tüm sistemlerde, faya olan mesafe $r \geq 7.5$ km'de %100 olmuştur. Akma sonrası izolasyon periyodunun uzaması ile bu oranlar azalma göstermiştir. Örneğin, faya olan mesafe

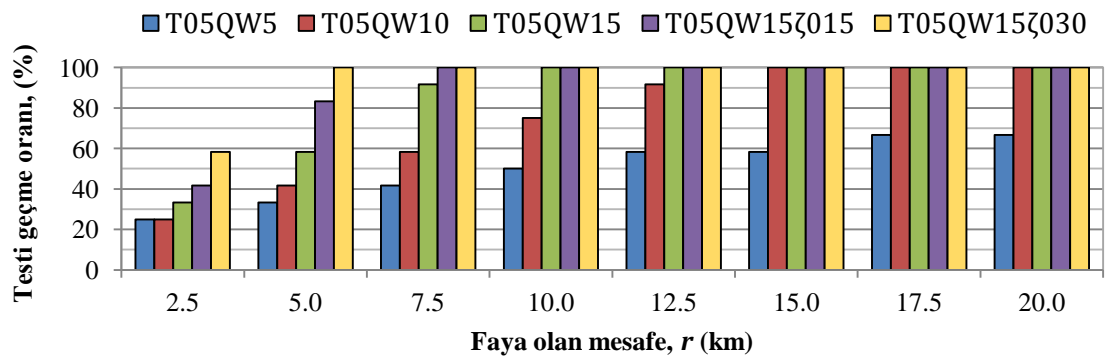
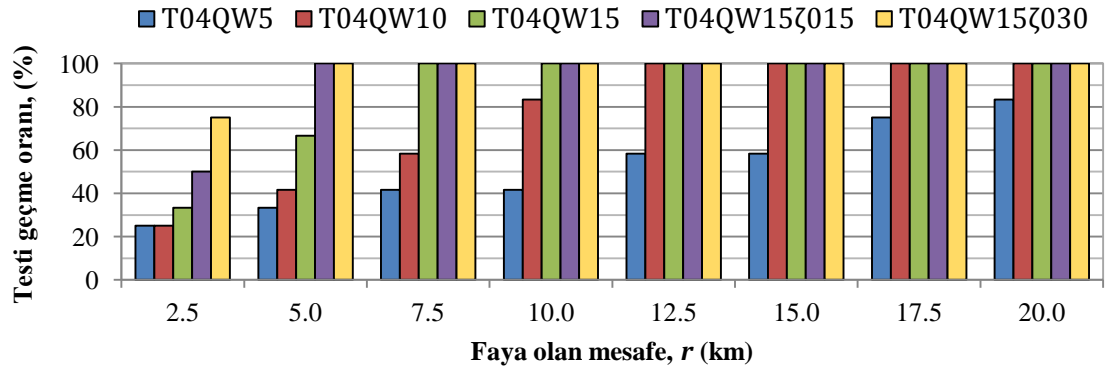
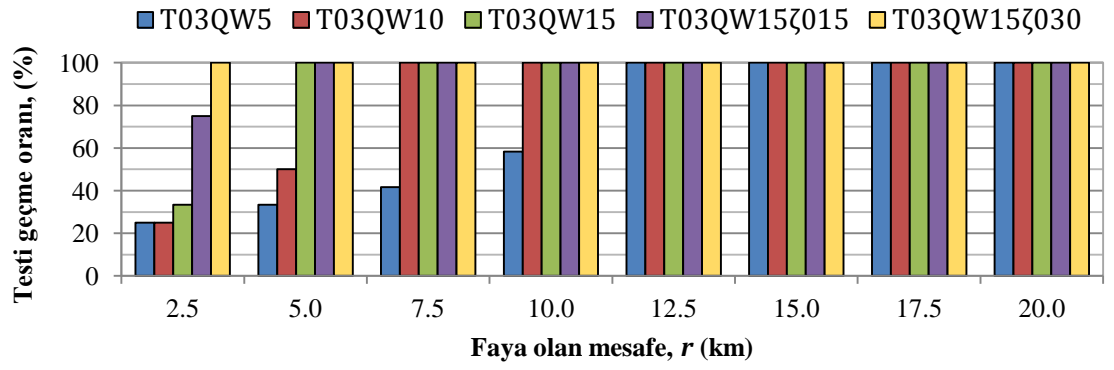
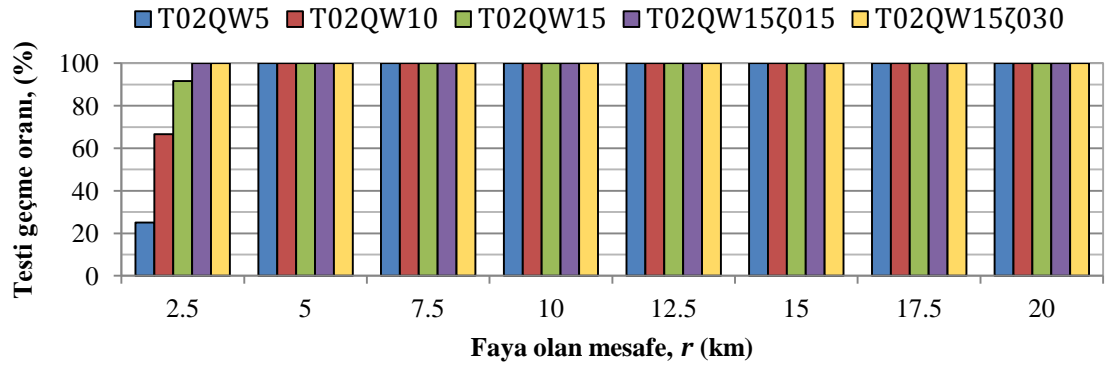
$r=7.5\text{km}$ 'de $T_0=2$ s ve ek sönüm oranı $\zeta_0=\%30$ olan sistem, testi $\%100$ oranında sağlarken; $T_0=5$ s ve ek sönüm oranı $\zeta_0=\%30$ olan sistem $\%75$ oranında sağlamıştır. Özellikle uzun periyotlu sistemler ($T_0=4$ s ve 5 s) için ek sönüm ihtiyacı açıktır.

4.4.8. Test 8'e ($d\leq 40$ cm ve $a\leq 5$ m/s²) Ait Bulgular

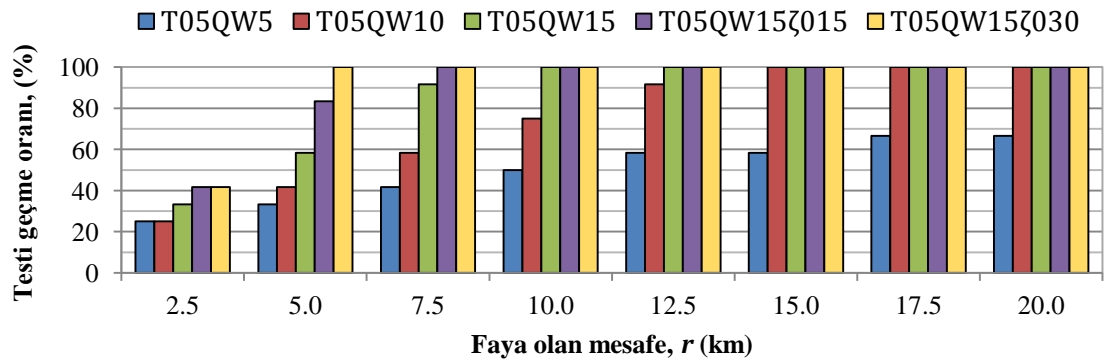
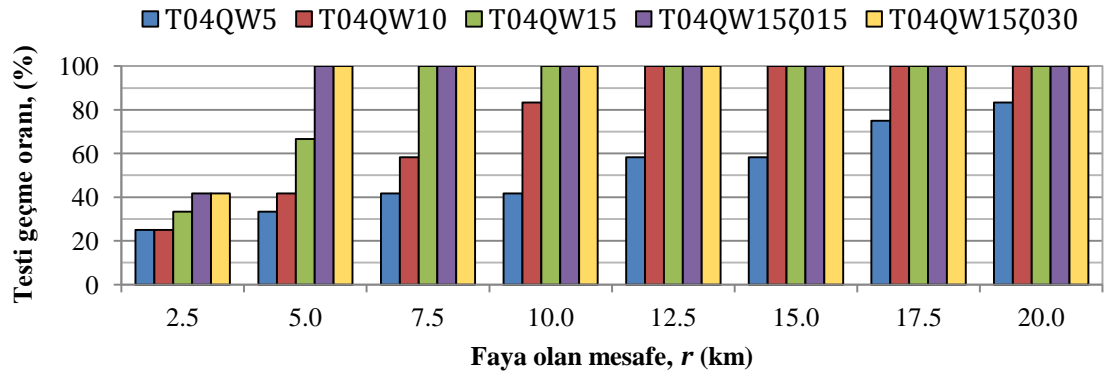
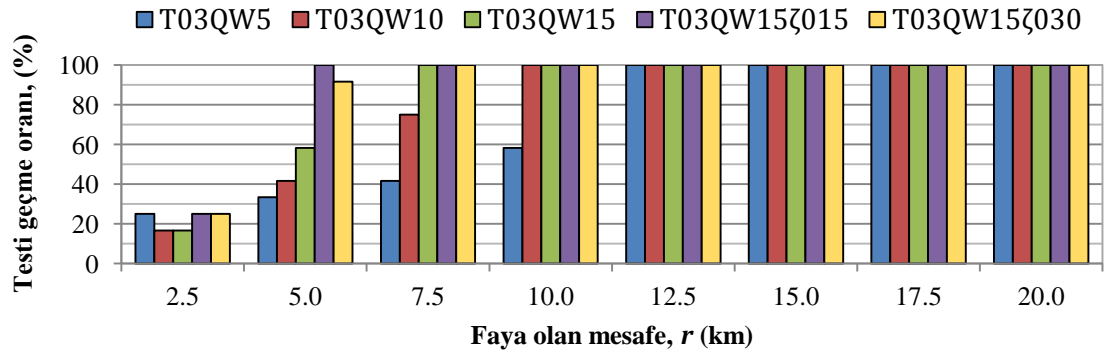
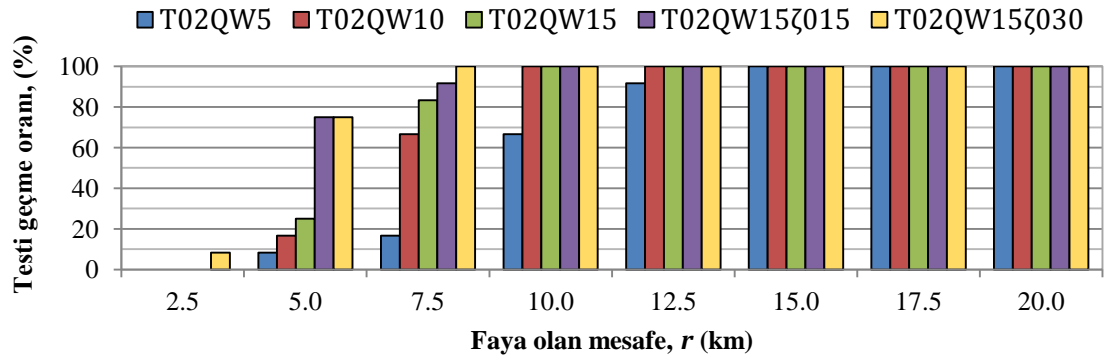
Pik en üst kat ivme sınırının 5 m/s² olduğu Test 8 (Şekil 4.23) testini geçme oranları, 10 m/s² olduğu Test 7 (Şekil 4.22) testini geçme oranlarına göre düşmüştür. Bu düşüş akma sonrası izolasyon periyotlarının kısa olduğu ($T_0\leq 3$ s) durumlarda daha net görülmektedir. Örneğin, faya olan mesafe $r=2.5$ km'de, $T_0=2$ s ve ek sönüm oranı $\zeta_0=\%30$ olan sistemin Test 7'yi geçme oranı $\%92$ iken; aynı sistemin Test 8'i geçme oranı $\%8$ olmuştur.

4.4.9. Test 9'a ($d\leq 40$ cm ve $a\leq 2.5$ m/s²) Ait Bulgular

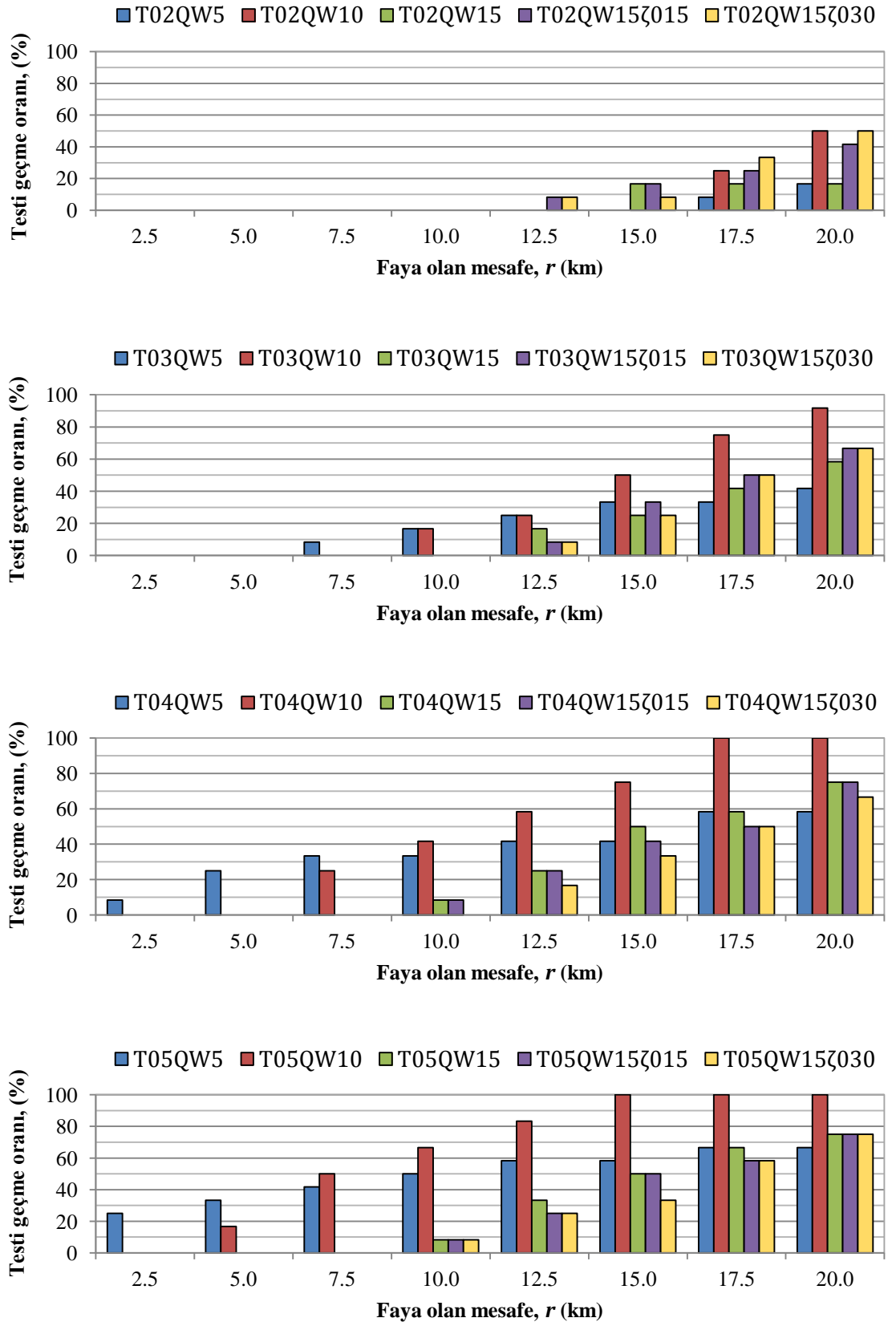
Performans testlerinin en kısıtlayıcı sınır şartlarına sahip olan testi Test 9'u geçme oranları diğer testlere göre oldukça düşmüştür. Örneğin, akma periyodu $T_0=2$ s olan hiçbir sistem faya olan mesafe $r\leq 10$ km için testi sağlayamamıştır. Ancak, $r=12.5$ km'de, $T_0=2$ s ve ek sönüm oranı $\zeta_0=\%15$ ve $\%30$ olan sistemler $\%8$ oranında sağlamaya başlamıştır. $T_0=2$ s için, $r=20$ km'de dahi ulaşabildiği maksimum testi geçme oranı $\%50$ olmuştur. $T_0=5$ s için $r\geq 10$ km'de düşük oranlarda da olsa tüm sistemler testi geçmeye başlamış, sönüm oranı arttıkça testi geçme oranları da artmıştır. $r=20$ km'de $Q/W\geq\%10$ için ancak $\%75$ civarında geçme oranları görülmüştür. Bu testin faya yakın mesafeler için sağlanamayacağı, $r\geq 10$ km için ise ancak uzun periyotlu ve yüksek sönüm oranlı ($Q/W=\%10$ ve $\%15$) sistemlerde belirli oranlarda sağlanabileceği anlaşılmıştır. Ek sönümün performansı artırıcı etkisi görülmemiştir.



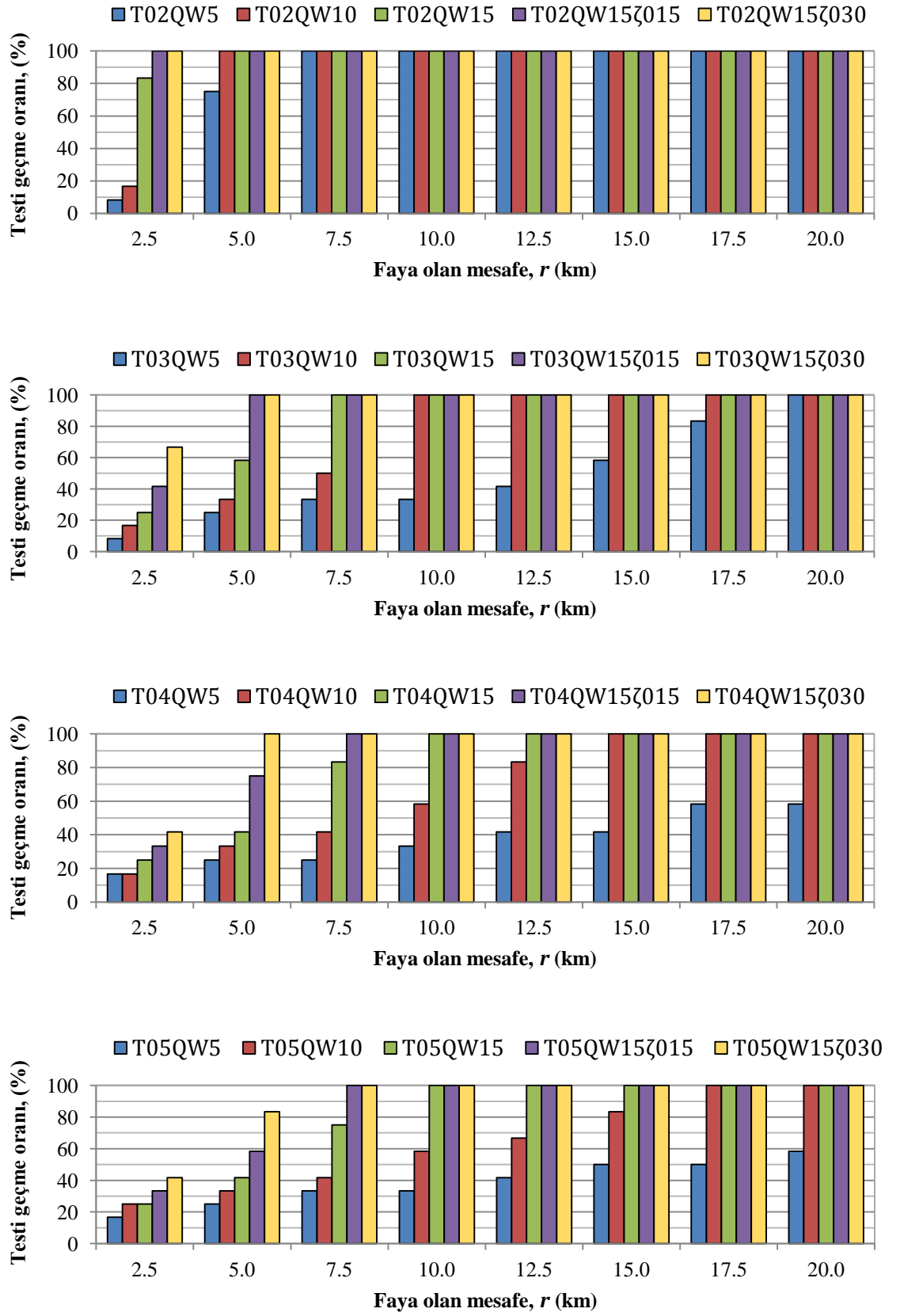
Şekil 4.16: Test 1 performans testini geçme oranları.



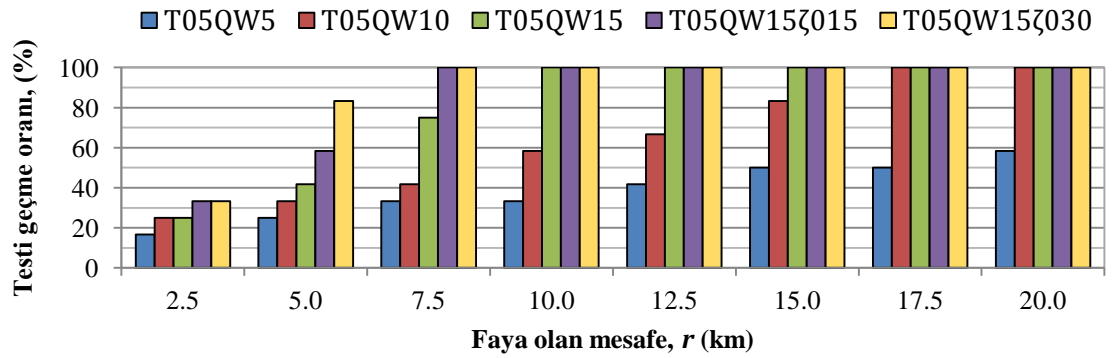
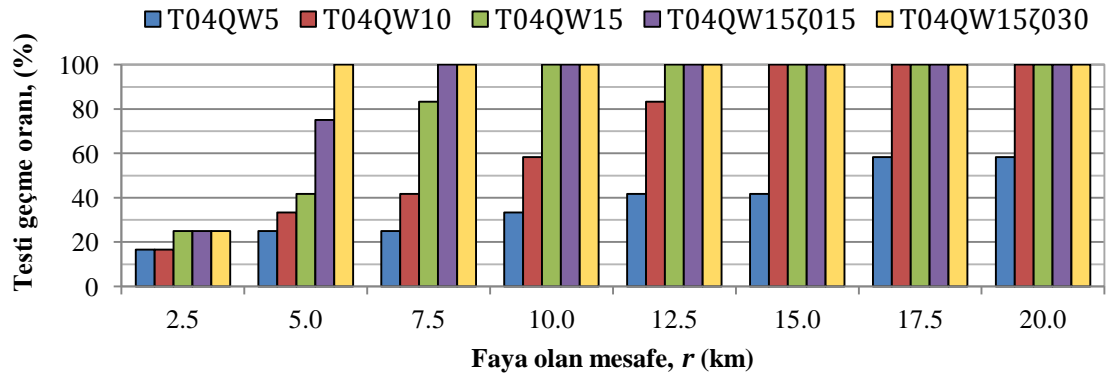
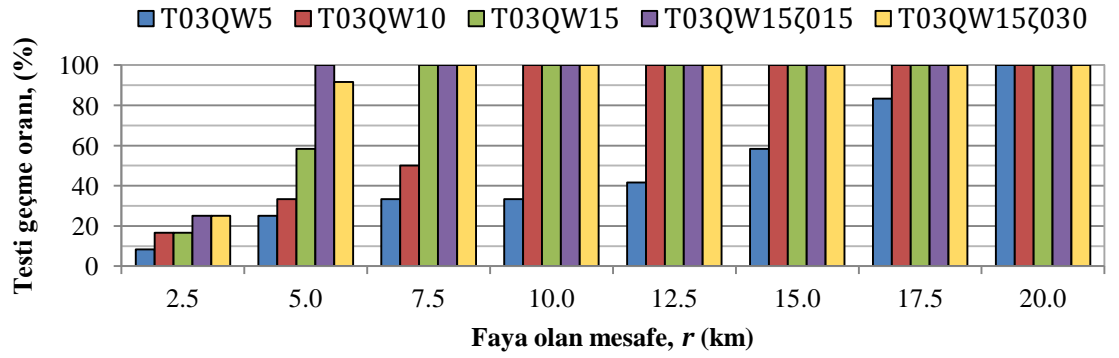
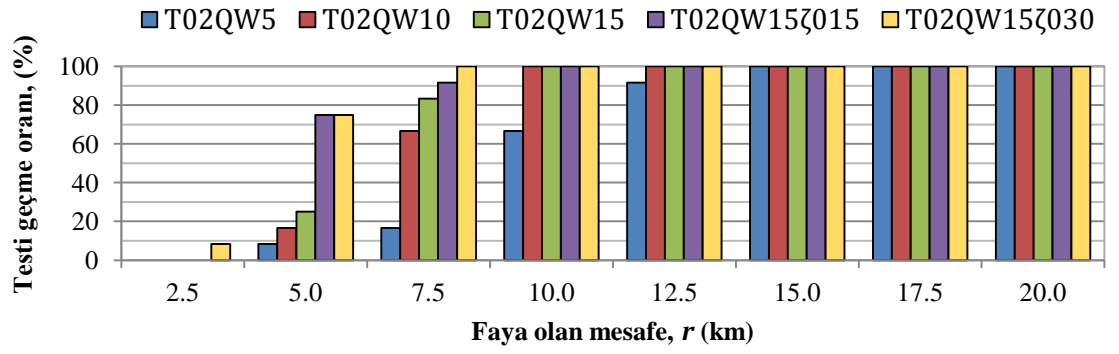
Şekil 4.17: Test 2 performans testini geçme oranları.



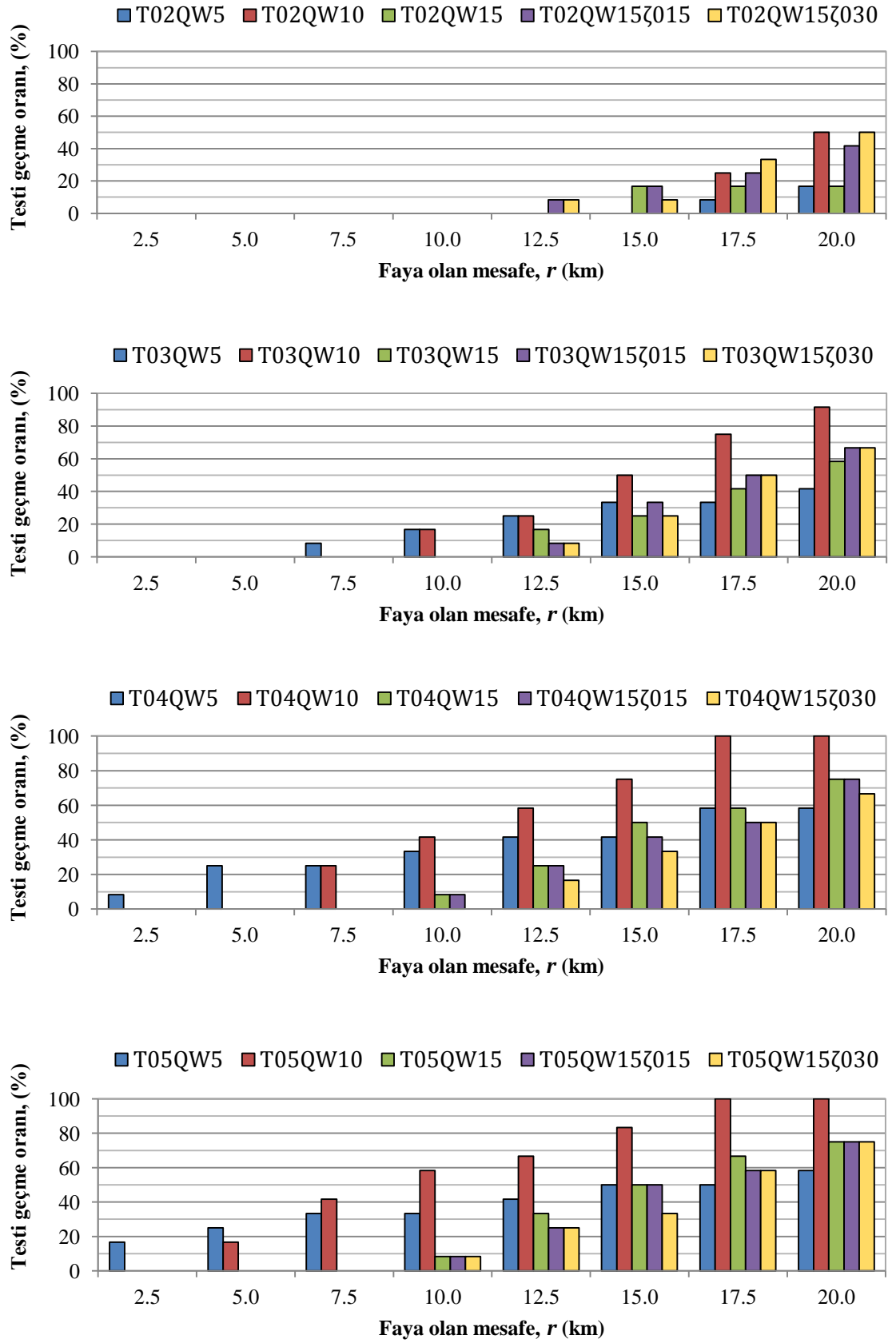
Şekil 4.18: Test 3 performans testini geçme oranları.



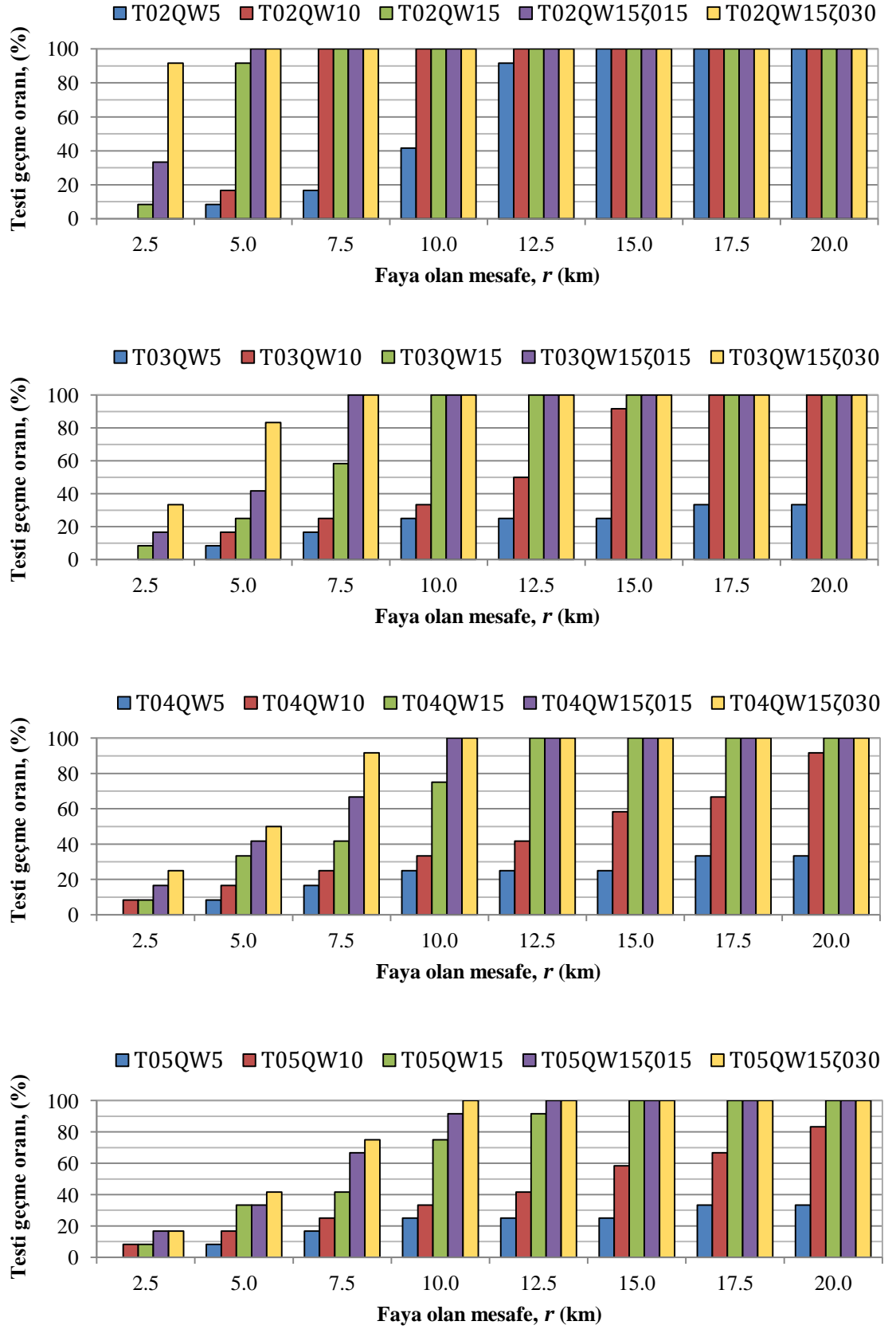
Şekil 4.19: Test 4 performans testini geçme oranları.



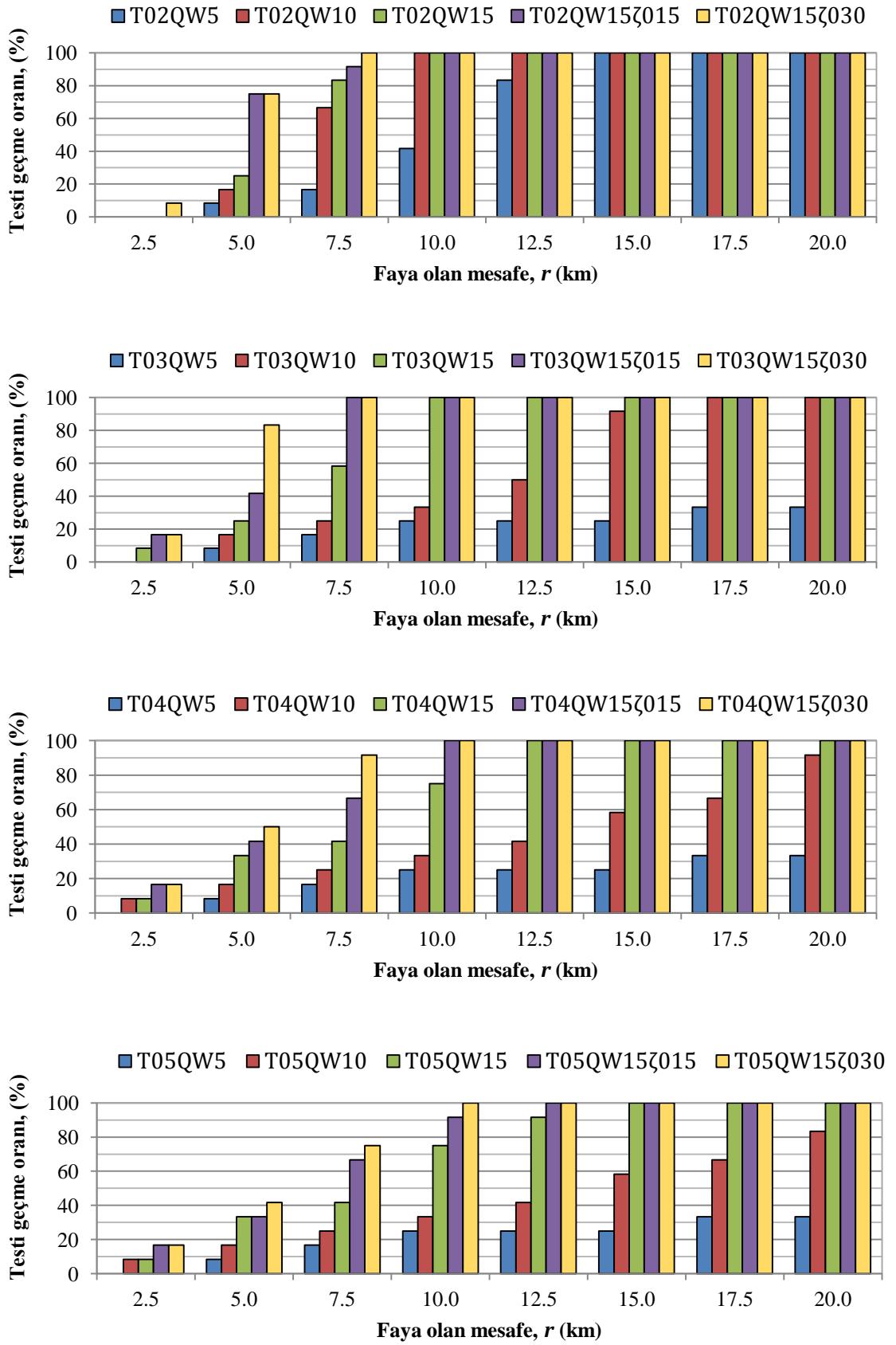
Şekil 4.20: Test 5 performans testini geçme oranları.



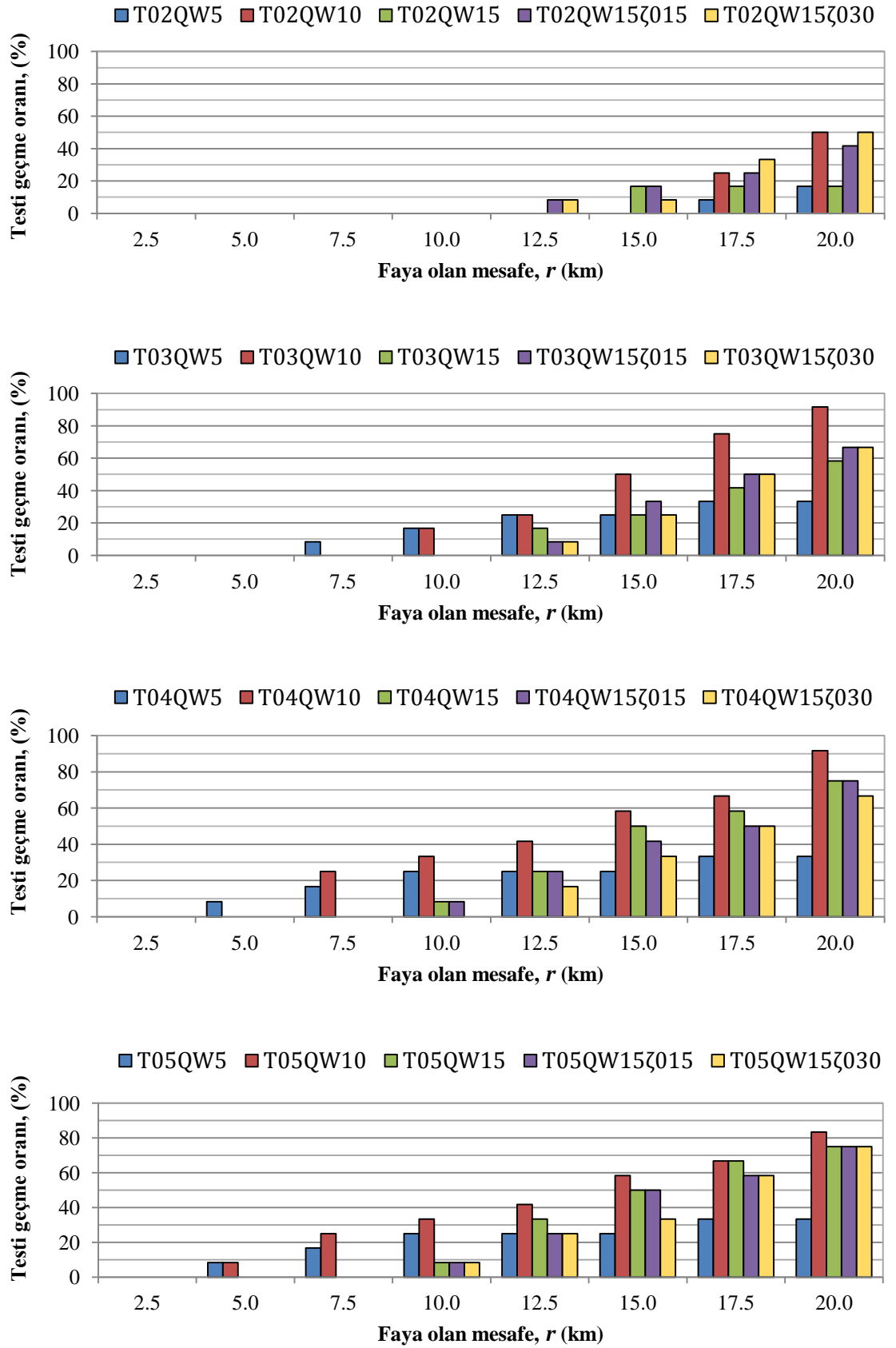
Şekil 4.21: Test 6 performans testini geçme oranları.



Şekil 4.22: Test 7 performans testini geçme oranları.



Şekil 4.23: Test 8 performans testini geçme oranları.



Şekil 4.24: Test 9 performans testini geçme oranları.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında, yeni yaklaşımlardan bir tanesi olan sismik izolasyon uygulamaları tüm dünyada ve ülkemizde artmaktadır. Sismik izolasyon sayesinde katlara gelen ivmeler azalır; ancak, yakın depremlere maruz kalan sismik izolasyonlu yapılarda büyük taban deplasmanları oluşabilir. İzolasyon periyodu ile puls periyodunun çakışması sismik performans açısından durumu daha da kötüleştirebilir. Oluşan taban deplasmanı, bırakılacak sismik boşluk, izolatör deplasman kapasitesi gibi faktörler sebebi ile sınırlı tutulmaya çalışılmaktadır ve dolayısıyla ek sönüm ihtiyacı doğmaktadır. Ek sönüm ile deplasman taleplerinde önemli bir azalış sağlanırken, kat ivmeleri ile katlar arası görelî ötelemeler artabilmekte ve katlarda bulunan titreşime hassas cihazların ivme dayanım sınırlarını aşabilmektedir. Bu sebeple, sönüm miktarının optimizasyonu son derece önemlidir. Bu tez çalışması kapsamında, izolasyon periyodu ile puls periyodunun çakışmasının yaratacağı olumsuzluklar incelenmiş ve bu duruma karşı alınabilecek ek sönüm tedbirinin etkinliği puls periyodu ile izolasyon periyodu arasındaki oran da göz önüne alınacak şekilde araştırılmıştır. Oluşturulan, farklı karakteristik özelliklere sahip izolasyon sistemlerinin farklı puls periyodu ve puls genliğine sahip sentetik yakın depremlere maruz kalması durumunda belirlenen performans testleri ile sismik başarıları tespit edilmiştir. Oluşturulan izolasyon sistemlerinin performansı ayrıca tarihi uzak depremler (Loma Prieta, San Fernando, Norridge) altında da incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1) Deprem moment büyüklüğünün artması ile artan puls periyodu ve puls genliği, pik taban deplasmanı taleplerinde ve pik en üst kat ivmelerinde, özellikle uzun izolasyon periyotlu sistemlerde önemli artışlara sebebiyet verir.
- 2) Genel olarak, izolasyon sistemi periyodu daha uzun olan sistemlerin deplasman talepleri daha fazladır. Ancak, izolasyon sistemi periyodu ile puls periyodunun çakışması halinde, kısa periyotlu sistemlerde, izolasyon periyodu puls periyodu ile çakışmayan daha uzun periyotlu sistemlere göre, daha büyük deplasman talepleri oluşabilir.

- 3) Ek sönüm kullanılmadığında, yüksek puls periyotlu depremlere maruz kalınması durumunda pik taban deplasmanı talepleri makul sınırların oldukça üstüne çıkmaktadır. Ek sönüm kullanıldığında deplasman talepleri azalmakla birlikte, uzun izolasyon periyotlu sistemler için ancak yakın deprem etkilerinin büyük ölçüde azaldığı durumlarda ($r \geq 10$ km), taban deplasmanları pratik limit değerlerini aşmamıştır. Dolayısıyla, uzun izolasyon periyotlu sistemlerin yakın depremlere maruz kalması durumunda, yüksek miktarda ek sönüm kullanılması durumunda dahi yapısal güvenlik problemleri yaşanabilir.
- 4) Yakın deprem etkileri altında pik taban deplasmanlarını pratik sınırların altında tutmak için gerekli olan yüksek sönümün ($Q/W = \%15$) pik en üst kat ivmelerini de faya yakın mesafelerde genelde azaltmasına karşın, bazı durumlarda neredeyse hiç değiştirmedeği; ayrıca faya daha uzak mesafelerde daha düşük sönümlü sistemlere ($Q/W = \%10$) göre arttırabildiği gözlenmiştir. Bu durum, sentetik depremlerin yanı sıra tarihi uzak depremler altında da aynen gözlenerek teyit edilmiştir. Benzer yorumlar, ek sönümün kullanılması durumunda da ($\zeta_0 = \%15$ veya $\%30$) geçerlidir.
- 5) Tarihi uzak depremler altında oluşan pik taban deplasmanı talep değerleri, tüm sistemler için pratik limit değerlerin oldukça altında kalmıştır. Yakın depremlerde gerçekleşebilecek büyük taban deplasmanı taleplerini düşürebilmek için arttırılan sönümün, tarihi uzak depremlere maruz kalınması halinde pik en üst kat ivmesi değerlerini arttırabildiği görülmüştür. Bu artışın hassas cihazların kullanılabilirliği açısından kritik bir önemi olabileceği gözlenmiştir.
- 6) Hassas cihazların deprem sırasındaki ve sonrasındaki kullanılabilirliği açısından kritik bir parametre olan pik en üst kat ivmesi değerlerinin azaltılmasında, genel olarak zaten yüksek sönümlü olan ($Q/W = \%15$) sistemlere eklenebilecek ek sönümün ($\zeta_0 = \%15$ veya $\%30$) kayda değer ek bir katkı sağlamadığı; hatta bazı durumlarda zarar verebileceği görülmüştür.
- 7) Taban deplasman sınırları yapısal güvenlik ve ekonomi göz önünde bulundurularak, kat ivmesi sınırları yapıda barındırılan titreşime hassas cihazların dayanabileceği ivmeler göz önünde bulundurularak belirlenir. Öte yandan, izolasyon periyodu ve

sönüm miktarı, sismik izolasyonlu sistemlerin taban deplasmanı ve kat ivmelerini farklı şekilde etkilemektedir. Ayrıca, yapıların maruz kalabilecekleri yakın mesafe depremlerin puls periyodu ve genliği değişken olabilir. Dolayısıyla, yakın mesafe depremlere maruz kalabilecek kritik işleve sahip sismik izolasyonlu yapıların tasarımları, performans esaslı olarak, üretilecek sentetik deprem kayıtları yardımıyla ve yukarıdaki tüm değişkenleri de içeren ve bu çalışmada önerilen performans testleri ile belirlenmelidir.

- 8) Hassas cihazların, deprem sırasında ve sonrasında kullanılabilirliği açısından 2.5 m/s^2 sınırı oldukça düşük olup fay hattına 10 km'den daha yakın mesafelerde sismik izolasyonlu bir yapıda sağlanmasının neredeyse imkansız olduğu ve aktif veya yarı-aktif kontrol gibi bir alternatif çözüm düşünülmesi gerektiği görülmüştür. 5 m/s^2 sınırının ise 5 km ve daha yakın mesafelerde sağlanmasının düşük oranda ve ancak uzun periyotlu ($T_0=4 \text{ s}$ ve 5 s) ve yüksek sönümlü ($Q/W=\%15$ ve $\zeta_0=\%15$) sistemlerde gerçekleştiği, bu mesafeden daha uzak mesafelerde ise genellikle izolasyon sistemi karakteristiğinden bağımsız olarak sağlandığı anlaşılmıştır. Son olarak, 10 m/s^2 sınırının oldukça rahat sağlanan bir sınır olduğu, bu tür durumlarda fay hattına yakın mesafelerde ($r \leq 7.5 \text{ km}$) taban deplasmanı sınırlarının esas belirleyici olup kat ivmelerini yüksek frekanslı bir depremde önemli ölçüde arttırmayacak kadar yüksek sönümün ($Q/W=\%15$ ve $\zeta_0=\%15$) performans testlerini geçmede önemli rol oynadığı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

AGRAWAL, A.K., HE, W.L., 2002, A closed form approximation of near fault ground motion pulses for flexible structures, *15th ASCE Proceeding of Engineering Mechanics Conference*, 3 June, Columbia University, New York.

AKYÜZ, U., 2008, *Alternatif Tasarım Yöntemi: Sismik Temel İzolasyonu*, Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 337.

ALHAN, C., ALTUN, M., 2009, Performance of non-linear base isolation systems designed according to uniform building code, *Fifth International Advanced Technologies Symposium*, pp.2079-2084, 13-15 May, Karabuk, Turkey.

ALHAN, C., GAVIN, H.P., 2004, *A parametric study of linear and non-linear passively damped seismic isolation systems for buildings*, *Engineering Structures*, 26(4): 485-497.

ALHAN, C., GÖKTAŞ, Y., 2009, Effects of near-field earthquakes on seismically isolated buildings, *WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference: Earthquake and Tsunami, CD Proceedings*, 22-24 June, Istanbul, Turkey.

ALHAN C., SÜRMEİ M., 2011, Shear building representations of seismically isolated buildings, *Bulletin Of Earthquake Engineering*, 9(5): 1643-1671.

ASCE, 2006, *ASCE/SEI 7-05: Minimum design loads for buildings and other structures*, American Society of Civil Engineers, USA.

AYALP, G., SARIKAYA, A., 2009, Seismic isolation project of antalya international airport terminal building, *WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference: Earthquake and Tsunami, CD Proceedings*, 22-24 June, Istanbul, Turkey.

BENIOFF, H., 1955, Mechanism and strain characteristics of the white wolf fault as indicated by aftershock sequence, *Earthquakes In Kern Country, California, During 1952*, California Department of Natural Resources Division of Mines, Bulletin 171: 199-202.

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

BOCA, ICBO, and SBCCI, 2006, *International Building Code*, International Code Council.

CELEP, Z., KUMBASAR, N., 2004, *Deprem Mühendisliğine Giriş*, Beta Dağıtım, İstanbul, ISBN 975-95405-2-5.

COX, K.E., ASFORD, S.A., 2002, *Characterization of large velocity pulses for laboratory testing*, PEER Report, 2002/22.

DEB, K.,S., 2004, Seismic base isolation-an overview, *Current Science*, 87:1426-1430.

DİCLELİ, M., BUDDARAM, S., 2007, Equivalent linear analysis of seismic-isolated bridges subjected to near fault ground motions with forward rupture directivity effect, *Engineering Structures*, 29:21-32.

DOKA ENDÜSTRİ LİMİTED ŞİRKETİ, 2011a, *Deprem Yalıtımı Konusundaki Hizmetlerimiz-1*, <http://dokaendustri.com.tr/index.php?sayfa=hizmetler&kat=sismik&lang=tr>, [Ziyaret Tarihi: 17 Nisan 2011].

DOKA ENDÜSTRİ LİMİTED ŞİRKETİ, 2011b , *Deprem Yalıtımı Konusundaki Hizmetlerimiz-2*, <http://dokaendustri.com.tr/index.php?sayfa=hizmetler&kat=sismik&lang=tr>, [Ziyaret Tarihi: 17 Nisan 2011].

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS, 2011a, *Example Bridge Applications*, <http://www.earthquakeprotection.com/bridges.html>, [Ziyaret Tarihi: 17 Nisan 2011].

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS, 2011b, *Example Industrial Applications*, <http://www.earthquakeprotection.com/industrial.html>, [Ziyaret Tarihi: 17 Nisan 2011].

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS, 2011c, *Example Buildings Applications*, <http://www.earthquakeprotection.com/buildings.html>, [Ziyaret Tarihi: 17 Nisan 2011].

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS, 2011d, *Example Buildings Applications*, http://www.earthquakeprotection.com/bridge_bolu_viaducts.html, [Ziyaret Tarihi: 17 Nisan 2011].

ERDİK, M., 2007, Binalarda deprem yalıtımı ve ülkemizdeki uygulamalar, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim, İstanbul.

GIBSON, N., FILIATRAULT, A., ASFORD, S.A., 2002, *Performance of beam to column bridge joints subjected to a large velocity pulse*, PEER Report, 2002/24.

GÜLKAN, P., CANBAY, E., 2008, *Deprem Nedir?*, Binalar için deprem mühendisliği temel ilkeler, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 3.

HALL, J.F., RYAN, K.L., 2000, Isolated buildings and the 1997 UBC near-source factors, *Earthquake Spectra*, Vol 16, No 2.

HALL, J.F., HEATON, T.H., HALLING, M.W., WALD, D.J., 1995, Near-source ground motion and its effects on flexible buildings, *J. Earthquake Spectra*, 11:569-605.

HALL, J.F., 1999, Discussion: the role of damping in seismic isolation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28: 1717-1720.

HE, W.L., AGRAWAL, A.K., 2008, An analytical model of ground motion pulses for the design and assessment of smart protective systems, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 134 (7), 1177-1188.

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., HALLING, M.W., 1995, Response of high-rise and base-isolated buildings in a hypothetical M_w 7.0 blind thrust earthquake, *Science*, 267:206-211.

HİŞMAN, K., 2011, *Sismik izolasyon platformlarının performanslarının sismik izolatörlerin mekanik özelliklerindeki küçük sapmalara olan duyarlılığı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.

ICBO, 1997, Uniform Building Code, Volume 2: Structural Engineering Provisions, International Conference of Building Officials, Whittier, California..

İSTANBUL SABİHA GÖKÇEN HAVALİMANI, 2011, *Sismik İzolasyon*, http://www.sabihagokcen.aero/sismik_izolasyon, [Ziyaret Tarihi: 16 Nisan 2011].

KELLY, J., 1999, The role of damping in seismic isolation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28:3-20.

KELLY, J.M., 1997, *Earthquake-resistant design with rubber*, Springe-Verlog, London, ISBN: 3-540-76131-4.

KOMODROMOS, P., 2000, *Seismic Isolation For Earthquake-Resistant Structures*, WIT Press, ISBN: 1-85312-803-1.

MAKRIS, N., 1997, Rigidity, plasticity, viscosity: can electrorheological dampers protect base isolated structures from near source ground motions?, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26:571-591.

MAKRIS, N., CHANG, S., 1998, *Effect of damping mechanisms on the response of seismically isolated structures*, PEER Report, 1998/06.

MAKRIS, N., CHANG, S., 2000, Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29:85-107.

MALHOTRA, P.K., 1999, Response of building to near-field pulse-like ground motions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28:1309-1326.

MATSAGAR, V.A., JANGID, R.S., 2004, Influence of isolator characteristic on the response of base-isolated structures, *Engineering Structures*, 26: 1735-1749.

MATLAB, 2008, The Math Works Inc., The Language of Technical Computing, Version 7.7.0 (R2008b), USA.

MAZZA, F., 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.

MENUN, C., 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].

MIZUNO, H., IIBA, M., YAMAGUCHI, N., 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., KELLY, J.M., 1999, *Design Of Seismic Isolated Structures From Theory To Practice.*” *Mechanical Characteristics And Modeling Of Isolators*, Wiley, New York, 93–121.

NAEIM, F., 2001, *Seismic design handbook*, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.

NAGARAJAIAH, S., FERRELL, K., 1999, Stability of elastomeric seismic isolation bearings, *Journal of Structural Engineering*, 125(9): 946–954.

NAGARAJAIAH, S., REINHORN, A.M., CONSTANTINOU, M.C., 1989, 3D-BASIS, Nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures, *Technical Report NCEER-89-0019*, National Center For Earthquake Engineering, State University Of New York At Buffalo.

NAGARAJAIAH, S., REINHORN, A.M., CONSTANTINOU, M.C., 1991, 3D-BASIS, Nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures, Part II. *Technical Report NCEER-91-0005*, National Center For Earthquake Engineering, State University Of New York At Buffalo.

NAGARAJAIAH, S., LI, C., REINHORN, A.M., CONSTANTINOU, M.C., 1993, 3D-BASIS-TABS, Computer program for nonlinear dynamic analysis of three dimensional base isolated structures, *Technical Report NCEER-93-0011*, National Center For Earthquake Engineering, State University Of New York At Buffalo.

ÖZGÜR, M., 2010, *Doğrusal ve doğrusal olmayan kauçuk izolasyon sistemlerinin sismik performanslarının karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.

PAN, P., ZAMFIRESCU, D., NAKASHIMA, M., NAKAYASU, N., KASHIWA, H., 2005, Base-isolation design practice in japan: introduction to the post-kobe approach, *Journal of Earthquake Engineering*, 9 (1), 147-171.

BERKELEY, <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>, Peer Strong Motion Databank [Ziyaret Tarihi: 15 Haziran 2011]

REINHORN, A., NAGARAJAIAH, S., CONSTANTINOU, M., TSOPELAS, P.C., LI, C., 1994, 3D-BASIS-TABS: Version 2.0, Computer program for nonlinear dynamic analysis of three dimensional base isolated structures, *Technical Report NCEER-94-0018*, National Center For Earthquake Engineering, State University Of New York At Buffalo.

SOMMERVILLE, P.G., 1998, Development of an improved representation of near-fault ground motions, *SMIP98 Proceedings, Seminar on Utilization of Strong-Motion Data*, Oakland, CA, September 15, California Division of Mines and Geology, Sacramento, CA, 1-20.

STEWART, P.J., CHIOU, S., BRAY, J.D., GRAVES, R.W., SOMERVILLE, P.G., ABRAHAMSON, N.A., 2001, *Ground Motion Evaluation Procedures For Performance Based Design*, PEER Report, 2001/9.

ŞENGEL, H.S., EROL, H., YAVUZ, E., 2009, *Sismik izolasyon tekniği ve kullanılışına ilişkin örnek uygulama*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22 (2).

TDY, 2007, *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındalık Ve İskan Bakanlığı 14.07.2007 Tarih 26582 Mükerrer Sayılı Resmi Gazete.

TEZCAN, S.S., CİMİLLİ, S., 2002, *Seismic base isolation*, Yüksek Öğrenim Eğitim Ve Araştırma Vakfı, Yayın No: KT 004/02, Cenkler Matbaacılık, İstanbul.

TSOPELAS, P.C., NAGARAJAIAH, S., CONSTANTINOU, M.C., REINHORN, A.M., 1991, 3D-BASIS-M, Nonlinear dynamic analysis of multiple building base isolated structures, *Technical Report NCEER-91-0014*, National Center For Earthquake Engineering, State University Of New York At Buffalo.

TSOPELAS, P.C., CONSTANTINOU, M.C., REINHORN, A.M., 1994, 3D-BASIS-ME, Computer program for nonlinear dynamic analysis of seismically isolated single and multiple structures and liquid storage tanks, *Technical Report NCEER-94-0010*, National Center For Earthquake Engineering, State University Of New York At Buffalo.

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].

XU, Z., AGRAWAL, A.K., HE, W.L., TAN, P., 2007, Performance of passive energy dissipation systems during near-field ground motion type pulses, *Engineering Structures*, 29: 224-236.

ÖZGEÇMİŞ

Seda ÖNCÜ, 1987 yılında İstanbul/Fatih'te doğdu. İlköğretimi Güneş İlköğretim okulunda tamamladı. Ortaöğretimi Orhan Cemal Fersoy Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde 2005 yılında tamamladı. Lisans öğrenimine 2005 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. Lisans öğrenimini 2009 yılında birincilikle tamamladı. 2009 yılında İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.