İSTANBUL
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAUÇUK İZOLATÖRLERİN RİJİTLEŞME ÖZELLİĞİNİN SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

İnş. Müh. Hakan KURTULUŞ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Doç.Dr. Cenk ALHAN
Ekim 2012

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç.Dr.Cenk ALHAN'a en içten dileklerimle teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışma boyunca ve de eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme, çok sevdiğim arkadaşım Fatma Özen'e ve dayım Nahit Kurtuluş'a teşekkürü borç bilirim.

Ekim, 2012 **Hakan KURTULUŞ**

Bu çalışma 09/10/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç.Dr.Cenk ALHAN
İstanbul Üniversitesi
(Danışman)

Prof.Dr.Namık Kemal ÖZTORUN
İstanbul Üniversitesi

Doç.Dr.İlknur Bozbey
İstanbul Üniversitesi

Yard.Doç.Dr.Turgay Coşgun
İstanbul Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Kubilay Kaptan
İstanbul Aydın Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **i**

İÇİNDEKİLER ..... **ii**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**

TABLO LİSTESİ ..... **v**

SEMBOL LİSTESİ ..... **vi**

ÖZET ..... **viii**

SUMMARY ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. GENEL KISIMLAR **5**

2.1. SİSMİK İZOLASYON **5**

2.2. YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAUÇUK MESNETLERİN RİJİTLEŞMESİ **10**

2.3. SENTETİK DEPREMLERİN ÜRETİLMESİ **18**

2.4. DİNAMİK ANALİZLER İÇİN 3DBASISME PROGRAMI **19**

3. MALZEME VE YÖNTEM **23**

3.1. SİSMİK İZOLASYONLU BİNA MODELİ 23
3.2. ANALİZLERDE KULLANILAN DEPREM KAYITLARI 31
3.2.1. Tarihi Deprem Kayıtları 31
3.2.2. Sentetik Deprem Kayıtları 33
4. BULGULAR 35
4.1. YAKIN DEPREM ETKİSİ 35
4.2. DUYARLILIK ANALİZLERİ 40
4.3. SİSMİK PERFORMANSIN MODELLEMEYE BAĞLI DEĞİŞMİ 46
4.3.1. Tarihi Depremler İçin Analizler 46
4.3.2. Sentetik Depremler İçin Analizler 52
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 55
KAYNAKLAR 58
EKLER 63
ÖZGEÇMİŞ 70

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : 23 Ekim 2011 Van depreminden birkaç fotoğraf **2**
Şekil 2.1 : Sabiha Gökçen Havalimanı sismik izolasyon uygulaması **7**
Şekil 2.2 : Rijitleşme özelliği olmayan modele ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiği (Tsopelas ve diğ., 1994'den değiştirilerek alınmıştır) **11**
Şekil 2.3 : Rijitleşme özelliği olan modele ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiği (Tsopelas ve diğ., 1994'den değiştirilerek alınmıştır) **11**
Şekil 2.4 : Rijitleşme özelliği olan modele ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiğinin elde edilişi (Tsopelas ve diğ., 1994'den değiştirilerek alınmıştır **15**
Şekil 2.5 : Rijitleşen yay modeli **16**
Şekil 3.1 : Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün kayma-şekil değiştirme ilişkisi ... **28**
Şekil 3.2 : Tezde kullanılan model (SAP2000 taban ankastre durum) **24**
Şekil 3.3 : Tezde kullanılan modele ait plan görünüşü (SAP2000 taban ankastre durum)…… **24**
Şekil 3.4 : Tarihi deprem kayıtlarına ait %10 sönümlü ivme spektrumları **32**
Şekil 3.5 : Tarihi deprem kayıtlarına ait %10 sönümlü deplasman spektrumları .. **33**
Şekil 3.6 : Sentetik deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafiği **34**
Şekil 4.1 : Bir izolatöre ait kuvvet-yer değiştirme grafiği: (a) ELC180 (b) SYL360 ..... **36**
Şekil 4.2 : Bir izolatöre ait taban yer değiştirme-zaman grafiği: (a) ELC180 (b) SYL360 ..... **38**
Şekil 4.3 : Bir izolatöre ait taban ivme-zaman grafiği: (a) ELC180 (b) SYL360 ..... **39**
Şekil 4.4 : LGP000 depremi ve T_D=3 s için duyarlılık analizleri (λ=1.25,1.50,1.75,2.00) **42**
Şekil 4.5 : LGP000 depremi ve T_D=3 s için duyarlılık analizleri (η =1.25,1.50,1.75,2.00) **43**
Şekil 4.6 : LGP000 depremi ve T_D=4 s için duyarlılık analizleri (λ=1.25,1.50,1.75,2.00) **44**
Şekil 4.7 : LGP000 depremi ve T_D=4 s için duyarlılık analizleri (η =1.25,1.50,1.75,2.00) **45**
Şekil 4.8 : LGP000, SYL360, RRS228 ve TCU068 depremleri için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (T_D=3 s) **48**
Şekil 4.9 : LGP000, SYL360, RRS228 ve TCU068 depremleri için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (T_D=4 s) **49**
Şekil 4.10 : Tüm modeller için oransal değerlerin katlar (n) boyunca dağılımı: (a) a_s/a_{ns}; (b) Δ_s/Δ_{ns}; (c) d_s/d_{ns} **51**
Şekil 4.11 : Sentetik depremler için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (T_D=3 s) **53**
Şekil 4.12 : Sentetik depremler için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (T_D=4 s) **54**

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 : Tezde kullanılan modelin SAP2000'den elde edilen özdeğerleri ... **24**
Tablo 3.2a : Tezde kullanılan modelin SAP2000'den elde edilen özvektörleri (Tablo 1/3) **25**
Tablo 3.2b : Tezde kullanılan modelin SAP2000'den elde edilen özvektörleri (Tablo 2/3) **25**
Tablo 3.2c : Tezde kullanılan modelin SAP2000'den elde edilen özvektörleri (Tablo 3/3) **26**
Tablo 3.2d : Tablo 3.2 a-c'de sunulan özdeğerlerin programa giriliş şekli **27**
Tablo 3.3 : 3DBASISME'de kullanılan modellerin programa giriş verileri **30**
Tablo 3.4 : Deprem kayıtlarına ait özellikler **31**
Tablo 3.5 : $\zeta_p = \%20$ kabulü ile üretilen sentetik depremlere ait değerler **34**
Tablo 4.1 : Elcentro ve Sylmar depremlerine ait değerler **37**
Tablo 5.1 : Rijitleşme etkisini göz önüne almak için kullanılacak katsayılar **57**

SEMBOL LİSTESİ

Q : karakteristik kuvvet.
Y : akma deplasmanı.
F^y : akma kuvveti.
K_{in} : ilk rijitlik.
K_1 : ikinci rijitlik.
K_2 : üçüncü rijitlik.
D_1 : ilk sınır deplasmanı.
D_2 : ikinci sınır deplasmanı.
α : akma sonrası rijtiliğin akma öncesi rijitliğe oranı.
U_x : x yönündeki deplasman.
U_y : y yönündeki deplasman.
$\dot{U}_x$: x yönündeki hız.
$\dot{U}_y$: y yönündeki hız.
F_x : x yönünde oluşan kuvvet.
F_y : y yönünde oluşan kuvvet.
T : izolatör kalınlığı.
η : izolatör tipine bağlı değişken.
η_2 : izolatör tipine bağlı değişken.
β : eşdeğer viskoz sönüm oranı.
U : izolatör deplasmanı.
A : izolatör alanı.
D : izolatör çapı.
G : kayma modulü.
T_D : izolasyon periyodu.
W : yapının toplam ağırlığı (izolasyon katı dahil).
g : yerçekimi ivmesi.
ζ_p : deprem pulsu sönüm faktörü.
s : hız pulsunun başlangıç genliği.
ω_p : sinüzoidin frekansı.
t : süre (saniye).
$\dot{u}$: deprem hızı.
$\ddot{u}$: deprem ivmesi.
v_p : yer hareketi hızı.
T_p : puls periyodu.
t_p : pik yer hızının oluştuğu zaman (saniye).
M_w : depremin büyüklüğü.
r : faya olan uzaklık (km).
M : yapının toplam kütlesi(izolasyon katı dahil).
ζ : üst yapı sönüm oranı.
DX : x yönü etrafındaki modal deplasman.

DY	: y yönü etrafındaki modal deplasman.
ROT	: z ekseni etrafındaki modal deplasman.
a	: pik kat ivmesi.
Δ	: pik göreli kat ötelemesi.
d	: izolasyon sistemi pik deplasmanı.
FY	: akma kuvveti.
YD	: akma deplasmanı.
γ_a	: ivme büyütme katsayısı
γ_Δ	: göreli kat ötelemesi büyütme katsayısı
γ_d	: izolasyon sistemi deplasmanı büyütme katsayısı

ÖZET

YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAUÇUK İZOLATÖRLERİN RİJİTLEŞME ÖZELLİĞİNİN SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

Sismik izolasyonlu yapıların taban deplasmanı, göreli kat ötelemeleri ve kat ivmelerini içeren deprem davranışlarının doğru olarak belirlenmesi, yapısal güvenlik ve yapıda mevcut bulunan içeriğin korunması bakımından önem arz etmektedir. Öte yandan, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerden oluşan izolasyon sistemlerine sahip sismik izolasyonlu binaların hesaplanan deprem davranışları, izolatörlerin analitik modellemesiyle doğrudan ilişkilidir. Pratikte yüksek sönümlü kauçuk izolatörler çoğunlukla ikili doğrusal histeretik modeller ile tanımlanmaktadır. Ancak, izolatör deformasyonlarının belirli sınırları aşması durumunda, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlere özgü bir davranış olan yanal rijitlikte artış görülmektedir. Bu rijitleşme davranışı, özellikle büyük depremlerde ortaya çıkması muhtemel büyük izolasyon sistemi deplasmanlarının oluşması durumunda önem kazanmakta ve bu tür durumlarda yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin rijitleşme davranışını da göz önüne alan ileri analitik modellerin kullanılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin modellemesinde rijitleşme davranışının göz önüne alınmasının, bu tür izolatörlerden oluşan izolasyon sistemlerine sahip sismik izolasyonlu yapıların farklı karakteristikteki depremler altındaki davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, rijitleşme davranışını içeren ve içermeyen farklı analitik modeller kullanılarak oluşturulmuş, farklı izolasyon sistemlerine sahip örnek bir sismik izolasyonlu bina farklı tarihi ve sentetik depremlere maruz bırakılmıştır. Yapıların davranış farklılıklarını ortaya koyabilmek için, kat ivmeleri, göreli kat ötelemeleri ve taban deplasmanları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu tez çalışması sonucunda yakın deprem özelliği gösteren büyük depremler altında rijitleşmeyi göz önüne alan modellemenin sismik izolasyonlu binaların sismik performans hesapları açısından önemi ortaya konmuştur.

SUMMARY

INFLUENCE OF STIFFENING CHARACTERISTICS OF HIGH DAMPING RUBBER BEARINGS ON THE EARTHQUAKE BEHAVIOR OF SEISMICALLY ISOLATED BUILDINGS

Ground displacement of structures with seismic insulation, relative floor shifts and the correct determination of earthquake behaviors containing floor accelerations are of importance for the protection of the structural security and the content existing in the structure. On the other side, the earthquake behavior, calculated for buildings with seismic insulation having insulation systems consisting of highly damped rubber insulators, is directly related to the analytical modelling of insulators. In practice, highly damped rubber insulators are mostly defined with bilinear hysteretic models. However, when insulator deformations exceed certain limits, an increase is seen in lateral rigidity, which is a specific behavior of highly damped rubber insulators. This behavior of rigidity becomes important during the creation of major insulation system displacements, which may arise with especially large magnitude earthquakes. And in such cases, advanced analytical models, considering also the behavior of rigidity of highly damped rubber insulators, have to be used. In this thesis study, investigated have been the effects of taking into consideration the behavior of rigidity in the modelling of highly damped rubber insulators on the behavior of structures with seismic insulations having insulations systems consisting of such insulators under earthquakes with different characteristics. For this purpose, a building structured by using different analytical models containing and non-containing behavior of rigidity, with a sample seismic insulation consisting of different insulation systems has been exposed to different historical and synthetic earthquakes. In order to reveal the discrepancy of behavior of the structures, floor accelerations, the relative floor shifts and ground displacements have been investigated comparatively. Results of this thesis study have revealed the importance in terms of seismic performance calculations of buildings with seismic insulation with reference to the modelling considering rigidity under large magnitude earthquakes with near earthquake feature.

1. GİRİŞ

Ülkemiz 1999 Marmara depremine kadar bir çok depremle karşı karşıya kalmıştır. Ne acıdır ki sonraki depremler için önlemler arttırılması gerekirken, pratikte önlemler ve denetim yeterli seviyeye ulaşmamıştır. Örneğin 23 Ekim 2011'de meydana gelen M_w=7.0 büyüklüğündeki Van depreminde 644 can kaybı ve önemli ölçüde maddi hasar meydana gelmiştir. Van depremi her yönüyle ilginç bir depremdir. Ülkemizde hiçbir depremde çok kısa bir zaman aralığında artçı deprem değerleri bu kadar büyük ve çok sayıda olmamıştır. İlk ay içinde, bölgede her gün ortalama olarak 180 adet artçı deprem meydana gelmekteydi. Kalitesiz yapı malzemesi, deprem yönetmeliğine uymayan yapılar ve denetimsizlik bölgedeki hasarın en önemli nedenidir (AFAD, 2011). Her depremde ülke ekonomisi büyük zarar görmekte ve toplumsal çöküntü meydana gelmektedir. 1999 Marmara depreminden sonra güncellenen Türk Deprem Yönetmeliği (TDY, 2007) sayesinde deprem zararlarının azaltılmasına yönelik kararlı adımlar atılmaya başlanmıştır ve deprem bilinci topluma aktarılmaya çalışılmaktadır (Türkiye Deprem Vakfı). Türkiye Deprem Vakfı'nin "MODSEA" adını verdikleri Mobil Deprem Simülasyon Eğitim Aracı ve "Risk Alma, Önlem Al" açık grup seminerleri bu konuda atılmış birtakım adımlardır. Modsea eğitimlerinde amaç; ev, işyeri ve sınıf gibi mekanlarda, depremin eşya ve insanlar üzerindeki etkilerini göstermek, depremin etkilerini en aza indirmek için yapılması gerekenler hakkında görsel ve uygulamalı eğitimlerle toplumda depremden korunma kültürünün oluşturulmasına, öğrencilerin eğitimine katkı sağlamaktır. Diğer taraftan, deprem sırasında yapılması ve yapılmaması gerekenler konusunda bilgilenerek depremi en az kayıpla ve en az panikle atlatmanın uygulama tatbikatları yapılmaktadır. "Risk alma, önlem al" seminerlerinde ise amaç; afette karşı karşıya bulunulan tehlike ve riskler konusunda bireysel afet bilincini geliştirmek, pek çok küçük adım atarak alınan önlemlerle afet riskinin azaltılabileceği bilgisini edinmek, afete hazırlıkta her bireyin kendini bütünün bir parçası olarak görmesine yardımcı olmak. Aşağıda İSUDAK (İstanbul Üniversitesi Dağcılık Kulübü) Van depremi inceleme heyetinin arşivinden alınan birkaç fotoğraf bulunmaktadır.



Şekil 1.1: 23 Ekim 2011 Van Depreminden Birkaç Fotoğraf (İSUDAK Van Depremi İnceleme Heyeti arşivinden alınmıştır)

Son deprem yönetmeliğinde de belirtildiği üzere (TDY, 2007) depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise, can güvenliğinin sağlanması amacıyla kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır. Bahsi geçen performans düzeyinden çok daha üst düzeyde performans ortaya koyan sismik izolasyon sayesinde yapıya aktarılan deprem yükleri azaltılarak hem yapı hem de içindekiler depreme karşı en iyi şekilde korunabilir. Sismik izolasyonlu yapıların deprem performanslarının, taban ankastre yapılara göre çok daha yüksek olduğu; sismik izolasyon uygulamasının hem yapısal bütünlüğü hem de yapılarda mevcut bulunan hassas elektronik cihazların veya dolap, kitaplık ve benzeri eşyaların korunmasını sağladığı bilinmektedir (Komodoromos, 2000).

Sismik izolasyonlu yapıların taban deplasmanı, göreli kat ötelemeleri ve kat ivmelerini içeren deprem davranışlarının doğru olarak belirlenmesi yapısal güvenlik ve yapıda mevcut bulunan içeriğin korunması bakımından önemlidir. Öte yandan hem pratikte hem de literatürde bulunan araştırma çalışmalarının birkaçı hariç olmak üzere (Tsopelas ve diğ., 1994, Hall ve diğ., 2000) büyük çoğunluğunda (Fragiacoma ve diğ., 2003, Nagarajaiah ve diğ., 1991, Alhan ve Şahin, 2011) izolatörler ikili doğrusal histeretik modeller ile tanımlanmaktadır. Ancak, izolatör deformasyonlarının belirli sınırları aşması durumunda, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlere özgü bir davranış olan yanal rijitlikte artış görülmektedir (Tsopelas ve diğ., 1994). Bu rijitleşme davranışı, özellikle büyük depremlerde ortaya çıkması muhtemel büyük izolasyon sistemi deplasmanlarının oluşması durumunda önem kazanmakta ve bu tür durumlarda yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin rijitleşme davranışını da göz önüne alan ileri analitik modellerin kullanılması gerekmektedir. Son yıllarda bu tür ileri analitik model önerileri farklı araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (Hwang ve diğ., 2002; Tsai ve diğ., 2003; Kikuchi ve Aiken, 1997). Tsopelas ve diğerleri de (1994) yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin bu davranışını etkin bir şekilde yakalayan bir matematiksel modeli ortaya koymuş ve nümerik modeli de 3DBASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programına entegre ederek bir üst versiyon olan 3DBASISME programını oluşturmuşlar ve bu tür izolatörlerden oluşan sismik izolasyonlu binaların doğrusal olmayan zaman-tanım analizlerinin yapılabilmesine imkan sağlamışlardır. Burada önemle belirtmek gerekir ki,

yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerden oluşan sismik izolasyonlu yapıların deprem analizlerinde rijitleşmenin dikkate alınmadığı bilineer modellerin kullanılması durumunda elde edilen yapısal tepki değerleri gerçek durumdan çok farklı olabilir.

Bu tez çalışmasının amacı, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin modellemesinde rijitleşme davranışının göz önüne alınmasının, bu tür izolatörlerden oluşan izolasyon sistemlerine sahip sismik izolasyonlu yapıların farklı karakteristikteki depremler altındaki davranışlarına etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, rijitleşme davranışını içeren ve içermeyen farklı analitik modeller kullanılarak oluşturulmuş, farklı izolasyon sistemlerine sahip örnek bir sismik izolasyonlu bina farklı tarihi ve sentetik depremlere maruz bırakılmıştır. Yapıların davranış farklılıklarını ortaya koyabilmek için, kat ivmeleri, göreli kat ötelemeleri ve taban deplasmanları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Tezde öncelikle sismik izolasyonun amacı ve kullanım alanları hakkında bilgiler verilmiş, dünyada ve Türkiye'de bu alanda son yıllarda yapılan bazı teorik çalışmalar özetlenmiştir. Daha sonra yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin rijitleşme özelliğinden bahsedilmiş ve bu tür izolatörlerin matematik modellemesi anlatılmıştır. Sismik izolasyonlu yapıların lineer olmayan zaman-tanım alanı analizlerinin yapılabilmesi için 3DBASIS-ME (Tsopelas ve diğ., 1994) programına değinilmiş ve verilerin bu programa giriliş sırası detaylı olarak anlatılmıştır. Devamında, tezde kullanılan prototip bina ve bu binanın yapısal modellenmesi hakkında bilgiler verilmiştir. Bu model için SAP2000 (SAP2000N, 2009)'den elde edilen ve 3DBASIS-ME programına girilmesi gereken özdeğerler ve özvektörler de tez kapsamında sunulmuştur. Yakın deprem etkisinden bahsedilerek, yakın deprem özelliği olan ve olmayan depremler altında analizler yapılmış ve yakın deprem özelliği olan depremlerde rijitleşme başlangıç deplasmanının aşılabileceği; dolayısıyla rijitleşme meydana gelebileceği gösterilmiştir. Bir sonraki aşamada izolasyon sistemi parametrelerinden hangisinin daha etkin olduğu duyarlılık analizleri ile incelenmiştir. Son olarak farklı tarihi ve üretilen sentetik depremler altında yapısal cevap parametrelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmalar rijitleşen durumun rijitleşmeyen duruma oranı şeklinde irdelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. SİSMİK İZOLASYON

Depremlerin hakim periyotları yapıların doğal periyotlarıyla çakıştığı zaman yapısal tepki oldukça büyük seviyelere ulaşabilmektedir. Bu durumda, son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşan sismik izolasyon tekniğinin kullanılması ve bu sayede yapı doğal periyodunun uzatılması suretiyle yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin azaltılması alınabilecek etkili önlemlerden bir tanesi olarak önümüze çıkmaktadır. Sismik izolasyon temel ile kolonlar arasına veya bazı durumlarda daha üst kısımlarda iki kolon arasına konulan yalıtım cihazları (izolatörler) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler, yüksek sönümlü kauçuk izolatörler ve sürtünmeli izolatörler en yaygın olarak kullanılan cihazlardır. İzolatörlerde bulunan sönüme ek olarak bazı durumlarda sönümü arttırmak amacıyla ek sönümleyici cihazlar (örn: viskoz sönümleyici) kullanılabilmektedir. Sismik izolasyonu konvansiyonel depreme dayanıklı yapı tasarımından ayıran başlıca özellik, aynı anda hem katlar arası göreli ötelemeri hem de kat ivmelerini azaltmaktır. Bu sayede hem yapısal bütünlük dolayısıyla yapı depreme karşı korunmakta hem de yapının içerisinde bulunan eşyalar korunabilmektedir; yapıda bulunan insanların konforu üst seviyede sağlanabilmektedir. Sismik izolasyon felsefesini ve tekniğini kapsamlı bir şekilde anlatan pek çok kitap literatürde mevcuttur (Tezcan ve Cimilli, 2002; Kelly, 1997; Naeim ve Kelly, 1999; Komodromos, 2000; Skinner ve diğ., 1993; Lindeburg ve diğ., 2011; Müller, 2011).

Sismik izolasyonun ilk uygulama fikrinin ortaya atıldığı tarih günümüzden yaklaşık 120 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Bu konu ile ilgili ilk çalışmalar Tokyo Üniversitesi Öğretim Üyesi Dr. John Milne tarafından gerçekleştirilmiştir. Dr. Milne, hem deprem hem de rüzgar yükleri altında yüksek performans gösterebilecek bir yapı tasarımı ortaya koyabilmek için demir bilyelerden oluşan bir izolasyon sistemi tasarlamıştır (Tezcan ve Cimilli, 2002). Japonya'daki ilk modern uygulama ise 1980'lerin başına denk gelmektedir. İlk tamamlanan bina 1983 yılında olmakla birlikte 1985-1994 yılları arasında Japonya'daki ekonomik durumun iyileşmesi ile birlikte, yapılan sismik izolasyonlu bina sayısı 1 yılda 10 civarına ulaşmıştır. 1995 Kobe depremi sonrası ise sismik izolasyonlu binaların inşaası yıllık 150 proje seviyesine gelmiştir ve bu

rakamlarla Japonya dünyadaki sismik izolasyonlu bina yapımında lider konuma ulaşmıştır (Nakashima ve diğ., 2004).

Japonya'da inşa edilmiş sismik izolasyonlu yapılara güzel bir örnek "West Postal Computer Center" binasıdır. Toplam 47000 m^2 alana sahip, 6 katlı betonarme olarak inşa edilmiş olan bina 54 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve 66 adet doğal kauçuk izolatöre sahiptir. Bu bina 1995 Kobe depremini hiç hasarsız atlatmıştır. Ölçülen pik yer ivmesi birbirine dik x ve y yönlerinde sırasıyla 0.3g ve 0.26g iken buna karşılık gelen çatı ivmeleri 0.10g ve 0.07g olmuştur (Komodromos, 2000).

Amerika'daki ilk taban izolasyonlu bina "Foothill Communities Law and Justice Center (FCLJC)''dir ve inşaası 1985 yılında tamamlanmıştır. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet kullanılarak inşa edilen ilk bina olan bu yapıda toplam 98 adet yüksek sönümlü kauçuk mesnet vardır. San Andreas fayına oldukça yakın bir mesafede (21 km uzaklıkta) inşa edilmiştir. 4 katlı yapı toplam 15794 m^2 alana sahiptir. Binanın izolasyon seviyesindeki maksimum yatay deplasman kapasitesi 380 mm'dir (Urgu, 2006). 1990'da meydana gelen ve Rihter ölçeğine göre 5.5 büyüklüğüne sahip olan Upland depremine maruz kalan yapı depremi hiç hasarsız atlatmıştır (Komodromos, 2000).

Sismik izolasyonun ülkemizdeki ilk uygulaması Tarsus-Adana-Gaziantep otoyolunda bulunan Atatük Viyadüğü'nde gerçekleştirilmiştir. Sonrasında Bolu Viyadüğü ve Aliağa sıvı doğal gaz depolarında da kullanılmıştır. Yakın dönemdeki uygulama örnekleri arasında Kocaeli Üniversitesi Hastanesi, Tarabya Oteli güçlendirilmesi, Ankara Büyükşehir Belediyesi Ego Genel Müdürlüğü Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi, Atatürk Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı (Şekil 2.1) ve Antalya Havalimanı ile Erzurum Devlet Hastanesi bulunmaktadır. Türkiye'nin en büyük sismik izolasyon projesi ise Antalya Havalimanı Uluslar Arası Dış Hatlar Terminali'nin sismik izolasyon ve deprem güçlendirme projesidir. 50000 m^2 alana sahip terminal binasında 411 adet kolon kesilerek kurşun çekirdekli izolatörler yerleştirilmiştir (Şengel ve diğ, 2009).



Şekil 2.1: Sabiha Gökçen Havalimanı sismik izolasyon uygulaması.

Antalya Havalimanı projesinin detayları Yılmaz ve diğ. (2006) tarafından sunulmuştur. Erzurum Devlet Hastanesi'ne ait sismik izolasyon uygulaması ise bir tez çalışma kapsamında Yavuz (2008) tarafından ele alınmıştır.

Sismik izolasyon ile ilgili araştırma çalışmaları hem Türkiye'de hem de dünyanın çeşitli ülkelerindeki üniversitelerde giderek artan bir hızla devam etmektedir. Literatürde bulunan ve özellikle son on yıla ait çalışmalardan bazıları burada özetlenmektedir.

Lee ve diğ., (2001) San Francisco'da bulunan 1940'larda inşa edilmiş sünek olmayan betonarme bir yapının sismik izolasyon sayesinde nasıl internet servisi sağlayan ileri teknoloji işlemlerinin yapıldığı bir bina haline dönüştürüldüğünü anlatmıştır.

Asher ve diğ., (2001) California'da bulunan ve fay hattına çok yakın (3 km) mesafede bulunan bir sağlık merkezinin (Arrowhead Regional Medical Center) tasarımını sunmuştur.

Wu ve diğ., (2002) beş katlı ve kauçuk izolatörlerle izole edilmiş bir sismik izolasyonlu model yapının sarsma tablası deneyleri ile sismik karakteristiğini ortaya koymuştur. Kat ivmelerinin kullanılan tüm deprem kayıtları altında azaldığını göstermişlerdir. Nümerik analizler ile deney sonuçlarının örtüştüğü de ispatlanmıştır.

Fragiacomo ve diğ., (2003) ikili lineer histeretik izolasyon sistemlerinin tasarımını özetlemiştir.

Midorikawa ve diğ., (2004) Ekim 2000'de Japonya deprem yönetmeliğine giren ve sismik izolasyonlu binaların sismik performanslarının değerlendirilmesi ile ilgili kuralları ortaya koymuştur.

Alhan ve diğ., (2005) sismik izolasyonun data merkezleri, hastaneler ve hava trafik kontrol merkezleri gibi kritik yapılarda bulunan hassas cihazların korunmasındaki güvenilirliğini değerlendirmişler ve Monte Carlo simülasyon tekniğinin kullanıldığı bu olasılıksal çalışma ile güvenilirliğin sismik izolasyon sayesinde ciddi bir şekilde arttığını ortaya koymuşlardır.

Tsai ve diğ., (2006) sismik izolasyonlu yapılardaki yatay deprem yüklerinin bina yüksekliği boyunca dağılımını yüksek mod etkilerini de göz önüne alarak incelemişlerdir.

Jangid ve diğ., (2007) yakın fay etkileri altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerden oluşan izolasyon sistemlerinin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir.

Ucak ve diğ., (2008) zemin yapı etkileşiminin sismik izolasyonlu köprülere olan etkisini araştırmıştır.

Sismik izolasyonlu binaların doğrusal statik analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan yatay deprem yükü dağılımları Cardone ve diğ., (2009) tarafından önerilmiştir.

Sismik izolasyonda kullanılan metodlar ve araçlarla ilgili yeni gelişmeler Tsopelas ve diğ., (2010) tarafından sunulmuştur.

Sismik izolasyonlu binalarda üst yapı esnekliğini de göz önüne alan bir araştırma çalışmasında Alhan ve diğ., (2011) kat ivmelerinin dağılımını eşdeğer doğrusal modelleme ve üst yapı sönümünün olduğu durumlar için incelemiştir.

Sismik izolasyonlu binaların modellemesinde tam detaylı sonlu elemanlar modeli yerine kayma çerçevesi modelinin kullanılmasının sonuçlardaki hassasiyeti ne kadar etkileyeceği Alhan ve diğ., (2011) tarafından tartışılmıştır.

Sismik izolasyon ile ilgili olarak Türkiye'deki tez çalışmaları da özellikle son on yılda büyük bir ivme kazanmıştır (Şahin, 2008; Erişgen, 2010; Özgür, 2010; Hışman, 2011; Öncü, 2011; Urgu, 2006; Tolay, 2006; Yücesoy, 2005; Yavuz, 2008).

2.2. YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAUÇUK MESNETLERİN RİJİTLEŞMESİ

Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler akma deplasmanlarına kadar büyük bir ilk rijitliğe ve akma deplasmanını aştıktan sonra bu ilk rijitliğin tipik olarak %10 u kadar olan bir ikinci rijitliğe sahiptir. İzolator tipine bağlı olarak belirli bir deplasmanı aşan durumlarda rijitleşme (pekleşme) oluşarak ikinci rijitlikten daha büyük üçüncü bir rijitlik ortaya çıkmaktadır. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerdeki bu rijitleşme, modellemede göz önüne alınabileceği gibi ihmal edilerek kuvvet-deplasman ilişkisi ikili doğrusal olarak da dikkate alınabilir.

3DBASIS program serisinin ilki olan 3DBASIS'de sadece rijitleşme özelliği olmayan ikili doğrusal modelleme imkanı bulunmaktayken, daha sonra geliştirilen versiyonu olan 3DBASISME'de yukarıda bahsedilen model tipine ek olarak, büyük deplasmanlarda ortaya çıkan rijitleşme özelliğinin de rijitleşen bir yay sayesinde dikkate alınabildiği modelleme imkanı sunulmuştur.

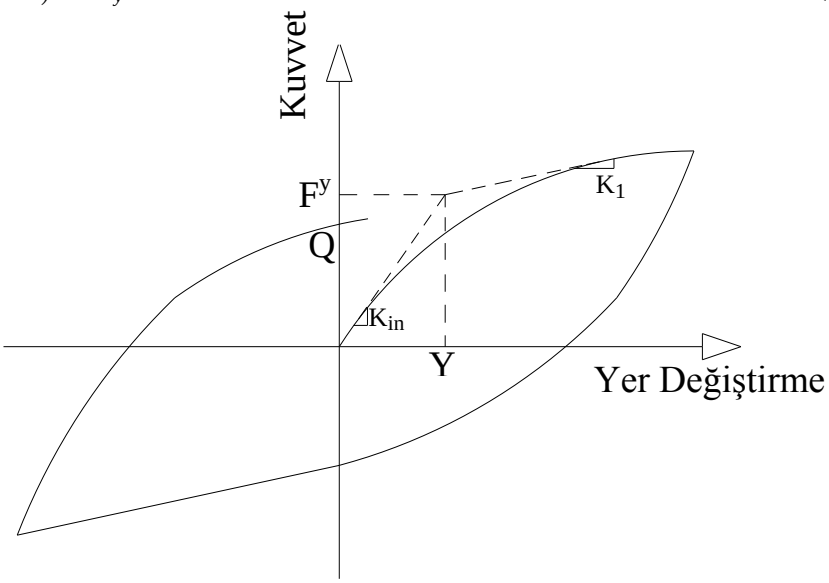
Bu bölümde 3DBASISME'de (Tsopelas ve diğ., 1994) yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerden oluşan sismik izolasyonlu sistemlerin modellemesinde kullanılmak üzere, rijitleşme özelliği olan ve rijitleşme özelliği olmayan histeretik eleman modelleri ve ilgili bağıntılar anlatılacaktır.

İzolatörlere ait kuvvet-deplasman grafiklerini karakterize eden ve 3DBASISME modellemesinde ihtiyaç duyulan parametreleri göstermek üzere rijitleşme özelliği olmayan ve olan histeretik elemanlara ait kuvvet-yer değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de sunulmuştur. Bu grafiklerdeki değerlerden ortak olanları karakteristik kuvvet (Q), akma deplasmanı (Y), akma kuvveti (F^y), ilk rijitlik (K_{in}) ve ikinci rijitlik (K_1) olarak gösterilmiştir. Sadece rijitleşme özelliği olan modele ait grafikte bulunan K_2 parametresi D_1 ilk sınır deplasmanı aşıldıktan sonra başlayan ve D_2 ikinci sınır deplasmanı aşıldıktan sonra son değerini alan ve rijitleşme (pekleşme) nedeniyle ortaya çıkan üçüncü rijitlik değeridir.

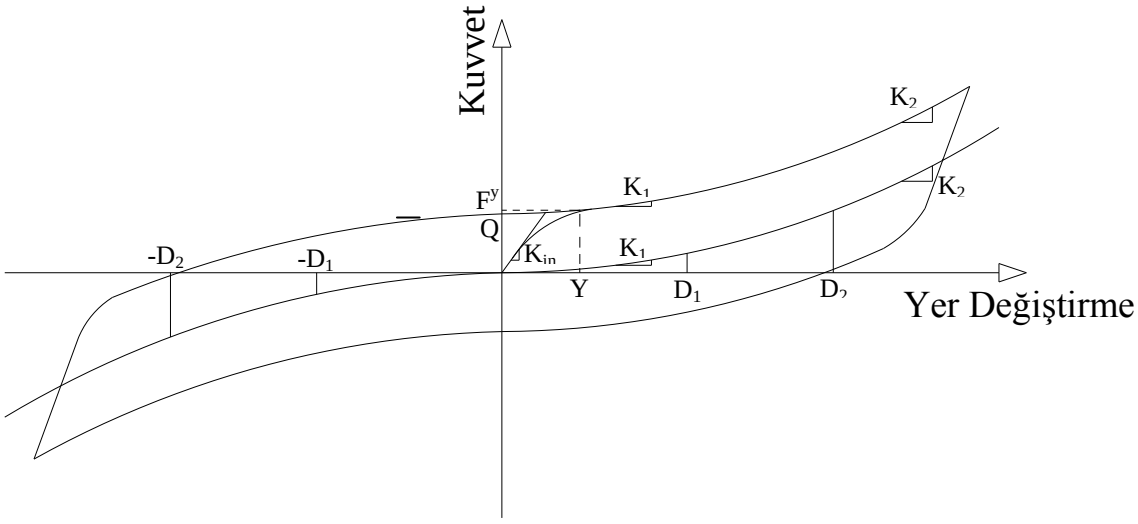
Şekil 2.2'de sunulan rijitleşme özelliği olmayan histeretik model aşağıdaki denklemler yardımıyla modellenmektedir (Tsopelas ve diğ., 1994):

$$F_x = \alpha \frac{F^y}{Y} U_x + (1-\alpha) F^y Z_x \tag{2.1}$$

$$F_y = \alpha \frac{F^y}{Y} U_y + (1-\alpha) F^y Z_y \tag{2.2}$$



Şekil 2.2: Rjitleşme özelliği olmayan modele ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiği
(Tsopelas ve diğ., 1994'den değiştirilerek alınmıştır.)



Şekil 2.3: Rijitleşme özelliği olan modele ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiği
(Tsopelas ve diğ., 1994'den değiştirilerek alınmıştır.)

Bu denklemlerdeki α, ikinci rijitliğin birinci rijitliğe oranını (K_1 / K_{in}), U_x ve U_y , x ve y yönündeki deplasmanları, $\dot{U}_x$ ve $\dot{U}_y$, x ve y yönündeki hızları, Z_x ve Z_y boyutsuz değişkenleri göstermektedir. A, γ ve β çevrimsel döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabitlerdir. $\frac{A}{\gamma+\beta}=1$ olmak üzere genellikle $A=1$, $\gamma=0.9$, $\beta=0.1$ öngörülmektedir. $\theta=\tan^{-1}\left(\frac{\dot{U}_y}{\dot{U}_x}\right)$ olmak üzere, histeretik parametreler $Z_x=\cos\theta$ ve $Z_y=\sin\theta$ olarak ortaya çıkar.

Şekil 2.3'de kuvvet-deplasman grafiği sunulan rijitleşme özelliğine sahip model, Denklem 2.1'de $\alpha=0$ alınarak (Şekil 2.4a) ve buna aşağıda kuvvet-deplasman ilişkileri verilen (Denklem 2.3-2.6) ve kuvvet-deplasman grafiği Şekil 2.4b'de sunulan bir rijitleşen yay modelinin toplamı ile elde edilmektedir (Şekil 2.4c).

$$F=\begin{cases} K_1U & U\le D_1 \\ \dfrac{(K_2-K_1)(U-D_1)^2}{(D_2-D_1)2}\operatorname{sgn}(U)+K_1U & D_1<U\le D_2 \\ \dfrac{(K_1-K_2)(D_1+D_2)}{2}\operatorname{sgn}(U)+K_2U & U>D_2 \end{cases} \qquad (2.3)$$

Burada U bileşke deplasman olup

$$U=\left(U_x^{\,2}+U_y^{\,2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (2.4)$$

ile verilmektedir. F kuvvetinin iki ortogonal doğrultudaki bileşeni aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$F_{xs}=F\cos\theta, \quad F_{ys}=F\sin\theta \qquad (2.5)$$

Buradan,

$U_x>0$ ve $U_y>0$ olduğu zaman;

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{|U_y|}{|U_x|}\right) \tag{2.6a}$$

$U_x < 0$, $U_y > 0$ olduğu zaman;

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{|U_y|}{|U_x|}\right) + \frac{\pi}{2} \tag{2.6b}$$

$U_x < 0$, $U_y < 0$ olduğu zaman;

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{|U_y|}{|U_x|}\right) + \pi \tag{2.6c}$$

$U_x > 0$, $U_y < 0$ olduğu zaman;

$$\theta = -\tan^{-1}\left(\frac{|U_y|}{|U_x|}\right) \tag{2.6d}$$

$U_x = 0$ olduğu zaman;

$$\theta = \frac{\pi}{2} \text{ ve } U = U_y \tag{2.6e}$$

$U_y = 0$ olduğu zaman;

$$\theta = 0 \text{ ve } U = U_x \tag{2.6f}$$

Böylece tüm model için Denklem 2.1'de $\alpha = 0$ ve Şekil 2.4a'da görüldüğü üzere $F^y = Q$ alındığında mesnetlerde x ve y yönünde oluşacak kuvvetler aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$F_x = QZ_x + Z_{xs} \quad , \quad F_y = QZ_y + Z_{ys} \tag{2.7}$$

Rijitleşen yay modelinde, D_1 ilk sınır deplasmanına kadar K_1 rijitliği mevcutken D_2 ikinci sınır deplasmanı aşıldıktan sonra K_2 rijitliği oluşmaktadır. D_1 ve D_2 sınırları arasında ise rijitliklerin düzgün doğrusal bir değişim gösterdiği kabul edilmektedir (Şekil 2.5). Ayrıca D_1 ve D_2 toplam izolator kalınlığının (T) sırasıyla η ve η_2 katı olarak ortaya çıkmaktadır. η ve η_2 değerleri izolator tipine bağlı olmakla birlikte η yaklaşık 1.25 ile 2.0 arasında değerler alırken η_2 ise bundan bir miktar daha fazla (yaklaşık 1.35 ile 2.1 arasında) olmaktadır.

$$D_1 = \eta\, T \tag{2.8}$$

$$D_2 = \eta_2 T \tag{2.9}$$

Yukarıda tanıtılan model parametreleri arasında mevcut bulunan ilişkiler aşağıda özetlenmiştir (Tsopelas 1994, Nagarajjah 1994)

Karakteristik kuvvet olan Q, eşdeğer viskoz sönüm oranı β, izolator deplasmanı U ve K_1 rijitliğine bağlı olarak

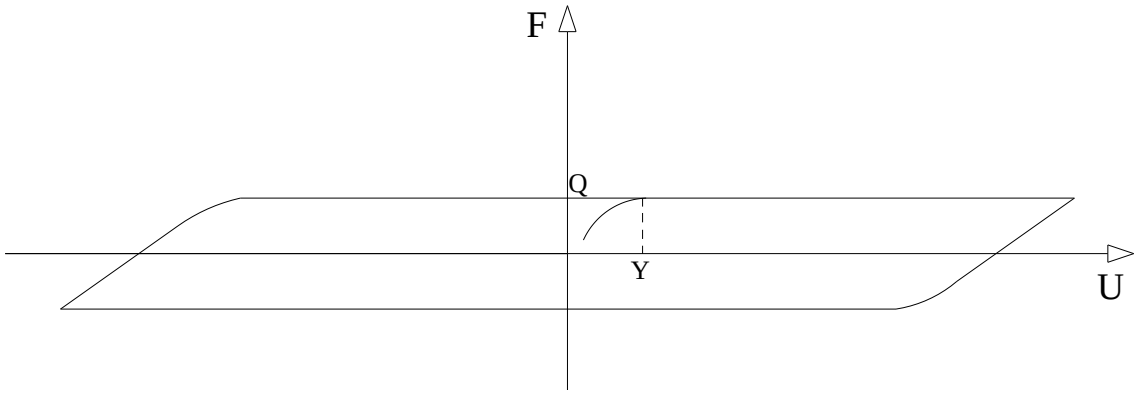
$$Q = \frac{\pi\beta K_1 U}{2 - \pi\beta} \tag{2.10}$$

şeklinde verilir. Burada β eşdeğer viskoz sönüm oranını belirtmektedir. K_1 rijitliği ise

$$K_1 = \frac{GA}{T} \tag{2.11}$$

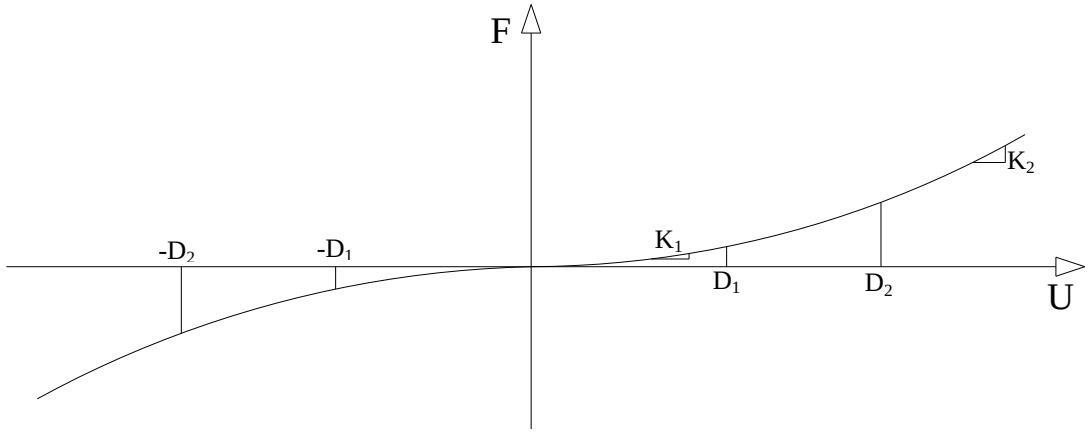
olarak verilir. Burada A mesnet alanı olup D çapındaki bir dairesel izolator için $A = \frac{\pi D^2}{4}$ olarak verilmektedir. Diğer değişkenlerden G kayma modulü ve T toplam kauçuk tabakası kalınlığıdır. Pekleşme sonrası ortaya çıkan K_2 rijitliği ise K_1 rijitliğinin λ katı olarak gösterilebilir:

$$K_2 = \lambda K_1 \qquad (2.12)$$



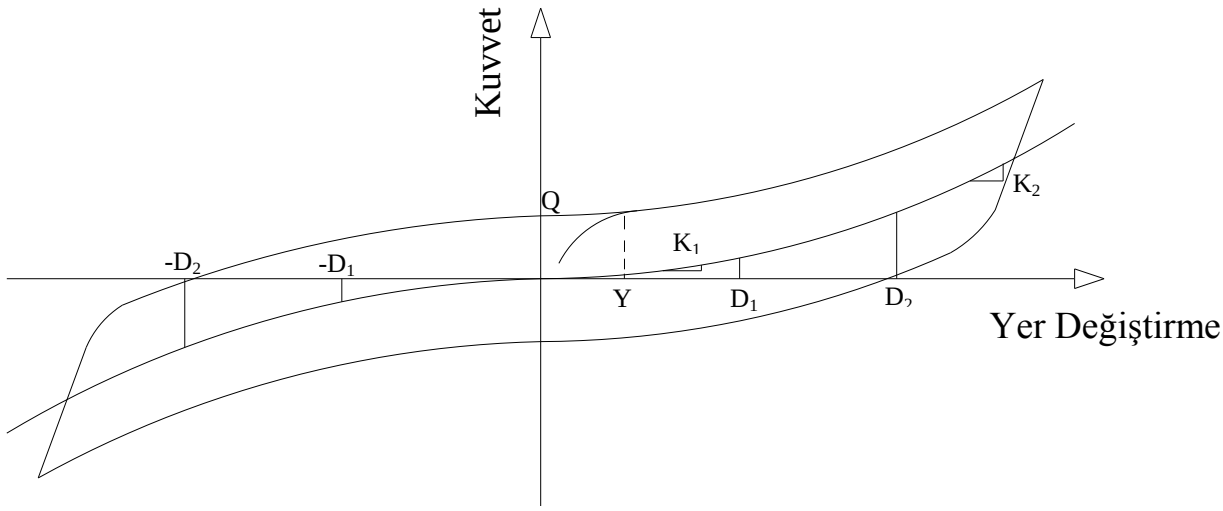
(a)

+



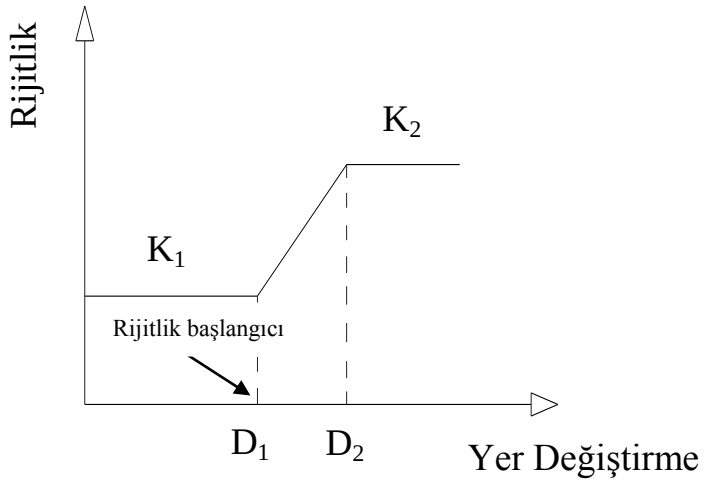
(b)

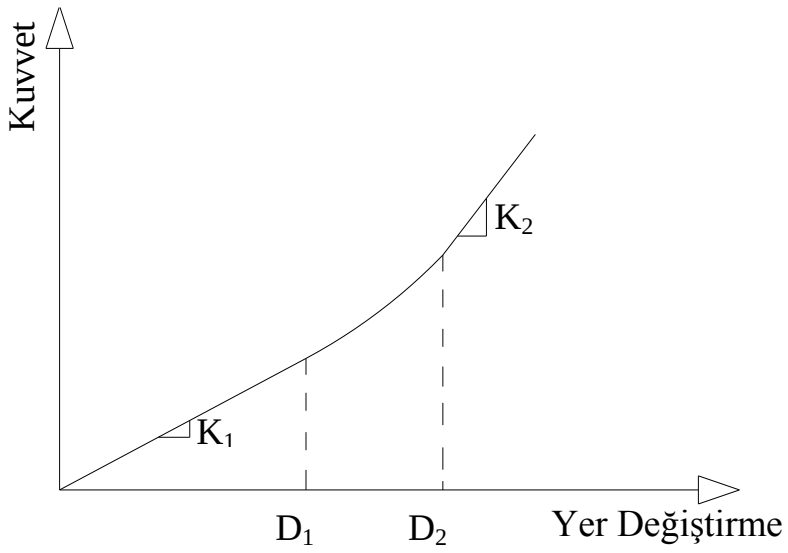
=



(c)

Şekil 2.4: Rijitleşme özelliği olan modele ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiğinin elde edilişi (Tsopelas ve diğ., 1994'den değiştirilerek alınmıştır)





Şekil 2.5: Rijitleşen Yay Modeli (Tsopelas, 1994)

İzolasyon sisteminde toplam n adet aynı özelliğe sahip izolator bulunması durumunda sisteme ait toplam akma sonrası rijitliği

$$\sum K_1 = K_1 n \tag{2.13}$$

olarak verilir. Akma sonrası rijitliğe bağlı izolasyon periyodu T_D ile $\sum K_1$ arasındaki ilişki ise:

$$\sum K_1 = \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)^2 \left(\frac{W}{g}\right) \tag{2.14}$$

şeklinde ifade edilir. Burada W binanın izolasyon katı dahil toplam ağırlığı, g ise yerçekimi ivmesidir. Akma deplasmanı toplam izolator kalınlığının belli bir yüzdesi olarak

$$Y = \mu T \tag{2.15}$$

bağıntısıyla verilebilir. Bu denklemde yer alan μ, 0.05 ile 0.1 arasında değerler almaktadır (Baştuğ 2004). İlk rijitlik K_{in} ile ikinci rijitlik K_1 arasında karakteristik kuvvet ve akma deplasmanına bağlı olarak aşağıdaki ilişki mevcuttur:

$$K_{in} = \frac{Q}{Y} + K_1 \tag{2.16}$$

Akma kuvveti ise:

$$F^y = K_{in} Y \tag{2.17}$$

şeklinde veya geometrik ilişkiler kullanılarak

$$F^y = Q + K_1 Y \tag{2.18}$$

olarak da verilir. Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı ise

$$\alpha = \frac{K_1}{K_{in}} \tag{2.19}$$

bağıntısıyla verilir.

2.3. SENTETİK DEPREMLERİN ÜRETİLMESİ

Sentetik depremlerin üretilmesinde çeşitli puls modelleri kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları (Makris ve Chang, 2000; Menun ve Fu, 2002; Agrawal ve He, 2002; He, 2003; He ve Agrawal, 2008) puls modelleridir. Bu modeller Öncü (2011)'de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Bu tezde kullanılan model Agrawal ve He (2002) tarafından geliştirilen ve Öncü (2011)'de kullanılan modelin aynısıdır. Buna göre, ζ_p deprem pulsu sönüm faktörü, s hız pulsunun başlangıç genliği, ω_p sinüzoidin frekansı, t süre (saniye) olmak üzere, deprem hızı ve ivmesi aşağıdaki şekilde verilir (Agrawal ve He, 2002):

$$\dot{u}(t) = se^{-\zeta_p \omega_p t} sin\omega_p \sqrt{(1-{\zeta_p}^2)}t \tag{2.20}$$

$$\ddot{u}(t) = se^{-\zeta_p \omega_p t}(-\zeta_p \omega_p sin\omega_p \sqrt{(1-{\zeta_p}^2)}t + \omega_p \sqrt{(1-{\zeta_p}^2)} cos\omega_p \sqrt{(1-{\zeta_p}^2)}t) \tag{2.21}$$

Buradaki s başlangıç genliğinin formulasyonu Dicleli ve Buddaram (2007) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\omega_p = 2\pi/(T_p \sqrt{(1-{\zeta_p}^2)}) \tag{2.22}$$

$$t_p = \tan^{-1}(1/{\zeta_p}^2 - 1)/(\omega_p \sqrt{(1-{\zeta_p}^2)}) \tag{2.23}$$

$$s = v_p/(e^{-\zeta_p \omega_p t_p} sin\omega_p \sqrt{(1-{\zeta_p}^2)}t_p) \tag{2.24}$$

Yukarıdaki denklemlerde, maksimum yer hareketi hızı v_p, puls periyodu T_p ve sönüm faktörü ζ_p, sinüzoidin frekansı ω_p, pik yer hızının oluştuğu zaman t_p olarak tanımlanmaktadır.

Bu tez kapsamında, Dicleli ve Buddaram (2007)'ın önerdiği şekilde ve Öncü (2011) tarafından da kullanılan yöntem takip edilerek Denklem 2.20-2.24 ile formulasyonu sunulan sentetik deprem modeli içinde kullanılacak olan v_p maksimum yer hareketi hızı ve T_p puls periyodu Somerville (1998) çalışmasında ortaya konan aşağıdaki denklemler yardımıyla elde edilmiştir:

$$ln(v_p) = -2.31 + 1.15M_w - 0.5ln(r) \tag{2.25}$$

$$log_{10}(T_p) = -2.5 + 0.425M_W \tag{2.26}$$

Burada M_w depremin büyüklüğü ve r yapının faya olan en yakın mesafesidir.

2.4. DİNAMİK ANALİZLER İÇİN 3DBASISME PROGRAMI

Bu tez çalışmasında kullanılan 3DBASISME (Tsopelas ve diğ.,1994) programı depreme maruz bırakılan üç boyutlu sismik izolasyonlu yapıların lineer ve nonlineer zaman-tanım alanı analizlerinin yapılabilmesi için hazırlanmış bir programdır. Program ile düşük ve yüksek sönümleme özellikleri olan elastomer mesnetler, kurşun çekirdekli elastomer mesnetler, kayıcı mesnetler, sürtünmeli mesnetler ve viskoz sönümleyicileri modellenerek oluşturulan yapıların, sismik hareketler altındaki üç boyutlu analizleri yapılabilmektedir. Programın beş farklı serisi mevcuttur. Bunlar, 3DBASIS (Nagarajaiah, ve diğ., 1989, 1991), 3DBASISM (Tsopelas ve diğ., 1991), 3DBASISME (Tsopelas ve diğ., 1994) ve 3DBASIS-TABS'tır (Nagarajaiah ve diğ., 1993; Reinhorn ve diğ., 1994). Her bir serisinde farklı kullanım özellikleri ve kolaylıkları mevcuttur.

3DBASISME'nin bir önceki versiyonu olan 3DBASISM'de tezde kullanılan "rijitleşen iki eksenli histeretik eleman" özelliği bulunmamaktaydı. Bu versiyonunda bu özellik de eklendi. Ayrıca eklenen diğer özellikler; Sürtünmeli sarkaç mesnetler gibi küresel kayıcı izolasyon sistemlerin davranışını modelleyen eleman, doğrusal olmayan davranış gösteren viskoz eleman, devrilme momentinin ve düşey yer hareketinin etkilerinin kayıcı mesnetlerin davranışı üzerindeki etkileri. Sismik izolasyonlu bir yapı, 3DBASISME programında, üst yapı ve izolasyon sistemi olarak iki aşamada modellenir Aşağıda, 3DBASISME programınının kullanım kılavuzundan bu çalışma için kullanılan kısım beş ana bölümde özetlenmiştir.

a) Girdi (input) datası

Bu kısımda, başlık ve kullanılacak birimlerin unutulmaması için birer satırlık yer bulunmaktadır.

b) Kontrol Parametreleri

Bu bölüm; üstyapı kontrol parametreleri, integrasyon kontrol parametreleri, Newmark's metod kontrol parametreleri ve deprem kontrol parametrelerinden oluşmaktadır. Üstyapı kontrol parametrelerine veri çeşidi olarak üstyapının rijitliğini, eigenvalues ve eigenvektörler girilebilmektedir. Bu verilerden sonra rijitlik girilmesine bağlı olarak (rijitlik girilecekse=1) veya özdeğer özvektör girilmesine bağlı olarak (özdeğer özvektör girilecekse =2) 1 veya 2 sayısı girilir. Daha sonra aynı temele bağlı üst yapı sayısı, kolon izolatör sayısı, çıktıda görülmesi istenen izolatör sayısı ve yerçekim ivmesi girilir. Bir alt satırına üst yapı kat adeti ve özvektör sayılarının miktarları yazılır. İntegrasyon kontrol parametreleri kısmında integrasyonun zaman aralığı, nonlineer kuvvet vektör tolerans aralığı, referans momenti değeri, maksimum iterasyon sayısı ve zaman aralığının değişken veya sabit olması belirlenebilmektedir. Newmark's metod kontrol parametreleri kısmında ise Newmak's metoda ait değerler girilebilmektedir.

Deprem kontrol parametrelerinde yapıya tek yönlü veya çift yönlü deprem dataları tanıtılabilir ve bu depremlere ait zaman aralığı ve depremin süresi girilir. Tek yönlü deprem girilecekse ilk değere "1" , X ve Y doğrultusunda çift yönlü deprem girilecekse "2", X ve Z doğrultusunda deprem girilecekse "3", X,Y,Z doğrultusunda deprem girilecekse "4" yazılır. İkinci parametre deprem kaydının zaman aralığı, üçüncü

parametre deprem kaydının uzunluğu, dördüncü parametre için eğer ilk parametre "1" girildi ise bunun "0" girilmesi gerekir. Son parametre olarak da deprem datalarını ölçeklendirebilecek katsayı girilir.

c) Üstyapı Dataları

Bu bölümde deprem kontrol parametreleri bölümünün ilk parametresine eğer "1" girildiye, bu bölümde özdeğer ve öz vektörler yazılır. İlk sıraya ilk moddan son moda kadar özdeğerler yazılır. İkinci sıradan itibaren de özvektörler yazılır. Sonraki satırda, üst kattan alt kata doğru yapıdaki katların her birinin ağırlıkları ve kat dönme kütleleri yazılır. Üstyapı sönüm datası olarak ilk moddan son moda doğru doğal sönüm oranları girilir. Üst yapının izolasyon sistemine göre konumu katların ağırlık merkezinin tabanın ağırlık merkezine olan uzaklığı verisi ile belirlenir. Her katın ağırlık merkezinin tabanın ağırlık merkezine göre X ve Y koordinatları üst kattan alt katlara doğru girilir. Son olarak da üst kattan alt kata doğru kat yükseklikleri girilir.

d) İzolasyon sistemi dataları

İlk satıra lineer elastik izolasyon sisteminin rijitlik dataları girilir. İkinci satıra taban kütlesi ve kat dönme kütlesi girilir. Üçüncü satıra global sönümleyici dataları girilir. Dördüncü satırdan itibaren izolatörlerin koordinatları her izolatör için alt alta girilir.
Bir izolasyon elemanı iki adet parametre ile tanımlanabilmektedir. İlk parametre X veya Y doğrultusunda tek eksenli (uniaxial) elemanı veya çift eksenli (biaxial) eleman olarak tanımlanabilmesini sağlar. İkinci parametre ise lineer elastik eleman,viskoz eleman, elastomerik izolatörler için histeretik eleman, kayıcı izolatörler için histeretik eleman, sürtünmeli izolatör elemanı ve rijitleşen histeretik eleman olarak veri girişi yapılabilmesine olanak sağlar. Bu tezde rijitleşen histeretik eleman özelliği kullanıldı. İzolatör koordinatları girişinden sonraki ilk satıra tek eksenli veya çift eksenli olduğunu belirten değer, onun yanına da yukarıda bahsedilen özellikteki izolatör için veri girişi yapılır. Bunun bir alt satırına, tezde kullandığımız izolatörün özelliği olan rijitleşen ikili doğrusal histeretik elemanın değerleri sırasıyla; Q K_1 K_2 D_1 D_2 YD programa girilir. Q: karakteristik kuvvet, K_1: akma sonrası rijitlik (plastik rijitlik) K_2: üçüncü rijitlik, D_1: akma öncesi deplasman, D_2: akma sınır deplasmanı, YD: akma deplasmanıdır. Ayrıca tezimizde kullandığımız diğer bir izolatör özelliği olan rijitleşme olmayan iki eksenli histeretik eleman için de α_1 α_2 YF_x YF_y YD_x YD_y değerleri sisteme girilir. Bu değerler

her izolatör için ayrı ayrı girilir. Daha sonra yapıya tek doğrultuda deprem etkitilecekse WAVEX.DAT dosyası oluşturulur. WAVEX.DAT dosyası içinde o depreme ait zaman-ivme değerleri bulunur.

e) Çıktı (output) datası

Bu bölüm izolatör özellikleri girildikten sonraki ilk satırdan itibaren başlar. Burada ilk satırda zaman-tanım alanı ve en büyük tepkilerin çıktı olarak görünmesi isteniyorsa "1", sadece en büyük tepkilerin çıktı olarak görünmesi isteniyorsa "0" girilir. Hemen yanına kaç adım aralıklarla çizdirmek isteniyorsa o girilir (örneğin KPD değeri 10 girilebilir). Üçüncü veri için eğer ivme-deplasman çıktısı isteniyorsa "1", istenmiyorsa "0" girilir. Bir alt satırda çıktıda olmasını istediğiniz izolatör numaraları giriliyor. Dört adet izolatör çıktısı istenebilir ve bu dört izolatöre ait maksimum değerleri ve kuvvet-deplasman zaman tanım alanı sonuçlarının alınabilmesi için seçim yapılabilir. Bir alt satırda göreli kat ötelemesinin kaç kolonda yapılacağı seçilir. Son satırda da göreli kat ötelemeleri sonuçlarının alınabilmesi için bu sonuçların alınacağı kolonlara ait X ve Y koordinatları girilebilir.

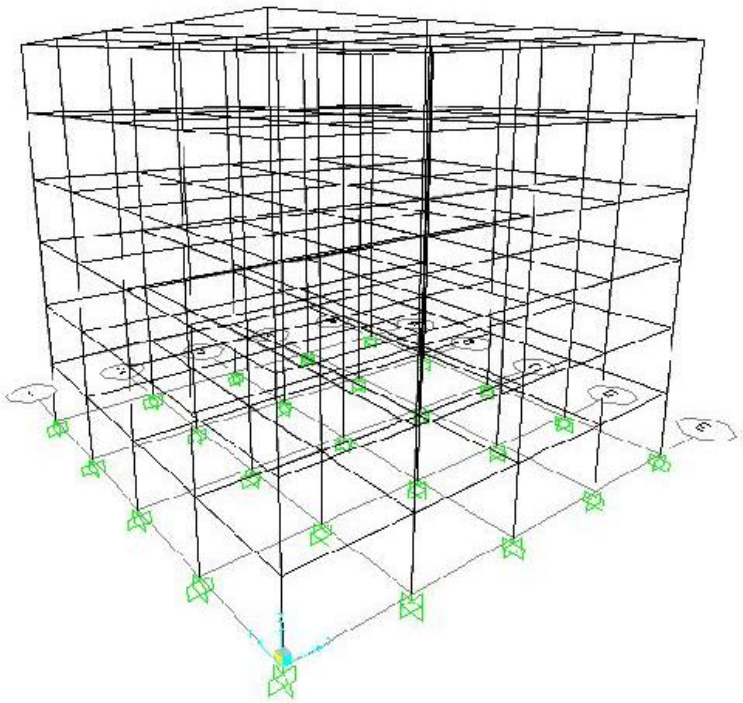
3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, parametrik çalışmada kullanılmak üzere oluşturulan temsili sismik izolasyonlu yapılara ait üst yapı ve sismik izolasyon sistemlerinin seçilen ve matematiksel modellemede kullanılan tasarım parametreleri aktarılmış ve bu yapıların maruz bırakıldığı tarihi ve sentetik depremlerin özelliklerine ait detaylı bilgiler sunulmuştur. Ayrıca, sentetik deprem kayıtlarının üretimi ile ilgili bilgilere de yer verilmiştir.

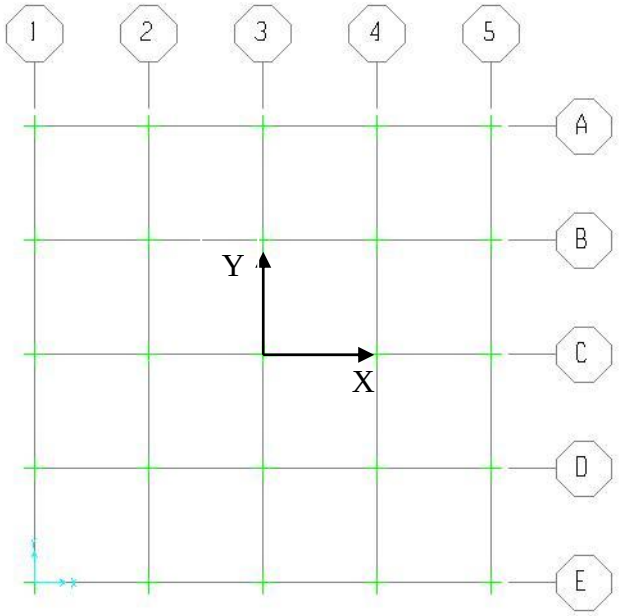
3.1. SİSMİK İZOLASYONLU BİNA MODELİ

Bu tez çalışmasında, literatürde mevcut olan ve Alhan ve Sürmeli (2011) tarafından oluşturulmuş olan sismik izolasyonlu bina modellerinden 6 katlı üst yapıya sahip olan model kullanılmıştır. Taban ankastre hale ait 3 boyutlu SAP2000 modeli Şekil 3.2'de ve bu modelin plan görünüşü Şekil 3.3'de sunulmuştur. İzolasyon katı dahil toplam 7 kattan oluşan yapıda her katın kütlesi birbirine eşit ve 320 ton olup yapı toplam kütlesi $M = 2240$ ton ve buna karşılık gelen toplam ağırlık ise $W = 21974.4\ kN$'dur. Üst yapı sönüm oranı $\xi = \%5$'tir. Taban ankastre periyodu her iki yönde 0.68 s'dir. Her katın döşemesi rijit diyafram olarak modellenmiştir ve her kat 3 serbestlik derecesine sahiptir. 3DBASISME programında sistem, üstyapı ve izolasyon katı olmak üzere ayrı ayrı modellenmektedir. Üstyapı için programa girilen değerlerden özdeğer ve özvektörler SAP2000 (SAP2000N, 2009) programında modal analiz sonucunda taban ankastre durum için elde edilmekte ve programa girilmektedir. Daha sonra izolasyon sistemi

programa tanımlanmaktadır. Diferansiyel denklemler yardımıyla (Tsopelas ve diğ.,1994) program, tanımlanan üstyapı ve izolasyon sistemini bir araya getirerek deprem yükleri altında analiz yapmaktadır. Yapıda her bir kat için mod adeti 3 olduğundan, tezde kullanılan 6 katlı yapıya ait toplam mod adeti 18'dir. Bu 18 moda ait 3DBASISME veri girişinde kullanılan özdeğerler ve özvektörler aşağıda Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmektedir. Tablolarda verilen katlara ait DX, DY ve ROT sırasıyla X ve Y yönleri ile Z ekseni etrafındaki modal deplasmanlardır.



Şekil 3.2: Tezde kullanılan model (SAP2000 taban ankastre durum)



Şekil 3.3: Tezde kullanılan modele ait plan görünüşü (SAP2000 taban ankastre durum)

Tablo 3.1: Tezde kullanılan modelin SAP2000'den elde edilen özdeğerleri.

Mod	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Özdeğer	85.303	85.303	132.16	816.85	816.85	1259	2513.1	2513.1	3832.9

Mod	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Özdeğer	5379	5379	8166	9184	9184	12718	12718	13890	19192

Tablo 3.2a: Tezde kullanılan modelin SAP2000'den elde edilen özvektörleri.

Mod	6.KAT DX	6.KAT DY	6.KAT ROT	5.KAT DX	5.KAT DY	5.KAT ROT
1	3.1241E-02	6.6790E-03	3.4660E-18	2.8961E-02	6.1920E-03	4.2570E-18
2	-6.6790E-03	3.1241E-02	-5.8780E-19	-6.1920E-03	2.8961E-02	1.3550E-20
3	4.1650E-17	8.1660E-18	-3.8960E-03	2.7200E-17	7.2360E-18	-3.6240E-03
4	1.2668E-02	2.6982E-02	-6.9470E-18	5.1930E-03	1.1060E-02	-4.0210E-18
5	2.6982E-02	-1.2668E-02	7.1940E-18	1.1060E-02	-5.1930E-03	-6.7840E-18
6	8.3180E-17	-1.9290E-17	3.6500E-03	1.1060E-16	8.1170E-17	1.5220E-03
7	1.8078E-02	1.7899E-02	-3.5070E-17	-8.1440E-03	-8.0640E-03	-1.5960E-17
8	1.7899E-02	-1.8078E-02	-3.1520E-16	-8.0640E-03	8.1440E-03	1.1000E-16
9	-6.6740E-15	8.5360E-17	-3.1240E-03	7.8940E-15	1.1390E-15	1.3840E-03
10	-3.5760E-03	-1.8991E-02	4.4640E-16	5.1640E-03	2.7423E-02	-2.5640E-16
11	1.8991E-02	-3.5760E-03	-8.9450E-16	-2.7423E-02	5.1640E-03	6.3760E-16
12	6.6730E-15	-5.8360E-15	-2.3770E-03	-1.7380E-14	1.3520E-14	3.4100E-03
13	1.2493E-02	-1.5590E-03	1.7060E-15	-2.9230E-02	3.6480E-03	-2.4350E-15
14	1.5590E-03	1.2493E-02	-4.6900E-16	-3.6480E-03	-2.9230E-02	5.4330E-16
15	-1.4590E-03	5.8880E-03	2.1370E-15	4.3090E-03	-1.7387E-02	-5.3640E-15
16	5.8880E-03	1.4590E-03	2.3430E-15	-1.7387E-02	-4.3090E-03	-5.3090E-15
17	1.0150E-14	1.2740E-14	-1.5500E-03	-2.7640E-14	-3.4600E-14	3.6120E-03
18	5.3450E-15	-1.0300E-15	7.4800E-04	-1.3300E-14	5.2160E-15	-2.2000E-03

Tablo 3.2b: Tezde kullanılan modelin SAP2000'den elde edilen özvektörleri.

Mod	4.KAT DX	4.KAT DY	4.KAT ROT	3.KAT DX	3.KAT DY	3.KAT ROT
1	2.4912E-02	5.3260E-03	4.1500E-18	1.9277E-02	4.1210E-03	3.6280E-18
2	-5.3260E-03	2.4912E-02	-6.1830E-19	-4.1210E-03	1.9277E-02	-6.1240E-19
3	3.1210E-17	-7.4540E-18	-3.1260E-03	2.6280E-17	5.8150E-19	-2.4270E-03
4	-4.8010E-03	-1.0225E-02	8.6420E-18	-1.2105E-02	-2.5782E-02	3.4950E-18
5	-1.0225E-02	4.8010E-03	1.8260E-18	-2.5782E-02	1.2105E-02	-1.0240E-18
6	-2.6890E-16	5.3060E-17	-1.3570E-03	-1.4650E-16	-8.3130E-17	-3.4770E-03
7	-2.2045E-02	-2.1827E-02	4.8550E-17	-5.4440E-03	-5.3900E-03	4.8780E-17
8	-2.1827E-02	2.2045E-02	3.6700E-16	-5.3900E-03	5.4440E-03	1.1860E-16
9	3.8200E-15	-4.5760E-16	3.8030E-03	-6.8140E-15	-4.0630E-15	9.6300E-04
10	1.5140E-03	8.0390E-03	-5.3710E-16	-5.6930E-03	-3.0232E-02	-7.6830E-17
11	-8.0390E-03	1.5140E-03	9.5130E-16	3.0232E-02	-5.6930E-03	-1.4870E-16
12	1.8310E-14	-1.1950E-14	1.0220E-03	-4.0080E-15	3.7530E-15	-3.7630E-03
13	2.4180E-02	-3.0180E-03	-1.0340E-15	2.8600E-04	-3.6000E-05	3.5710E-15
14	3.0180E-03	2.4180E-02	3.7160E-16	3.6000E-05	2.8600E-04	-4.8630E-16
15	-6.4780E-03	2.6141E-02	5.6740E-15	7.2960E-03	-2.9442E-02	-2.6290E-15
16	2.6141E-02	6.4780E-03	4.1210E-15	-2.9442E-02	-7.2960E-03	6.8180E-16
17	3.6460E-14	4.6390E-14	-2.9750E-03	-3.6760E-14	-4.7930E-14	-4.9000E-05
18	1.3740E-14	-1.1870E-14	3.3020E-03	-8.7180E-15	1.6210E-14	-3.7150E-03

Tablo 3.2c: Tezde kullanılan modelin SAP2000'den elde edilen özvektörleri.

Mod	2.KAT DX	2.KAT DY	2.KAT ROT	1.KAT DX	1.KAT DY	1.KAT ROT
1	1.2453E-02	2.6620E-03	9.8430E-19	5.1390E-03	1.0990E-03	-3.8310E-19
2	-2.6620E-03	1.2453E-02	-3.0830E-19	-1.0990E-03	5.1390E-03	-9.4020E-20
3	5.8190E-18	2.6160E-18	-1.5740E-03	-8.7950E-18	-1.8740E-18	-6.5300E-04
4	-1.2757E-02	-2.7171E-02	5.1840E-18	-6.6850E-03	-1.4239E-02	8.4580E-18
5	-2.7171E-02	1.2757E-02	-1.7040E-19	-1.4239E-02	6.6850E-03	-4.1430E-18
6	2.2880E-16	-9.9560E-17	-3.6810E-03	2.0030E-16	-6.5780E-17	-1.9370E-03
7	1.8767E-02	1.8582E-02	2.5370E-18	1.7806E-02	1.7631E-02	-1.2390E-16
8	1.8582E-02	-1.8767E-02	-2.3090E-16	1.7631E-02	-1.7806E-02	-3.8510E-16
9	-1.3330E-16	3.2940E-15	-3.2180E-03	3.3030E-15	2.5050E-15	-3.0750E-03
10	3.8600E-04	2.0490E-03	8.1660E-16	5.7200E-03	3.0373E-02	-3.5750E-16
11	-2.0490E-03	3.8600E-04	-1.0310E-15	-3.0373E-02	5.7200E-03	3.0010E-16
12	-1.8200E-14	3.2440E-15	2.3800E-04	2.7850E-14	-4.7520E-15	3.7860E-03
13	-2.4446E-02	3.0510E-03	-1.0450E-15	2.9736E-02	-3.7120E-03	-2.4620E-15
14	-3.0510E-03	-2.4446E-02	-6.6420E-16	3.7120E-03	2.9736E-02	1.4030E-15
15	-6.6010E-03	2.6637E-02	-1.8750E-15	4.6190E-03	-1.8641E-02	4.1310E-15
16	2.6637E-02	6.6010E-03	-5.6960E-15	-1.8641E-02	-4.6190E-03	6.9450E-15
17	3.3420E-14	4.2390E-14	3.0270E-03	-2.5800E-14	-3.0290E-14	-3.6630E-03
18	5.1330E-15	-1.4850E-14	3.3570E-03	-3.8970E-15	9.6020E-15	-2.3440E-03

Yukarıdaki tablolarda sunulan özdeğerlerin programa giriliş şekli Tablo 3.2d'de verilmiştir. Programa sadece kutu içerisindeki rakamlar gösterilen dizilişte girilmiştir. Bu tez çalışmasında oluşturulan iki farklı izolasyon sistemine ait ikinci rijitliğe bağlı hedef periyotlar $T_D = 3$ s ve 4 s olarak seçilmiştir. Bunlardan $T_D = 3$ s olan sistem, rijitleşme özelliği dikkate alınmadan, Alhan ve Sürmeli (2011) tarafından oluşturulmuş izolasyon sistemi iken $T_D = 4$ s olan sistem ise bu tezde ayrıca üretilmiştir. Daha sonra anlatılacağı üzere, her iki sistem de hem rijitleşme özelliği olan hem de rijitleşme özelliği olmayan şekilde modellenmiş ve parametrik çalışmada kullanılmıştır. İzolasyon sisteminde bulunan izolatör adeti toplam 25'dir. Tüm sistemlerde izolatörlerin kayma modulü $G = 1$ MPa'dır. İzolatör kalınlığı $T_D = 3$ s olan sistemde $T = 30$ cm ve $T_D = 4$ s olan sistemde $T = 35$ cm ve tüm izolasyon sistemlerinde eşdeğer viskoz sönüm oranı $\beta = \%12$ seçilmiştir. Farklı λ ve η değerlerine sahip olacak şekilde farklı izolasyon sistemi modelleri oluşturularak parametrik incelemeye dahil edilmiştir. Bu tez kapsamında $\eta_2 = \eta + 0.1$ olarak göz önüne alınmıştır. Akma deplasmanı Y, μ değişkenine ve izolatör kalınlığı T 'ye bağlı olarak (Denklem 2.15) ortaya çıkar. Bu tezde $\mu = 0.05$ seçilmiştir.

Tablo 3.2d: Tablo 3.2 a-c'de sunulan özdeğerlerin programa giriliş şekli.

Mod	6.KAT DX	6.KAT DY	6.KAT ROT	5.KAT DX	.....	1.KAT DX	1.KAT DY	1.KAT ROT
1	3.1241E-02	6.6790E-03	3.4660E-18	2.8961E-02	.	5.1390E-03	1.0990E-03	-3.8310E-19
2	-6.6790E-03	.	.	.	.	.	.	.
3	4.1650E-17	.	.	.	.	.	.	.
4	.	.	.	.	.	.	.	.
5	.	.	.	.	.	.	.	.
6	.	.	.	.	.	.	.	.
7	.	.	.	.	.	.	.	.
8	.	.	.	.	.	.	.	.
9	.	.	.	.	.	.	.	.
10	.	.	.	.	.	.	.	.
11	.	.	.	.	.	.	.	.
12	.	.	.	.	.	.	.	.
13	.	.	.	.	.	.	.	.
14	.	.	.	.	.	.	.	.
15	.	.	.	.	.	.	.	.
16	.	.	.	.	.	.	.	.
17	.	.	.	.	.	.	.	.

18	5.3450E-15	.	.	.	.	.	-2.3440E-03

Her bir izolasyon sistemine akma sonrası izolasyon periyodu (T_D) ve λ ve η değerlerine bağlı olarak bir kod ismi verilerek Tablo 3.3'de tüm bu modeller için 3DBASISME'ye giriş verilerinde de kullanılmak üzere hesaplanan mekanik özellikler ile birlikte sunulmuştur.

Tablo 3.3'deki değerlerin hesaplanmasına örnek olarak aşağıda T3L200E125 ($T_D = 3$ s, $\lambda = 2.00$, $\eta = 1.25$) modeline ait hesap adımları verilmektedir.

İzolatör katı dahil bina toplam ağırlığı;

$W = 320 \times 7 \times 9.81 = 21974.4$ kN

Denklem 2.14'den izolasyon sisteminin toplam akma sonrası rijitliği;

$$\sum K_1 = \left(\frac{2\pi}{3}\right)^2 \left(\frac{21974.4}{9.81}\right) = 9824.74 \text{ kN/m}$$

Denklem 2.13'den bir adet izolatör için akma sonrası rijitlik;

$9824.74 = K_1 \times 25 \Rightarrow K_1 = 393.0296$ kN/m bulunmuştur.

Denklem 2.12'den üçüncü rijitlik K_2, $\lambda = 2.00$ için

$K_2 = 2 \times 393.0296 = 786.06$ kN/m bulunmuştur.

Rijitleşmenin başlangıç deplasmanları D_1 ve D_2, sırasıyla η ve η_2 değişkenlerine ve izolatör kalınlığı T 'ye bağlı olarak Denklem 2.7 ve 2.8'den, $T = 30$ cm, $\eta = 1.25$ ve $\eta_2 = \eta + 0.1 = 1.35$ için

$D_1 = 1.25 \times 0.30 = 0.375$ m ve $D_2 = 1.35 \times 0.30 = 0.405$ m

olarak bulunmuştur.

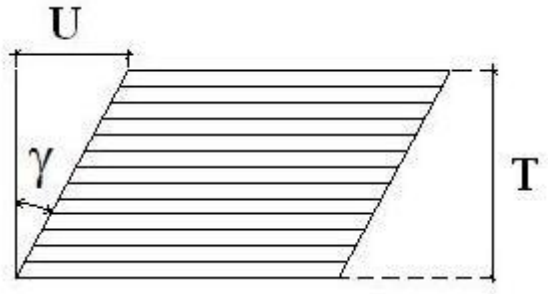
Akma deplasmanı Y, $\mu = 0.05$ ve izolatör kalınlığı $T = 30$ cm için, Denklem 2.15'den

$Y = 0.05 \times 0.30 = 0.015$ m bulunmuştur.

Denklem 2.10'dan karakteristik kuvvet Q, seçilen $\beta = 0.12$ için

$$Q = \frac{\pi \times 0.12 \times 393.0296 \times 0.30}{2 - \pi \times 0.12} = 27.3877 \text{ kN}$$

bulunmuştur. Burada U yatay deplasmanı, γ=1 olması durumunda izolatör kalınlığı T 'ye eşit olmaktadır (Şekil 3.1); dolayısıyla 30 cm'ye eşit alınmıştır.



Şekil 3.1: Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün kayma-şekil değiştirme ilişkisi.

İlk rijitlik değeri K_{in} Denklem 2.16'dan

$$K_{in} = \frac{27.3877}{0.015} + 393.0296 = 2218.881 \text{ kN/m}$$

bulunur.

Denklem 2.19'dan akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe (ilk rijitliğe) oranı olan

$\alpha = \frac{393.0296}{2218.881} = 0.1771$ bulunmuştur.

Denklem 2.17'den, $Y = 0.015$ m için

$F^y = 2218.881 \times 0.015 = 33.28$ kN

bulunmuştur.

3DBASISME'de rijitleşme olmayan durum için programa girilecek değerler;

α_1 α_2 FY_x FY_y YD_x YD_y 'dir. Yukarıdaki hesaplarda x ve y yönü ayrımı yapılmamıştır ve her iki yöndeki değerler programa aynı olarak girilecektir.

Rijitleşmenin dikkate alınacağı durum için programa girilecek değerler; Q K_1 K_2 D_1 D_2 YD *'dir.*

Programın kullanma kılavuzunda verilen FY ifadesi tezdeki F^y ile, YD ifadesi ise tezdeki Y ile eşdeğerdir.

Ek-1'de T3L200E125 (T_D=3 s, λ=2.00, η=1.25) modeline ait 3DBASISME veri giriş sayfası bulunmaktadır.

Tablo 3.3: 3DBASISME'de kullanılan modellerin programa giriş verileri.

İzolasyon Sistemi	T_D *(s)*	T *(cm)*	λ	η	α	F^y *(kN)*	Q *(kN)*	K_1 *(kN/m)*	K_2 *(kN/m)*	D_1 *(cm)*	D_2 *(cm)*	Y *(cm)*
T3L125E125	3	30	1.25	1.25	0.177	33.28	27.38	393.03	491.287	37.5	40.5	1.50
T3L125E150	3	30	1.25	1.50	0.177	33.28	27.38	393.03	491.287	45.0	48.0	1.50
T3L125E175	3	30	1.25	1.75	0.177	33.28	27.38	393.03	491.287	52.5	55.5	1.50
T3L125E200	3	30	1.25	2.00	0.177	33.28	27.38	393.03	491.287	60.0	63.0	1.50
T3L150E125	3	30	1.50	1.25	0.177	33.28	27.38	393.03	589.54	37.5	40.5	1.50
T3L150E150	3	30	1.50	1.50	0.177	33.28	27.38	393.03	589.54	45.0	48.0	1.50
T3L150E175	3	30	1.50	1.75	0.177	33.28	27.38	393.03	589.54	52.5	55.5	1.50
T3L150E200	3	30	1.50	2.00	0.177	33.28	27.38	393.03	589.54	60.0	63.0	1.50
T3L175E125	3	30	1.75	1.25	0.177	33.28	27.38	393.03	687.80	37.5	40.5	1.50
T3L175E150	3	30	1.75	1.50	0.177	33.28	27.38	393.03	687.80	45.0	48.0	1.50
T3L175E175	3	30	1.75	1.75	0.177	33.28	27.38	393.03	687.80	52.5	55.5	1.50
T3L175E200	3	30	1.75	2.00	0.177	33.28	27.38	393.03	687.80	60.0	63.0	1.50
T3L200E125	3	30	2.00	1.25	0.177	33.28	27.38	393.03	786.06	37.5	40.5	1.50

T3L200E150	3	30	2.00	1.50	0.177	33.28	27.38	393.03	786.06	45.0	48.0	1.50
T3L200E175	3	30	2.00	1.75	0.177	33.28	27.38	393.03	786.06	52.5	55.5	1.50
T3L200E200	3	30	2.00	2.00	0.177	33.28	27.38	393.03	786.06	60.0	63.0	1.50
T4L125E125	4	35	1.25	1.25	0.177	21.84	17.97	221.08	276.35	43.75	47.25	1.75
T4L125E150	4	35	1.25	1.50	0.177	21.84	17.97	221.08	276.35	52.50	56.00	1.75
T4L125E175	4	35	1.25	1.75	0.177	21.84	17.97	221.08	276.35	61.25	64.75	1.75
T4L125E200	4	35	1.25	2.00	0.177	21.84	17.97	221.08	276.35	70.00	73.50	1.75
T4L150E125	4	35	1.50	1.25	0.177	21.84	17.97	221.08	331.62	43.75	47.25	1.75
T4L150E150	4	35	1.50	1.50	0.177	21.84	17.97	221.08	331.62	52.50	56.00	1.75
T4L150E175	4	35	1.50	1.75	0.177	21.84	17.97	221.08	331.62	61.25	64.75	1.75
T4L150E200	4	35	1.50	2.00	0.177	21.84	17.97	221.08	331.62	70.00	73.50	1.75
T4L175E125	4	35	1.75	1.25	0.177	21.84	17.97	221.08	386.89	43.75	47.25	1.75
T4L175E150	4	35	1.75	1.50	0.177	21.84	17.97	221.08	386.89	52.50	56.00	1.75
T4L175E175	4	35	1.75	1.75	0.177	21.84	17.97	221.08	386.89	61.25	64.75	1.75
T4L175E200	4	35	1.75	2.00	0.177	21.84	17.97	221.08	386.89	70.00	73.50	1.75
T4L200E125	4	35	2.00	1.25	0.177	21.84	17.97	221.08	442.16	43.75	47.25	1.75
T4L200E150	4	35	2.00	1.50	0.177	21.84	17.97	221.08	442.16	52.50	56.00	1.75
T4L200E175	4	35	2.00	1.75	0.177	21.84	17.97	221.08	442.16	61.25	64.75	1.75
T4L200E200	4	35	2.00	2.00	0.177	21.84	17.97	221.08	442.16	70.00	73.50	1.75

3.2. ANALİZLERDE KULLANILAN DEPREM KAYITLARI

3.2.1. Tarihi Deprem Kayıtları

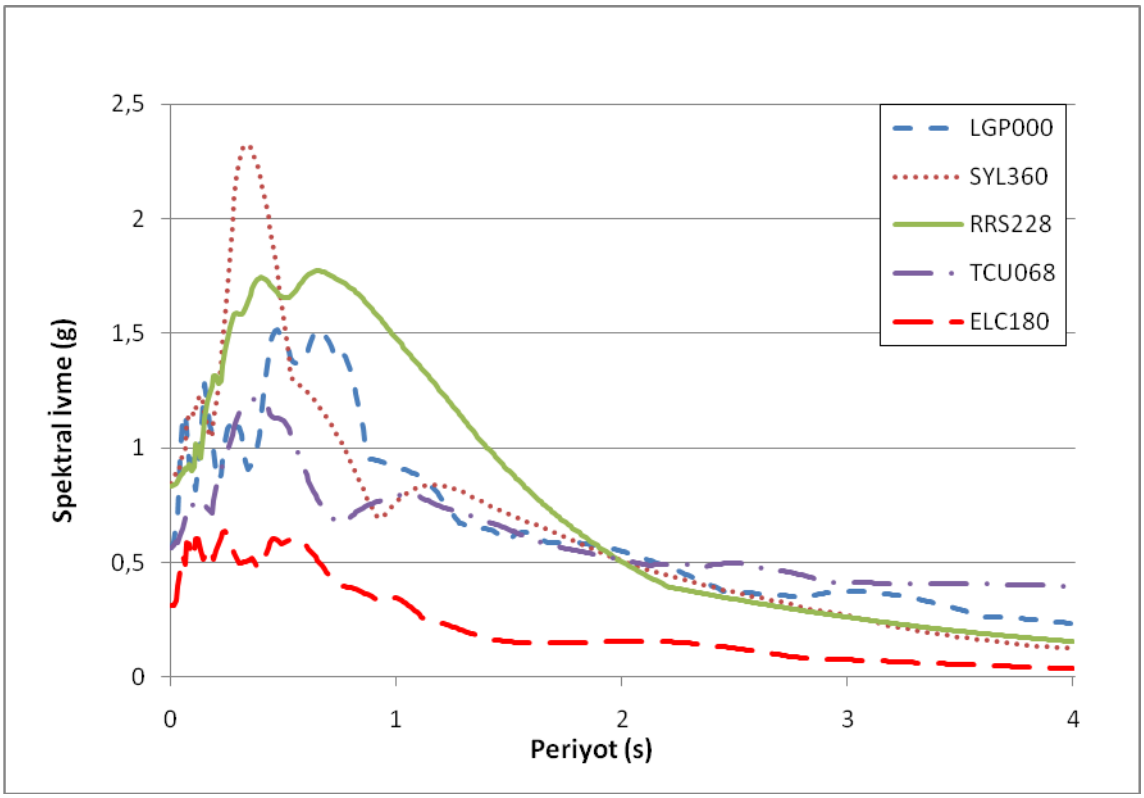
Berkeley Üniversitesi'nin "Peer Strong Motion Databank" (Berkeley, 2011) isimli bir deprem veri bankası bulunmaktadır. Tezde kullanılan veriler bu veri bankasından indirilmiştir. Deprem kayıtlarının faya yakınlık mesafesine göre, en büyük yer ivmesine göre, vb. istenilen aralıkta aratılıp bulunduğu ve indirilebildiği bir veri bankasıdır. Bu çalışmada kullanılan depremlerin adları, çalışmada kullanılacak kodları, tarihleri, faya en yakın olan uzaklıkları, kayıt adları, pik yer ivmeleri (PGA), pik yer hızları (PGV) ve pik yer ötelenmeleri (PGD) Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4: Deprem kayıtlarına ait özellikler.

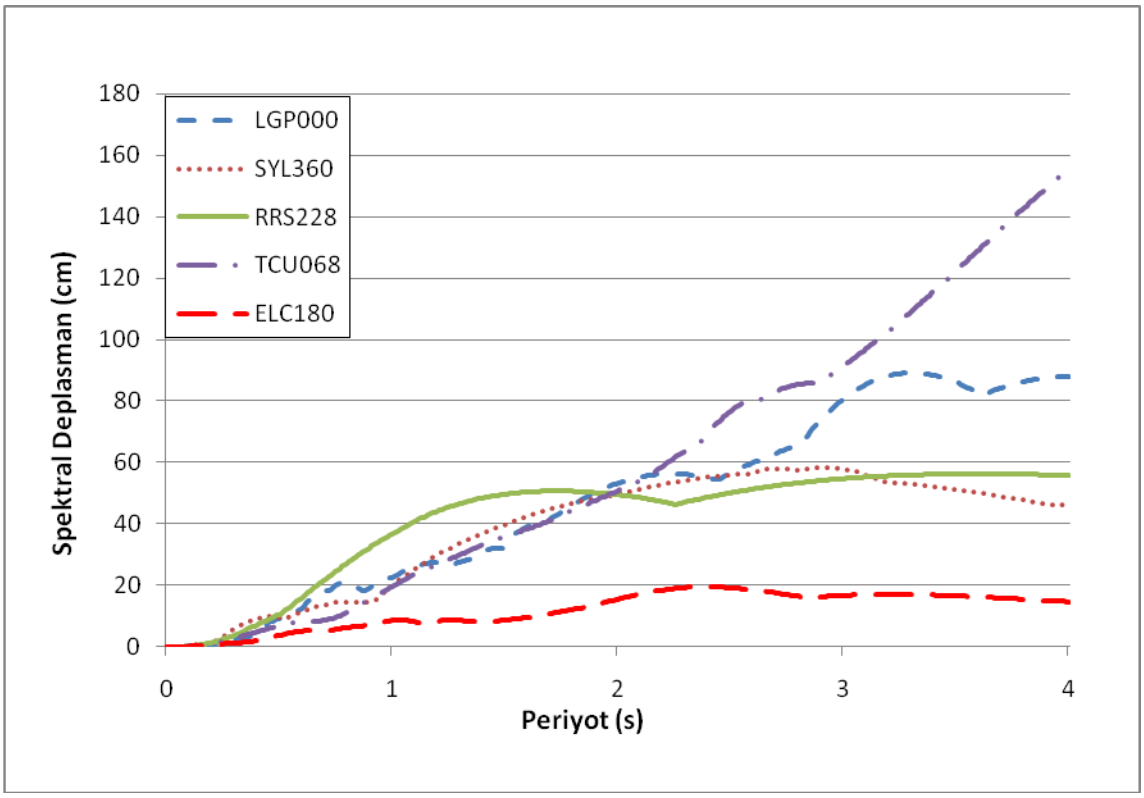
Deprem Adı	**İstasyon Adı**	**Kodu**	**Kayıt Tarihi**	**Faya En Yakın Uzaklık** (km)	$\mathbf{M_w}$	**Kayıt Adı**	**PGA** (g)	**PGV** (cm/s)	**PGD** (cm)
Loma Prieta	16 LGPC	LGP000	18/10/1989	6.1	6.9	LOMAP LGP000	0.563	94.8	41.18
Northridge	Rinaldi	RRS228	17/01/1994	7.1	6.7	NORTHR RRS228	0.838	166.1	28.78
Northridge	Sylmar	SYL360	17/01.1994	6.4	6.7	NORTHR SYL360	0.843	129.6	32.68
ChiChi	TCU068	TCU068	20/09/1999	1.09	7.6	CHICHI TCU068	0.566	176.6	324.11
Imperial Valley	El Centro Arrey	ELC180	19/05/1940	8.3	7.0	IMPVALL I-ELC180	0.313	29.8	13.32

Bu deprem kayıtlarına ait spektral ivme ve spektral deplasman grafikleri de %10 sönüm için Şekil 3.4 ve 3.5'de verilmiştir. Seçilen depremler Elcentro depremi hariç yakın fay özellikleri gösteren puls şeklinde büyük yer ivmesine sahip depremlerdir. Şekil 3.5'den de görüldüğü üzere Elcentro depremine ait spektral deplasmanlar özellikle uzun periyot bölgesinde oldukça düşüktür. Diğer dört depremin spektral deplasmanları ise sismik izolasyonlu yapıların tipik izolasyon periyodu aralığına denk gelen kısımda (2.5 s ila 4 s arası) oldukça büyüktür (yaklaşık 50 cm'den fazla). Seçilen bu yakın depremler tezin inceleme konusu olan sismik izolasyonlu yapılar üzerinde önemli etkisi olan ve izolasyon sistemine büyük deplasmanlar yaptırarak rijitleşme bölgesine sokabilecek deprem türleridir. Özellikle TCU068 için, yaklaşık 3 saniyeden sonra 100 santimetrenin üzerinde bir spektral deplasman gerçekleşmektedir. Benzer şekilde Loma Prieta için de büyük periyotlar için 80 santimetrenin üzerinde spektral deplasmanlar gözlenmekle birlikte 3 s ile 4 s arasında periyot artışına bağlı olarak spektral deplasmanda bölgesel

bir azalma da görülebilmektedir ve bu durumun izolasyon sisteminin rijitleşme özelliği ile olan ilişkisi daha sonra irdelenecektir. Benzer bölgesel azalış durumu, TCU068 için 2.5 s ile 3 s aralığında görülmektedir.



Şekil 3.4: Tarihi deprem kayıtlarına ait %10 sönümlü ivme spektrumları.



Şekil 3.5: Tarihi deprem kayıtlarına ait %10 sönümlü deplasman spektrumları.

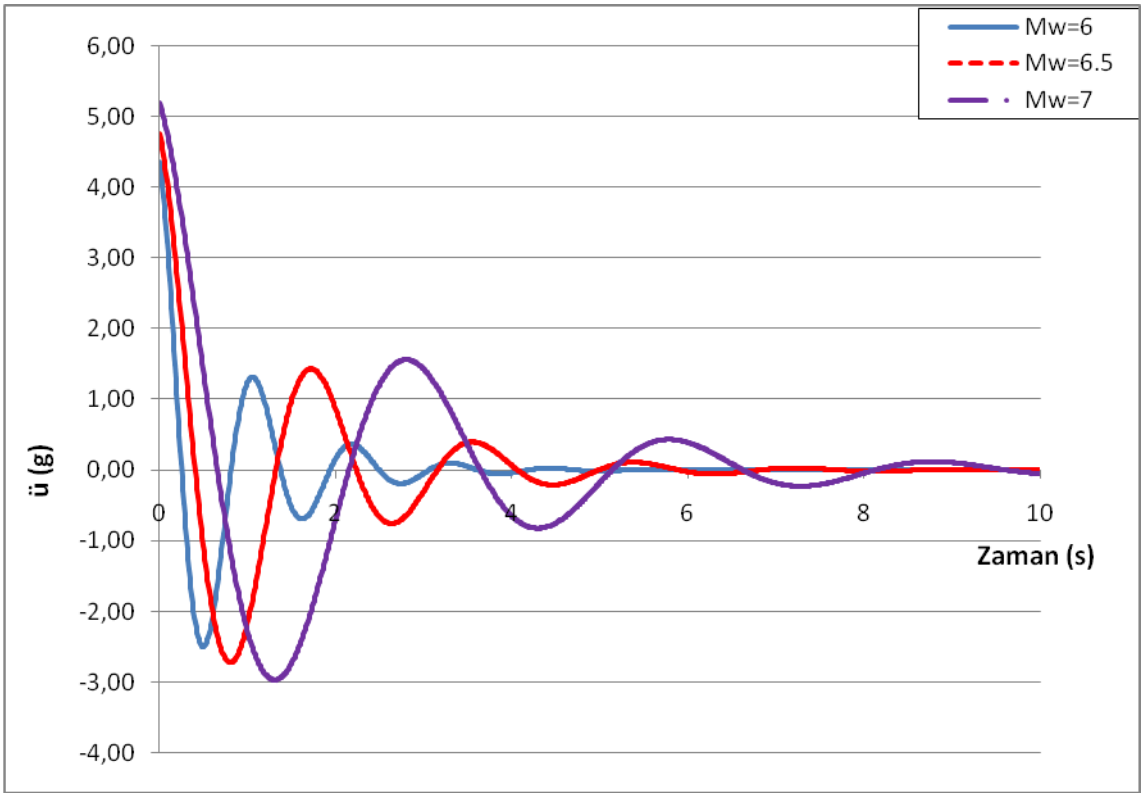
3.2.2 Sentetik Deprem Kayıtları

Sentetik deprem kayıtlarının üretilmesi ile ilgili teorik bilgi Bölüm 2.3'de detaylı olarak verilmiştir. Bu tez kapsamında üç farklı deprem büyüklüğü (M_W) ve beş farklı fay hattına olan mesafe (r) göz önüne alınmıştır. $\zeta_p = \%20$ deprem sönümü kabulü ile üretilen 15 farklı deprem kaydı için maksimum yer hareketi hızı (V_p), puls periyodu (T_p) ve maksimum yer hareketi ivmesi ($A = max|\ddot{u}|$) Tablo 3.5'de verilmiştir.

Deprem kayıtları toplam 18 s süreye sahip olacak şekilde üretilmiştir. Görsel karşılaştırma imkanı sunabilmek için $r = 3$ km'de üretilen kayıtların ivme-zaman (Denklem 2.21) grafikleri Şekil 3.6'da ilk 10 s için sunulmuştur.

Tablo 3.5: $\zeta_p = \%20$ kabulü ile üretilen sentetik depremlere ait değerler.

r (km)	V_p (cm/s)			T_p (s)			A (g)		
	M_w=6.0	M_w=6.5	M_w=7.0	M_w=6.0	M_w=6.5	M_w=7.0	M_w=6.0	M_w=6.5	M_w=7.0
3	57.735	102.669	182.574	1.122	1.830	2.985	0.44	0.48	0.53
5	44.721	79.527	141.421	1.122	1.830	2.985	0.34	0.37	0.41
7	37.796	67.213	119.523	1.122	1.830	2.985	0.29	0.32	0.35
9	33.333	59.276	105.409	1.122	1.830	2.985	0.26	0.28	0.30
11	30.151	53.617	95.346	1.122	1.830	2.985	0.23	0.25	0.28



Şekil 3.6: Sentetik deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafiği.

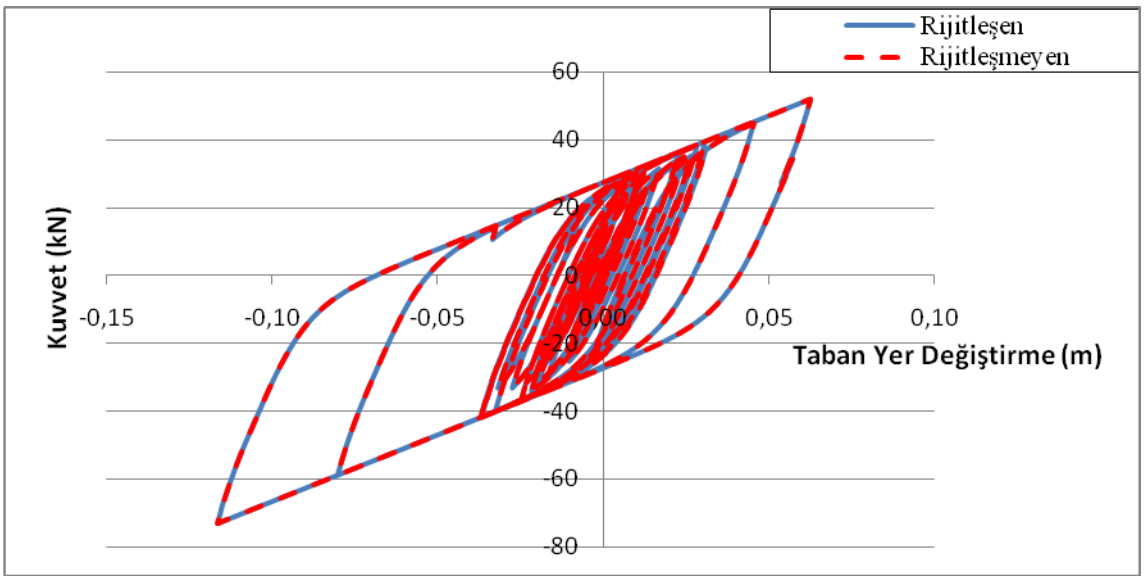
4.BULGULAR

4.1. YAKIN DEPREM ETKİSİ

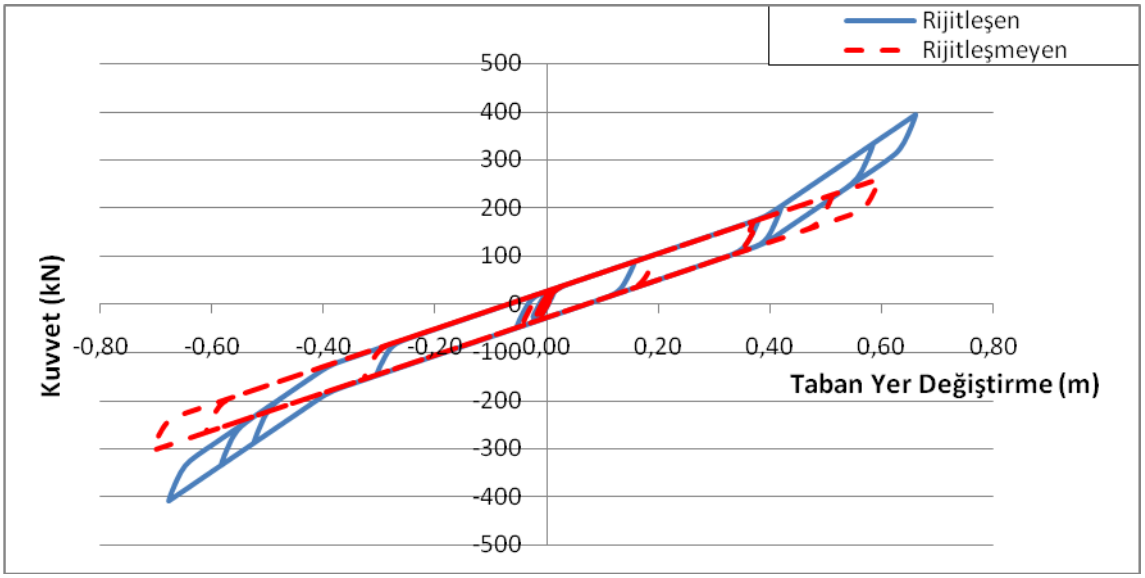
Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerden oluşan izolasyon sistemlerinde rijitleşme ancak belirli bir deplasman değeri aşıldıktan sonra ortaya çıkmaktadır (Bkz. Bölüm 2.2). Dolayısıyla bu tür sistemlere çok büyük deplasmanlar yaptırmayan orta büyüklükteki, fay hattına uzak mesafelerde ortaya çıkan depremlerde rijitleşmeli ve rijitleşmesiz modellerin yapısal cevapları arasında önemli bir farklılığın olmayacağı öngörülmektedir. Öte taraftan fay hattına yakın mesafelerdeki deprem kayıtları söz konusu olduğunda özellikle de yön etkisine bağlı olarak ortaya çıkan yüksek hız pulsu ve puls periyoduyla kendini gösteren yakın depremler etkisi altındaki sismik izolasyonlu yapılar için durum farklı olabilir. Ortaya çıkabilecek çok büyük deplasmanlar sebebiyle rijitleşmeli modelin rijitleşmesiz modele göre farklı sonuçlar üreteceği öngörülebilir. Bu kısımda, anlatılan bu durum, ele alınacak T3L200E125 (Bkz. Tablo 3.3) izolasyon modeline sahip 6 katlı örnek yapının (Bkz. Bölüm 3.1) yakın deprem özelliği göstermeyen ELC180 kaydı ve yakın deprem özelliği gösteren SYL360 kaydına (Tablo 3.4, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5) maruz bırakılması yöntemiyle irdelenmiştir. Aynı sismik izolasyonlu yapı, her iki deprem altında hem izolasyon sistemindeki rijitleşmenin göz önüne alındığı (rijitleşen) hem de rijitleşmenin göz önüne alınmadığı (rijitleşmeyen) durum için karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Şekil 4.1'de, sismik izolasyon sistemindeki bir izolatöre ait kuvvet-yer değiştirme grafikleri, ELC180 ve SYL360 depremleri için; rijitleşen ve rijitleşmeyen modeller kullanılması durumlarını karşılaştırmak üzere sunulmuştur. Zamana bağlı olarak histeretik davranışı gösteren bu grafiklerden açıkça görüleceği üzere (Şekil 4.1a), rijitleşen ve rijitleşmeyen modeller, ELC180 depremi altında bir davranış farklılığı göstermemekte, deplasmanlar $D_1 = 36$ cm olan rijitleşme başlangıç deplasmanının altında kaldığından rijitleşme ortaya çıkmamakta ve dolayısıyla her iki model de rijitleşmeyen modelin histeretik davranışını (Bkz. Şekil 2.2) ortaya koymaktadır. Öte yandan, yakın deprem özelliği gösteren SYL360 depremi için (Şekil 4.1b) deplasmanlar $D_1 = 36$ cm'nin çok üzerine çıkmakta ve rijitleşmeyen modelin kullanıldığı durumda

Şekil 2.2'dekine benzer histeretik davranış gözlenirken, rijitleşme olan modelin kullanıldığı durumda $D_1 = 36$ cm deplasman sınırında başlayan bir rijitleşme (pekleşme) açık olarak gözlenmekte ve bu modelin histeretik davranışının Şekil 2.3'de gösterilen davranışla örtüştüğü görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.1: Bir izolatöre ait kuvvet-yer değiştirme grafiği: (a) ELC180 (b) SYL360

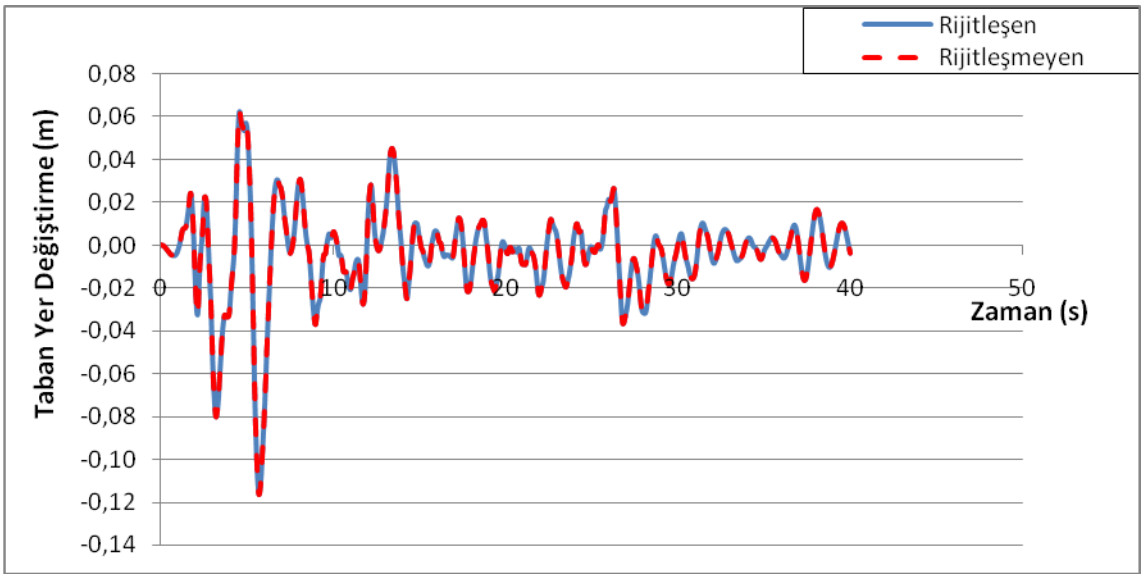
Tablo 4.1'den görüldüğü üzere ELC180 depremi altında pik taban deplasmanı rijitleşmeli ve rijitleşmesiz modellerin her ikisi için de deplasmanının altında kalarak 11.66 cm çıkmış, SYL360 depreminde ise D_1 deplasmanı aşıldığından rijitleşmeli modelde pik taban deplasmanı 67.87 cm çıkarak rijitleşmesiz modele ait 70.72 cm deplasmandan yaklaşık %4 daha az olmuştur. ELC180 depreminde rijitleşmesiz durumda bir izolatörün pik kuvveti 73.20 kN iken, D_1 deplasmanı aşılmadığı için rijitleşen durum için de yine 73.20 kN çıkmıştır. Diğer taraftan yakın deprem özelliği gösteren SYL360 depreminde ise rijitleşmeyen durumda bir izolatöre ait pik kuvvet 305.10 kN iken, D_1 deplasmanı aşıldığı için rijitleşen durumda diğer durumdan farklılık göstererek 407.60 kN bulunmuştur. Böylece, SYL360 depreminde rijitleşen durumun pik kuvveti rijitleşmesiz modele ait pik kuvvetten %33.60 daha fazla çıkmıştır.

Tablo 4.1: Elcentro ve Sylmar depremlerine ait değerler.

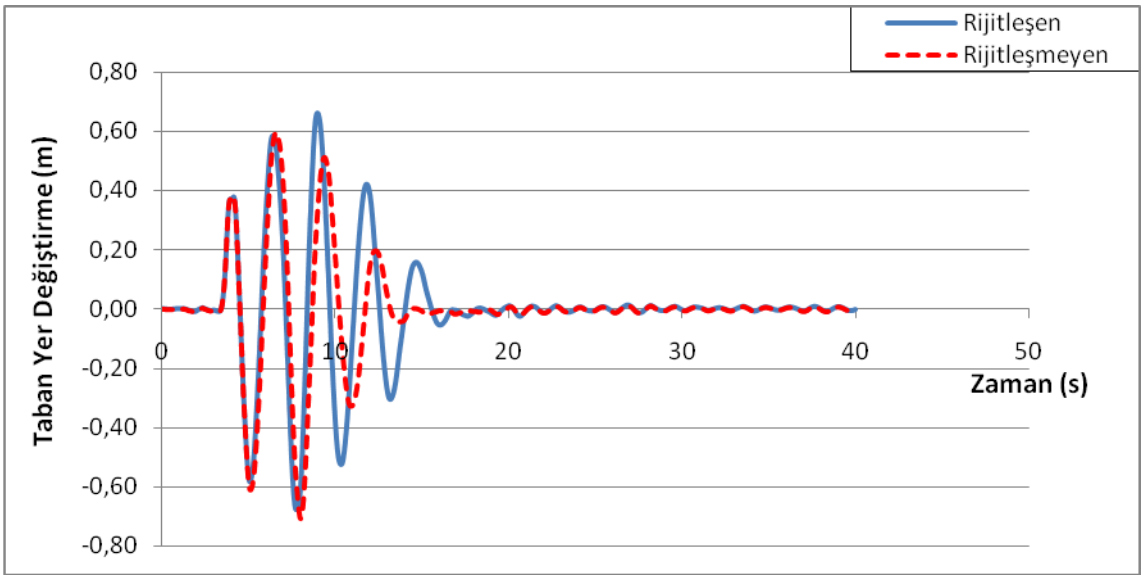
Deprem	**Pik kuvvet (kN)**		**Pik taban ivmesi (m/s^2)**		**Pik taban yerdeğiştirmesi (cm)**	
	Rijitleşmeyen	Rijitleşen	Rijitleşmeyen	Rijitleşen	Rijitleşmeyen	Rijitleşen
ELC180	73.20	73.20	1.094	1.094	11.66	11.66
SYL360	305.10	407.60	3.356	4.301	70.72	67.87

Şekil 4.2'de ELC180 ve SYL360 depremleri altında bir izolatöre ait taban yer değiştirme-zaman grafiği, Şekil 4.3'de ise bir izolatöre ait taban ivme-zaman grafiği gösterilmektedir. Bu grafiklerden de görüldüğü üzere D_1 deplasmanını aşmayan ELC180 depreminde grafikler üst üste çakışırken, D_1 deplasmanını aşan yakın deprem özelliği gösteren SYL360 depreminde rijitleşen ve rijitleşmeyen durumlara ait grafikler birbirlerinden farklı çıkmıştır.

Yukarıda ortaya konduğu üzere, yakın deprem özelliği gösteren depremlerde rijitleşmeli ve rijitleşmesiz durumun farklılığı rahatlıkla gözlenebilirken, yakın deprem özelliği göstermeyen depremlerde ise, bu durumun etkisinin olmadığı gözlenmektedir. Bu yüzden, Tablo 3.4'de belirtilen depremlerden yakın deprem etkisi gösteren depremler (LGP000, SYL360, RRS228, TCU068) ve Tablo 3.4'de r = 3, 5, 7, 9, 11 km için üretilen yakın deprem özelliğine sahip sentetik depremler çalışmanın devamındaki analizlerde kullanılmıştır.

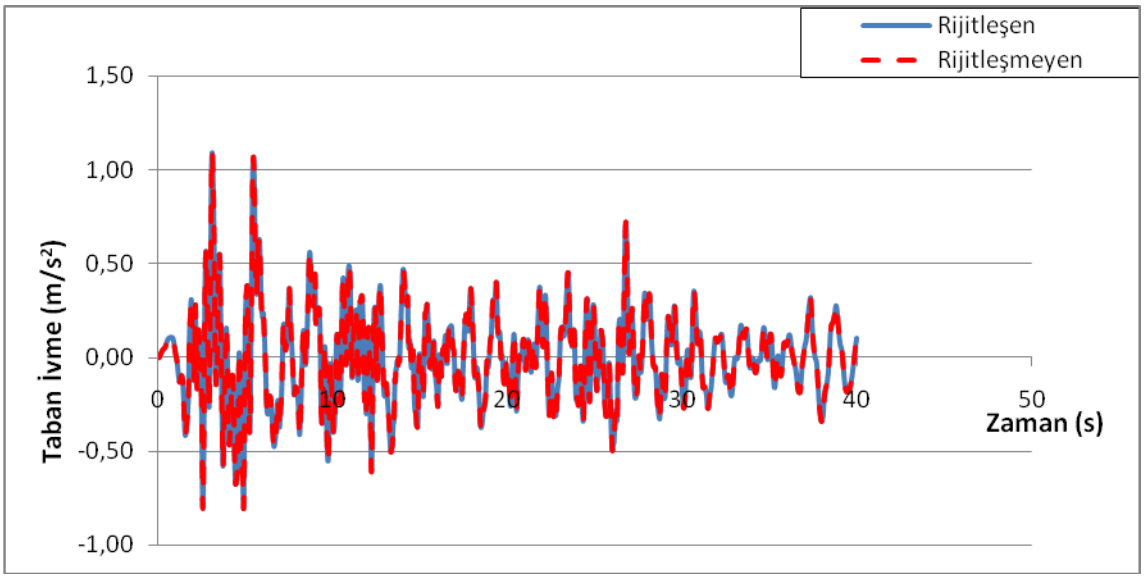


(a)

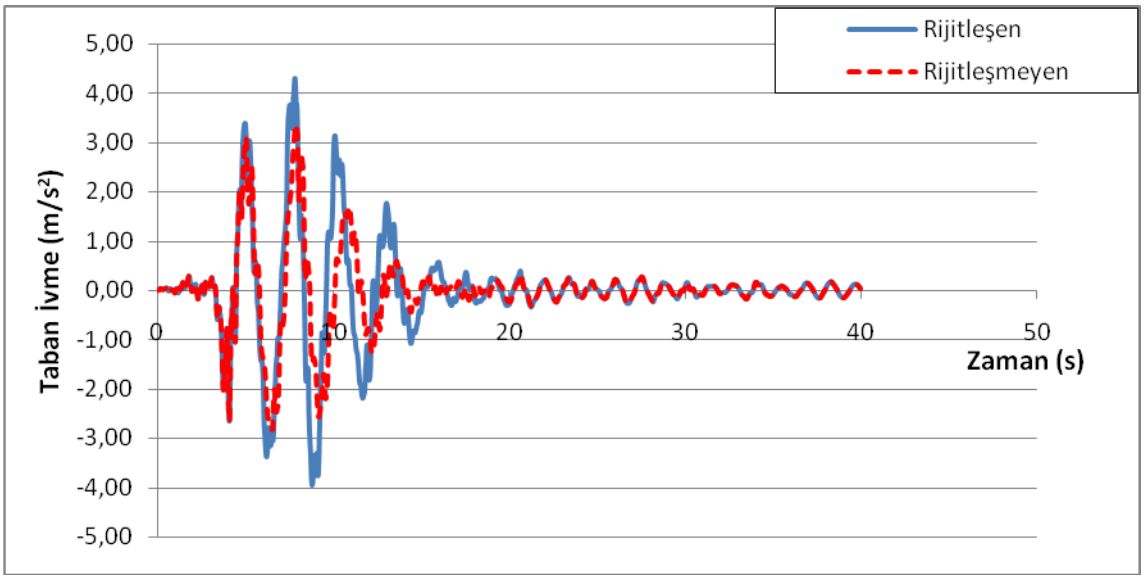


(b)

Şekil 4.2: Bir izolatöre ait taban yer değiştirme-zaman grafiği: (a) ELC180 (b) SYL360



(a)



(b)

Şekil 4.3: Bir izolatöre ait taban ivme-zaman grafiği: (a) ELC180 (b) SYL360

4.2. DUYARLILIK ANALİZLERİ

Bu bölümde sunulan şekil ve tablolardaki yapısal cevap parametreleri aşağıdaki gibidir:

- pik kat ivmeleri (a),
- pik göreli kat ötelemeleri (Δ),
- izolasyon sisteminin pik deplasmanları (d).

Bunlardan izolasyon sistemi deplasmanı eksantrisite olmadığı için tüm izolatörlerde aynıdır. Bu yapısal cevap parametreleri hem rijitleşen durum için hem de rijitleşmeyen durum için ayrı ayrı ele alınmıştır. Rijitleşen (**s**tiffening) durum için s alt indisi kullanılmıştır (a_s, Δ_s, d_s). Rijitleşmeyen (**n**on **s**tiffening) durum için ns indisi kullanılmıştır (a_{ns}, Δ_{ns}, d_{ns}).

Rijitleşen durumun ivme değerinin rijitleşmeyen durumun ivme değerine oranı (a_s/a_{ns}), rijitleşen durumun göreli kat ötelemesi değerinin rijitleşmeyen durumun göreli kat ötelemesi değerine oranı (Δ_s/Δ_{ns}), rijitleşen durumun izolasyon sistemi pik deplasman değerinin rijitleşmeyen durumun izolasyon sistemi pik deplasman değerine oranı (d_s/d_{ns}) gösterilmiştir. EK-2'de rijitleşmeyen duruma ait ivme, göreli kat ötelemesi ve izolasyon sistemi deplasman değerleri tüm depremler için ayrıca sunulmuştur.

Bu kısımda, sismik izolasyonlu binaların sismik performanslarının λ ve η parametrelerine olan duyarlılığı incelenmiştir. İncelemeler tüm yakın depremler için yapılmakla birlikte, örnek teşkil etmesi amacıyla irdelemeler ve grafikler Loma Prieta (LGP000) depremi için sunulmuştur. Diğer depremler için eğilimler benzerdir.

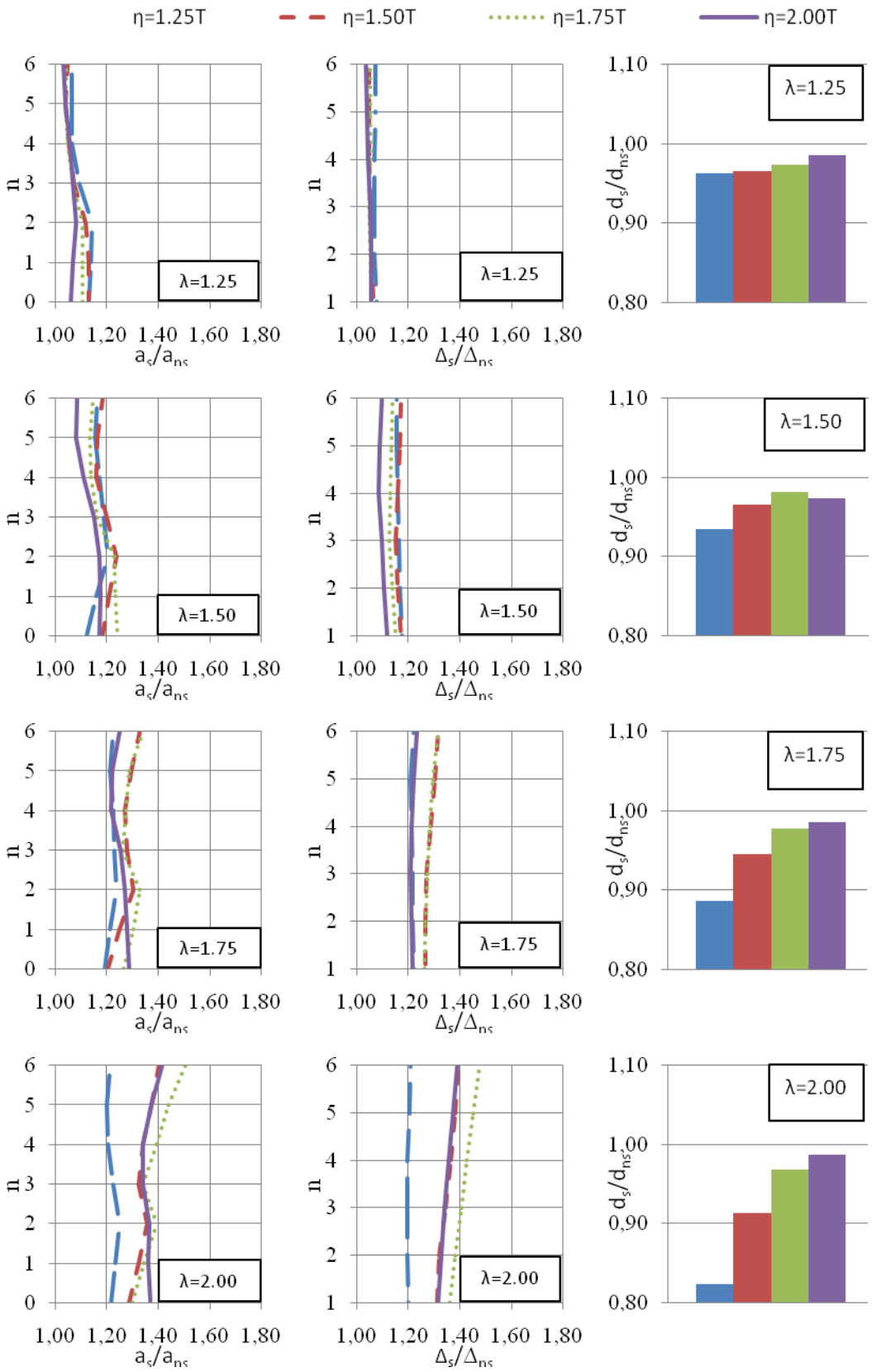
Loma Prieta (LGP000) depremine ait T_D=3s için, λ=1.25, 1.50, 1.75, 2.00 olduğu durumlarda η değişimleri Şekil 4.4'de, T_D=4s için, λ=1.25, 1.50, 1.75, 2.00 olduğu durumlarda η değişimleri Şekil 4.6'da yer almaktadır.

Loma Prieta (LGP000) depremine ait T_D=3s için η=1.25, 1.50, 1.75, 2.00 olduğu durumlarda λ değişimleri Şekil 4.5'de, T_D=4s için η=1.25, 1.50, 1.75, 2.00 olduğu durumlarda λ değişimleri Şekil 4.7'de yer almaktadır.

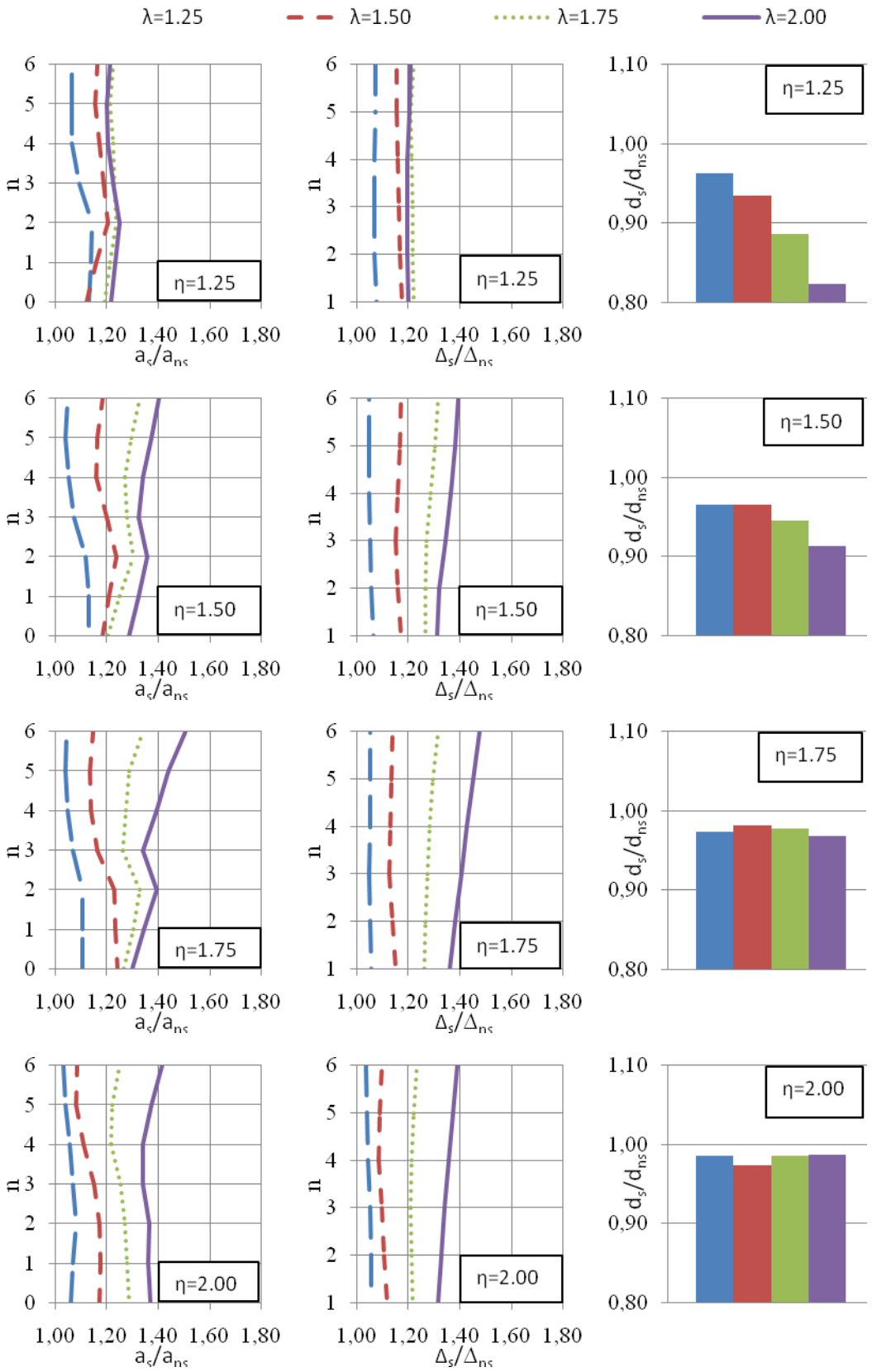
Şekil 4.4 ve 4.6'dan görüleceği üzere tüm sismik performans parametreleri için λ değerleri arttıkça η'ya olan duyarlılık da artmaktadır. Örneğin ivme ve göreli kat ötelemeleri için λ=1.25 olduğu durumda η değerleri 1.00-1.20 aralığında bulunurken, λ=2.00'ye çıktığında oran etkinliği ivme ve göreli kat ötelemesi için 1.20-1.40 aralığına çıkmaktadır. İzolasyon sistemi deplasmanı için ise λ=1.25'de η değerleri 0.98 civarında ve yaklaşık aynı iken λ=2.00'ye çıktığında η değerleri 1.00'in üzerine çıkabildiği gibi (Şekil 4.6) 1.00'in altında da kalabilmekte, hatta 0.82'ye kadar indiği gözlenmektedir (Şekil 4.4). T_D=3 s ve T_D=4 s için genel eğilimler aynı olmakla birlikte niceliksel olarak farklılıklar gözlenebilmektedir. Bu irdeleme ışığında, tipik olarak λ=1.25 ve λ=2.00 değerlerinin sırasıyla en az ve en çok etkin durumlar olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.5 ve 4.7'den gözlenen genel eğilim, η değerinin azalması ile λ'ya olan duyarlılık artmaktadır. Ayrıca, Şekil 4.6'dan bariz bir şekilde gözlendiği üzere, aynı bir λ değeri için, η değerinin azalması durumunda rijitleşen/rijitleşmeyen oranlarında artış görülmektedir. Bu irdelemeler ışığında, η=1.25 ve η=2.00 değerlerinin sırasıyla en çok ve en az etkin durum olduğu anlaşılmaktadır.

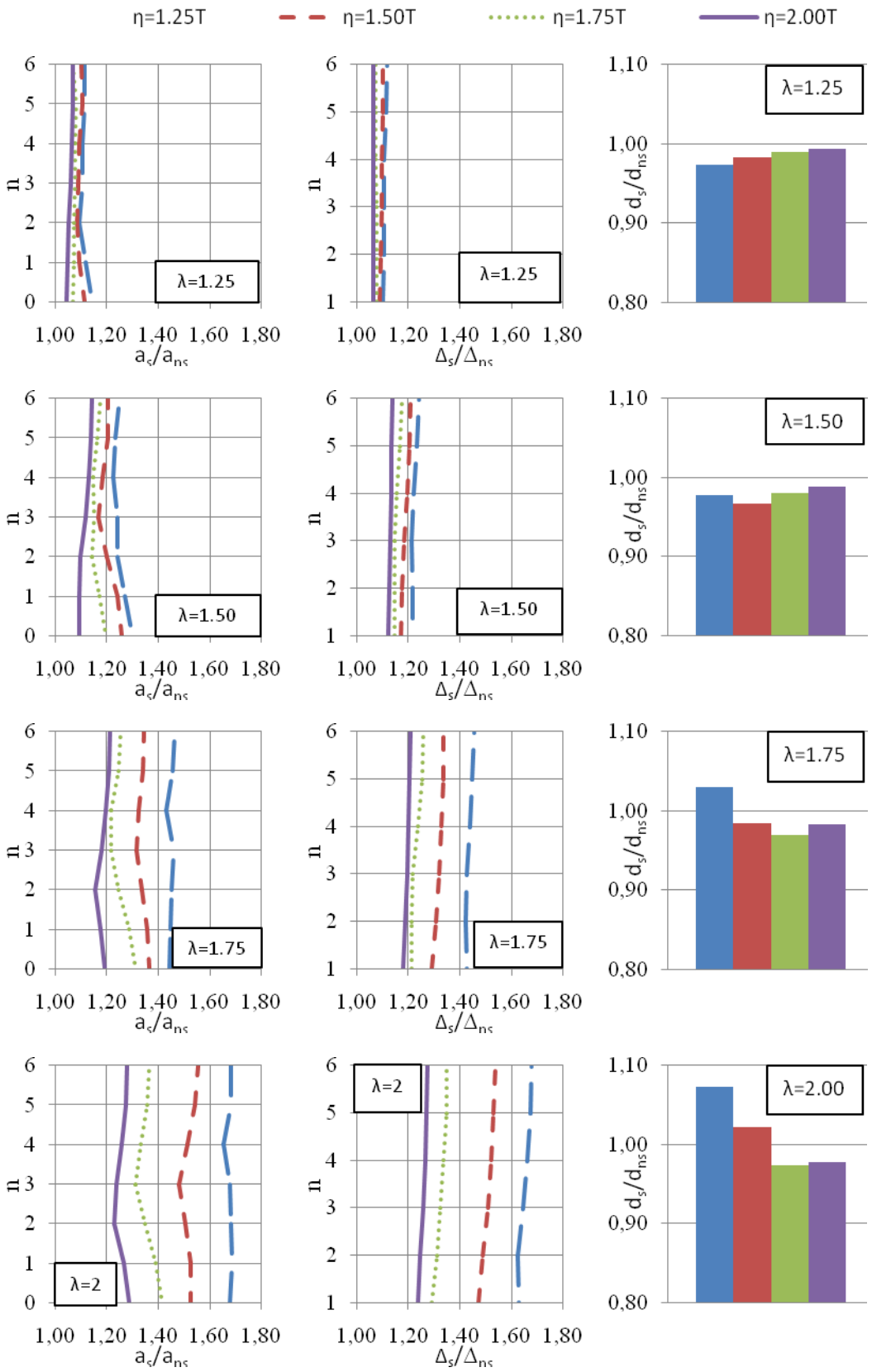
Yukarıdaki genel duyarlılık incelemelerine bağlı olarak, çalışmanın kalan kısmında, rijitleşmenin sismik performansa olan etkisinin en az ve en çok olduğu durumları temsil etmesi açısından, detaylı incelemeler (λ=2.00 η=1.25) ve (λ=1.25 η=2.00) uç değerleri için sunulmuştur.



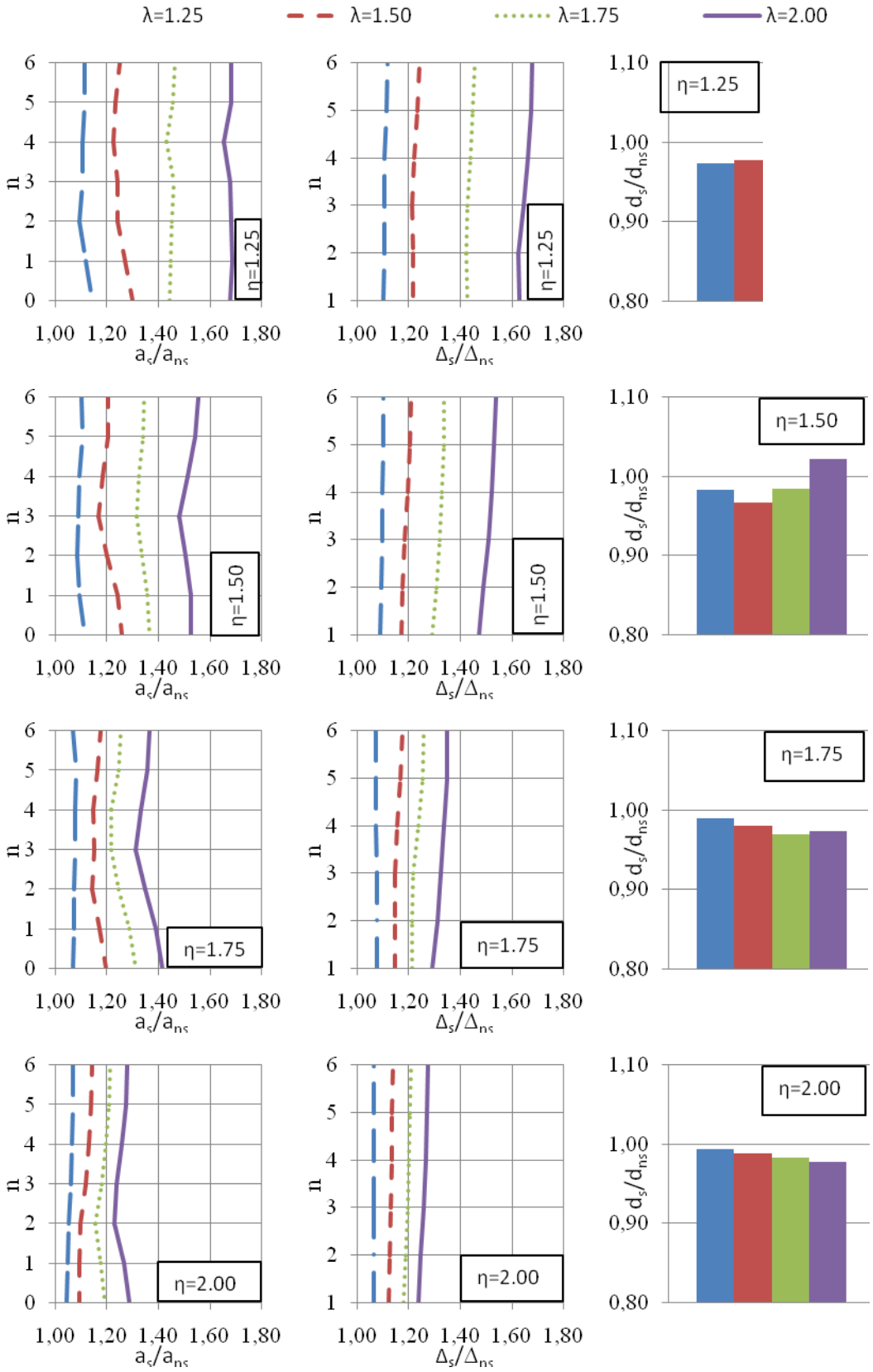
Şekil 4.4: LGP000 depremi ve T_D=3 s için duyarlılık analizleri (λ =1.25, 1.50, 1.75, 2.00)



Şekil 4.5: LGP000 depremi ve T_D=3 s için duyarlılık analizleri (η =1.25, 1.50, 1.75, 2.00)



Şekil 4.6: LGP000 depremi ve T_D=4 s için duyarlılık analizleri (λ =1.25, 1.50, 1.75, 2.00)



Şekil 4.7: LGP000 depremi ve T_D=4 s için duyarlılık analizleri (η =1.25, 1.50, 1.75, 2.00)

4.3. SİSMİK PERFORMANSIN MODELLEMEYE BAĞLI DEĞİŞİMİ

4.3.1. Tarihi Depremler İçin Analizler

Aşağıda, tezde kullanılan yakın deprem özelliği olan depremlere ait (LGP000, SYL360, RRS228 ve TCU068) T_D=3s için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (Şekil 4.8) ve T_D=4s için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (Şekil 4.9) yer almaktadır.

Şekil 4.8 ve 4.9'dan görüldüğü üzere, modelleme türüne bağlı olarak sismik performansta ortaya çıkan farklılıklar en fazla kat ivmeleri ve göreli kat ötelemeleri için ortaya çıkmıştır. Deprem türüne ve izolasyon sistemi karakteristiğine bağlı olarak değişmekle birlikte, özellikle (λ=2.00 η=1.25) durumunda –ki bu (λ, η) kombinasyonunun yapılan duyarlılık analizleri sonucunda (Bkz. Bölüm 4.2) rijitleşmenin sismik performansa olan etkisinin en çok olabileceği durum olarak belirlenmişti- ivme ve göreli kat ötelemesi oranlarının yaklaşık 2.0'a kadar çıkabildiği görülmektedir.

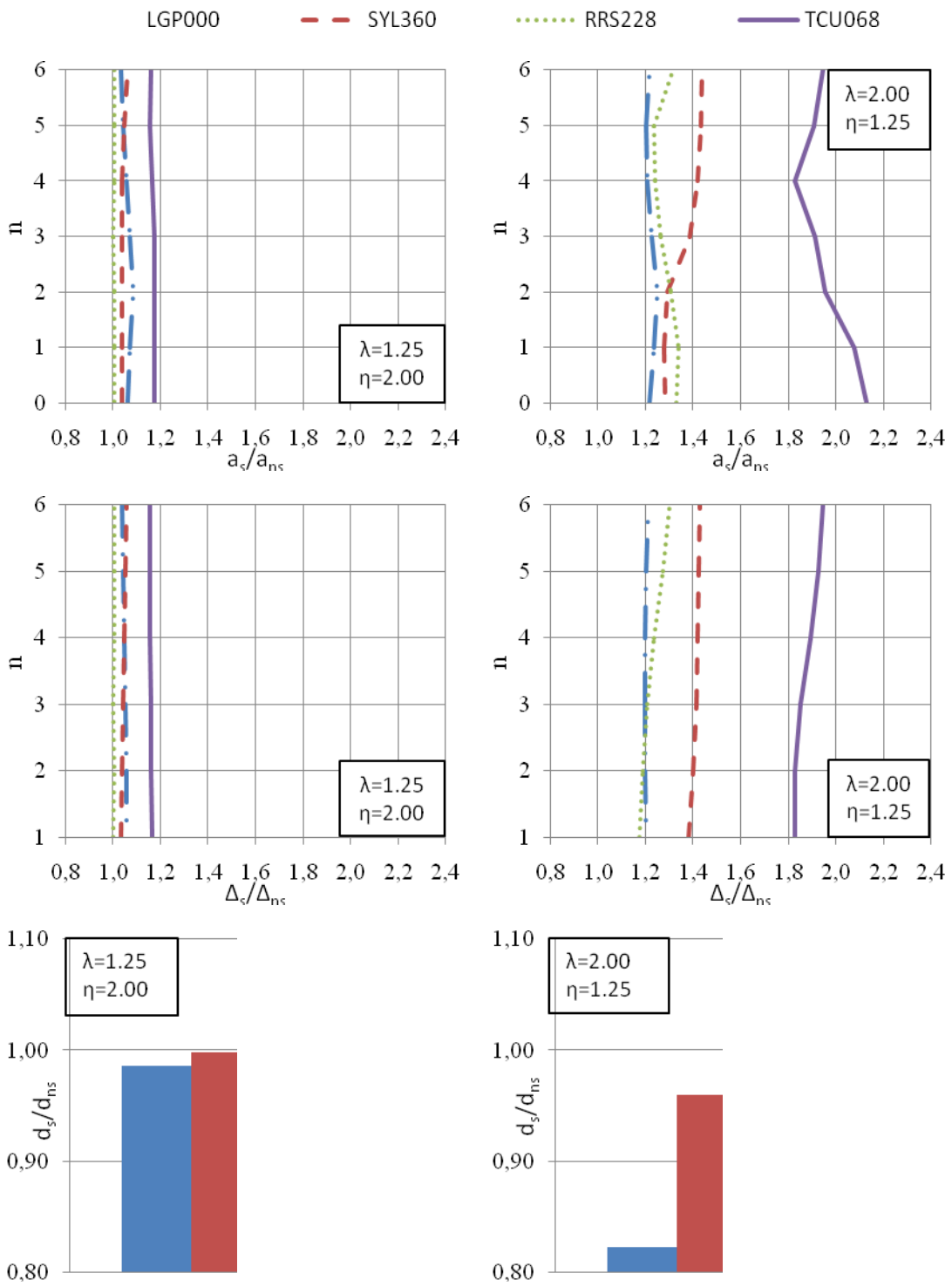
Modellemede rijitleşmenin göz önüne alınmasının ivmeler ve göreli kat ötelemeleri üzerinde yarattığı etkinin, izolasyon sistemi deplasmanlarında ortaya çıkan (%10'dan daha az) değişime nazaran çok daha fazla olmasının sebebi, izolasyon sistemi deplasman limiti (D_1) aşıldığında izolatör kuvvetlerinin deplasmandaki değişime nazaran çok daha hızlı bir şekilde değişmesidir. Bu durum Bölüm 4.1'de yapılan irdelemede ortaya konmuş, SYL360 depremi altında izolasyon sistemi deplasmanındaki azalış %4'den daha az iken, pik izolatör kuvvetindeki artış %33.6 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.8'den gözlenen bir diğer dikkat çekici durum, TCU068 depremi için elde edilen oranların birbirlerine çok yakın oransal değerler veren diğer depremlerden bariz bir şekilde farklılık göstermesidir. Diğer 3 deprem birbirine yakın değerler vermiştir, ancak TCU068 ayrılmış durumdadır. Bu durum, TCU068 depremi altında ortaya çıkan izolasyon sistemi deplasmanlarının çok yüksek olması ve buna bağlı olarak rijitleşmenin sismik performansa olan etkisinin daha belirgin olarak ortaya çıkmasına bağlanabilir.

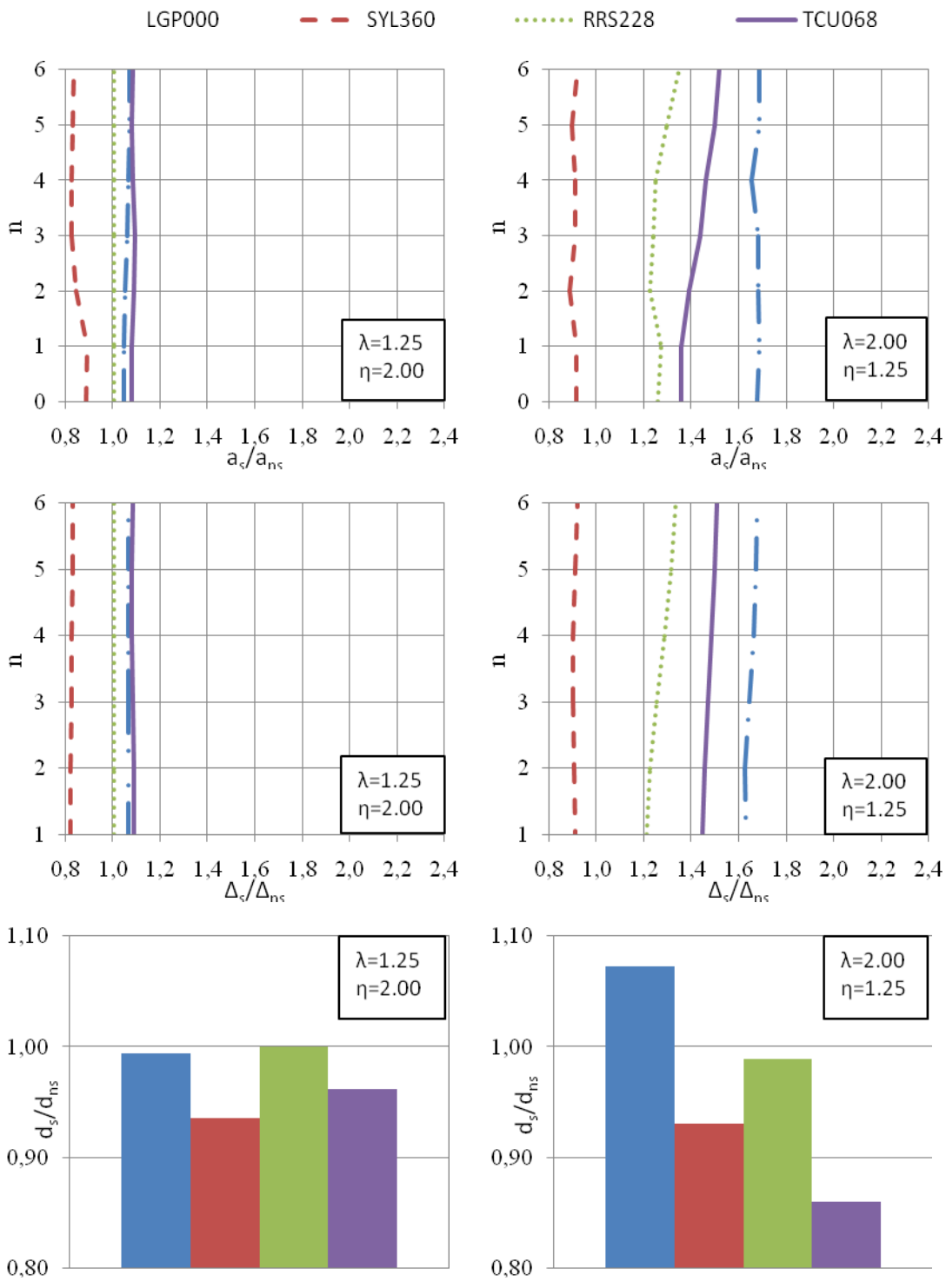
İzolasyon sistemi karakteristiğinin modelleme türünün sismik performansa etkisi açısından önem taşıdığı da Şekil 4.8 ve 4.9 karşılaştırıldığında açıkça ortaya çıkmaktadır. T_D=3s için ivme oranları 1.0'ın altına hiçbir deprem için düşmemekteyken (Şekil 4.8), T_D=4s için SYL360 depremi durumunda yaklaşık 0.80'e kadar inebilmektedir (Şekil 4.9). Ayrıca, T_D=3s için ivme oranları örneğin TCU068 depreminde 2.0'ın üzerine çıkarken aynı deprem altında T_D=4s'de yaklaşık 1.50 olmaktadır.

Yukarıda, kat ivmeleri için tartışılan durum göreli kat ötelemeleri için hem niteliksel hem de niceliksel olarak benzerlik arz etmektedir. Yine T_D=3s için göreli kat ötelemeleri oranları 1.0'ın altına hiçbir deprem için düşmemekteyken (Şekil 4.8), T_D=4s için SYL360 depremi durumunda yaklaşık 0.80'e kadar inebilmektedir (Şekil 4.9). Ayrıca, T_D=3s için göreli kat ötelemeleri oranları örneğin TCU068 depreminde 1.90'nın üzerine çıkarken aynı deprem altında T_D=4s'de yaklaşık 1.50 olmaktadır.

İzolasyon sistemi deplasmanları üzerinde modelleme türünün etkisi incelendiğinde, rijitleşmenin göz önüne alınmasıyla deplasmanların genellikle azaldığı görülmektedir (Şekil 4.8 ve 4.9). Bahsi geçen azalmalar depreme bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte yaklaşık %20'ye kadar ulaşabilmektedir (Bkz. Şekil 4.8, LGP000 depremi). Ancak burada önemle belirtilmesi gereken husus, rijitleşme dolayısıyla her zaman deplasmanlarda bir azalma olmayacağı, deprem ve izolasyon sistemi karakteristiği kombinasyonuna bağlı olarak bazı durumlarda az da olsa bir artışın olabileceğidir. Bahsi geçen durum Şekil 4.9'da LGP000 depremi için (deplasmanda rijitleşme dolayısıyla %7 artış) ve Şekil 4.8'de TCU068 depremi için (deplasmanda rijitleşme dolayısıyla %10 artış) net bir şekilde gözlenmektedir.



Şekil 4.8: LGP000,SYL360,RRS228 ve TCU068 depremleri için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (T_D=3 s)



Şekil 4.9: LGP000,SYL360,RRS228 ve TCU068 depremleri için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (T_D=4 s)

Sadece (λ=1.25 η=2.00) ve (λ=2.00 η=1.25) durumları göz önüne alındığında farklı λ ve η kombinasyonları için ortaya çıkması muhtemel daha yüksek rijitleşen/rijitleşmeyen oranları olabileceği düşünülerek ve oranlara ait mutlak alt ve mutlak üst değerleri belirleyebilmek için, tüm λ ve η kombinasyonlarına ait (T3L125E125, T3L125E150……..,, T4L125E125,T4L125E150……) oransal değerler deprem veya izolasyon sistemi karakteristiği ayrımı da yapılmaksızın toplu halde Şekil 4.10'da sunulmuştur. Şekil 4.10a, 4.10b ve 4.10c'de sırasıyla a_s/a_{ns}, Δ_s/Δ_{ns}, d_s/d_{ns} grafikleri bulunmaktadır.

Rijitleşmenin dikkate alındığı durumun kat ivmesi değerinin, rijitleşmenin dikkate alınmadığı durumun kat ivmesi değerine oranları a_s/a_{ns} incelendiğinde (Şekil 4.10a), bu oranların dağılımı aşağıdaki gibi olmaktadır:

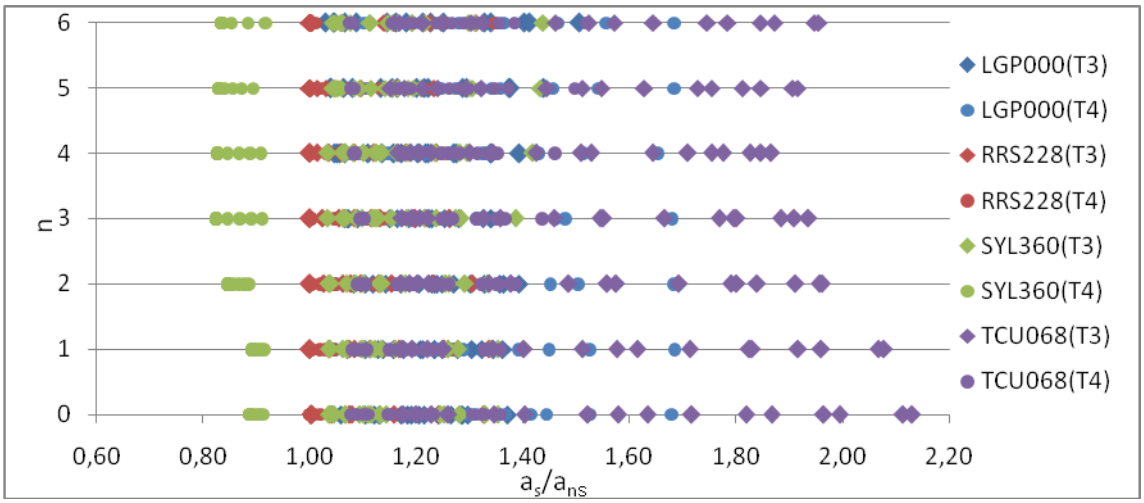
- %13'ü 0.82~1.00 aralığındadır.
- %75'i 1.00~1.40 aralığındadır.
- %12'si 1.40~2.13 aralığındadır.

Rijitleşmenin dikkate alındığı durumun göreli kat ötelemesi değerinin, rijitleşmenin dikkate alınmadığı durumun göreli kat ötelemesi oranları Δ_s/Δ_{ns} incelendiğinde (Şekil 4.10b), bu oranların dağılımı aşağıdaki gibi olmaktadır:

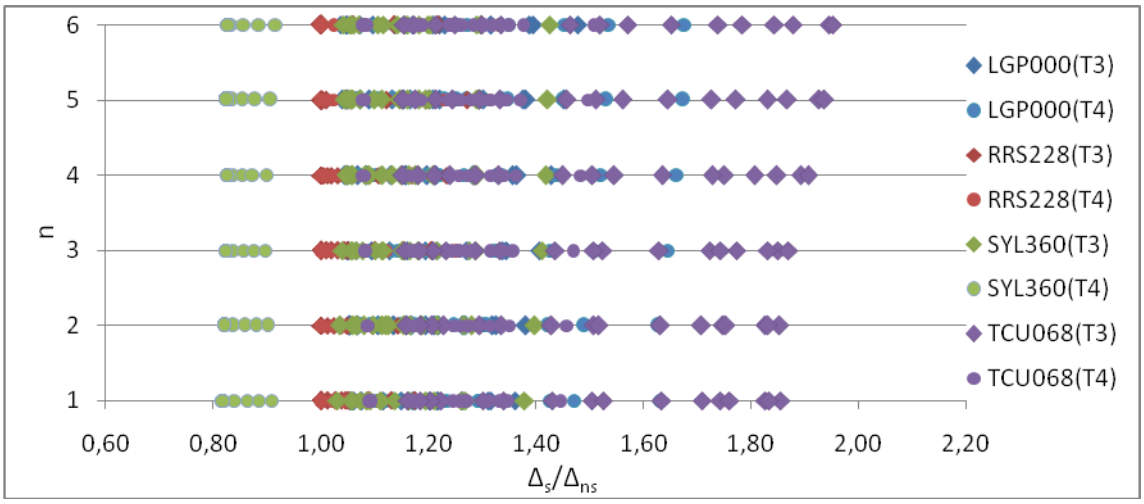
- %13'ü 0.82~1.00 aralığındadır.
- %75'i 1.00~1.40 aralığındadır.
- %12'si 1.40~1.95 aralığındadır.

Rijitleşmenin dikkate alındığı durumun izolasyon sistemi deplasman değerinin, rijitleşmenin dikkate alınmadığı izolasyon sistemi deplasman değerine oranları d_s/d_{ns} incelendiğinde (Şekil 4.10c), bu oranların dağılımı aşağıdaki gibi olmaktadır:

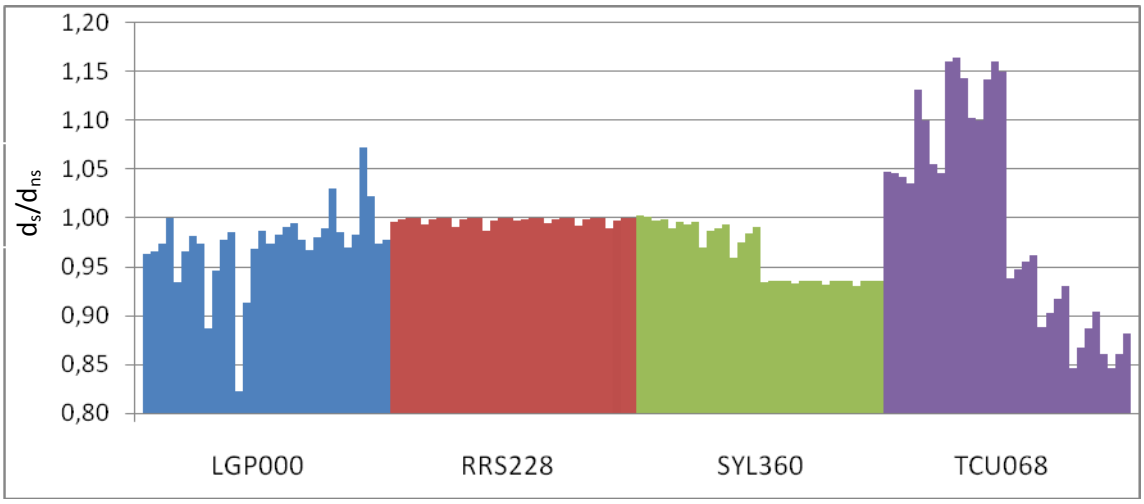
- %10'u 0.82~0.90 aralığındadır.
- %75'i 0.90~1.00 aralığındadır.
- %15'i 1.00~1.16 aralığındadır.



(a)



(b)



Şekil 4.10: Tüm modeller için oransal değerlerin katlar (n) boyunca dağılımı:

(a) a_s/a_{ns}; (b) Δ_s/Δ_{ns}; (c) d_s/d_{ns}

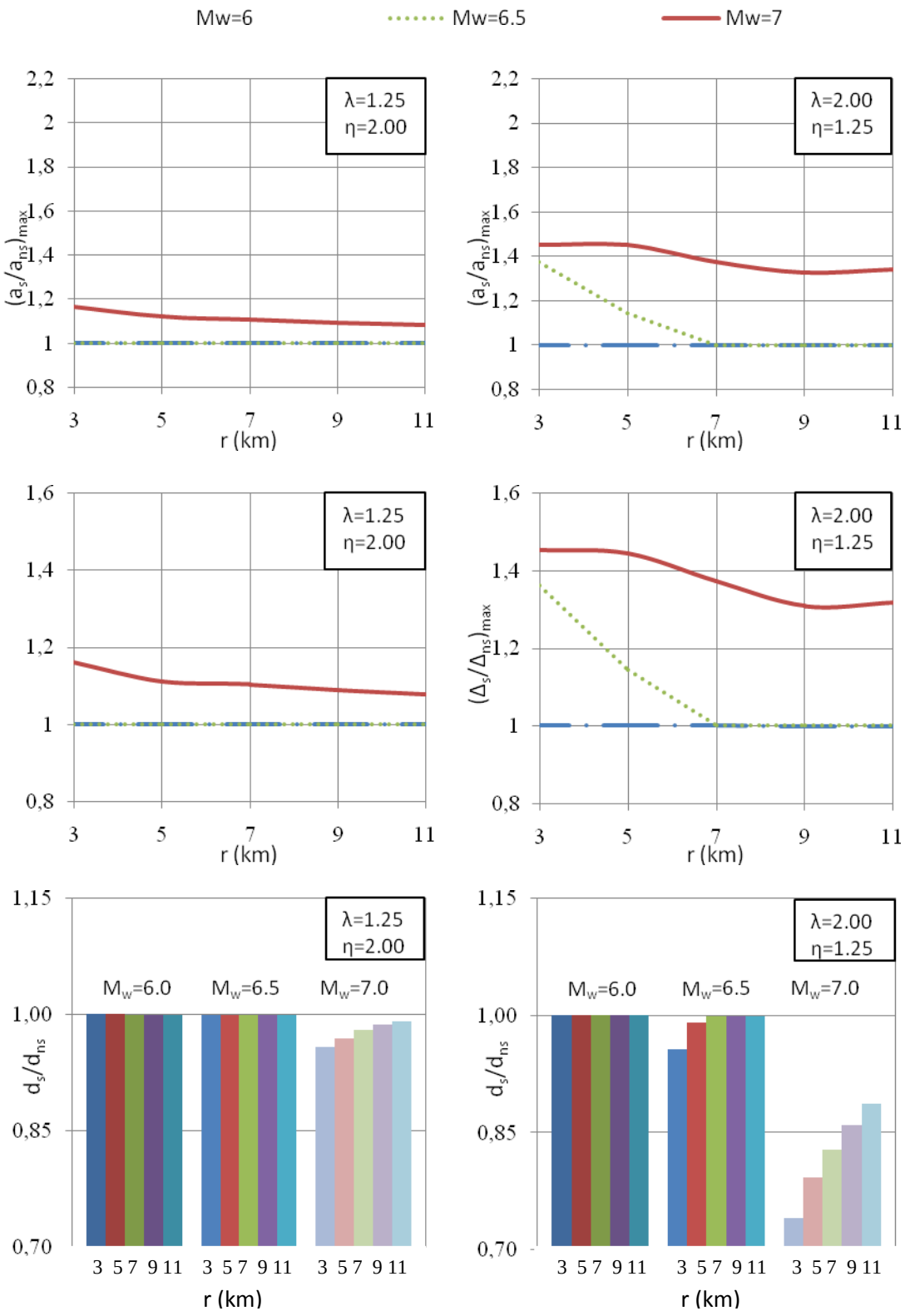
4.3.2. Sentetik Depremler İçin Analizler

Aşağıda, tez kapsamında kullanılmak üzere üretilen r=3, 5, 7, 9, 11 km ve M_w=6.0, 6.5, 7.0 büyüklüklerindeki depremler için T_D=3s ve T_D=4s sistemlerin analizlerine ait bulgular sunulmuştur. T_D=3s için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları Şekil 4.11'de ve T_D=4s için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları Şekil 4.12'de yer almaktadır. Grafiklerdeki kat ivmeleri ve göreli kat ötelemelerine ait oransal değerler tüm katlar için hesaplanarak bunların maksimum değerleri ($(a_s/a_{ns})_{max}$ ve $(\Delta_s/\Delta_{ns})_{max}$) sunulmuştur.

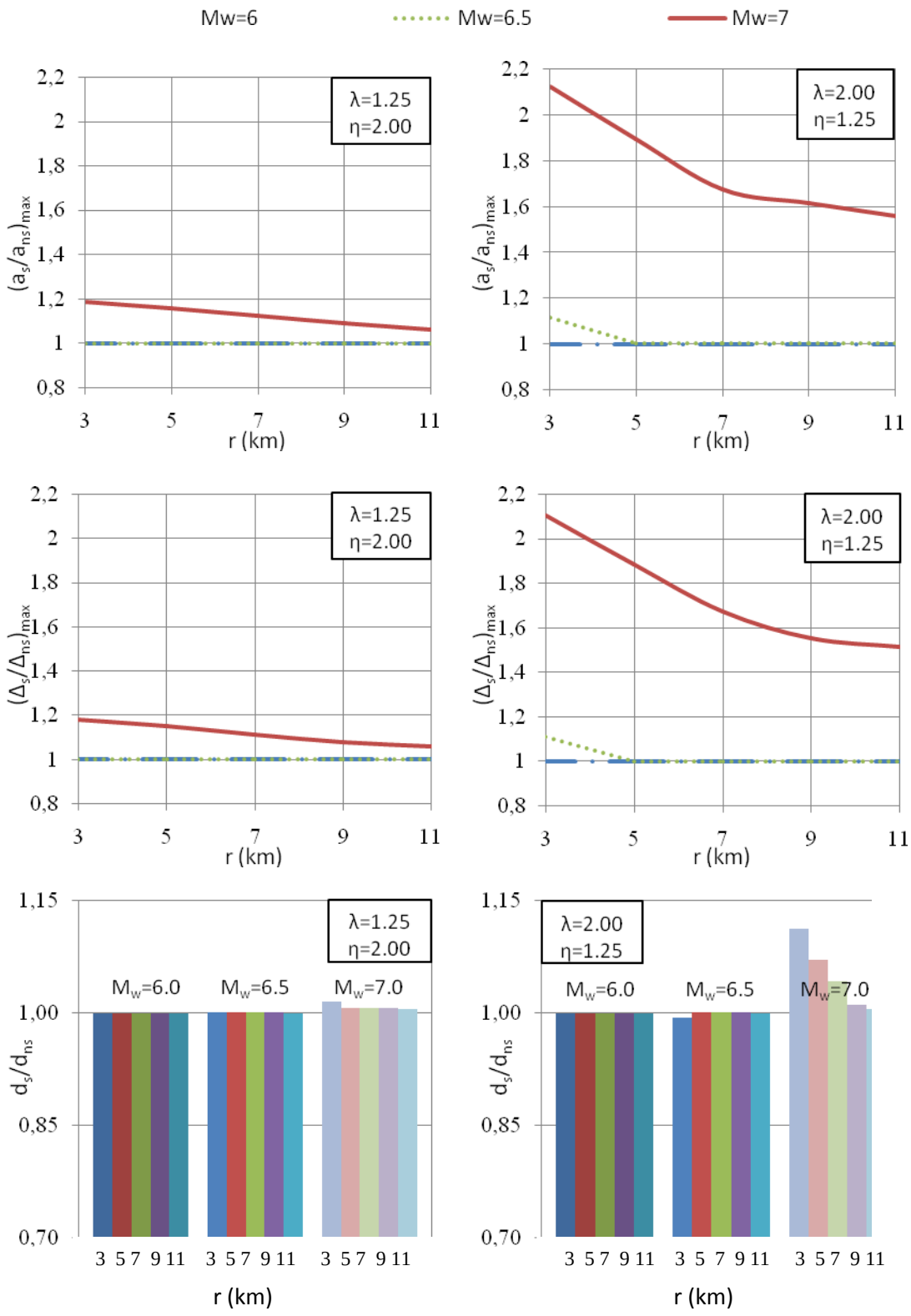
Şekil 4.11 ve 4.12'den görüldüğü üzere, tarihi depremlerin performans karşılaştırmalarında da olduğu gibi, modelleme türüne bağlı olarak sismik performansta ortaya çıkan farklılıklar en fazla kat ivmeleri ve göreli kat ötelemeleri için ortaya çıkmıştır. Ayrıca, yine tarihi deprem analizlerinde gözlemlendiği gibi, izolasyon sistemi karakteristiğine bağlı olarak, oranlar önemli ölçüde değişmekte ve en büyük değerler T_D=3s ve (λ=2.00 η=1.25) seti için ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'den açıkça görüldüğü üzere, M_w=6.0 üretebilecek faylar söz konusu olduğunda, fay hattına uzaklıktan bağımsız olarak model türünün sismik performans üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. M_w=6.5 üretebilecek faylar söz konusu olduğunda, r<7 km olan durumlar için ivmeler ve göreli kat ötelemeleri üzerinde etkisinin olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum için, modelleme türüne bağlı olarak ortaya çıkan en büyük farklılık, T_D=3s ve r=3 km için (Şekil 4.11) kat ivmelerine ve göreli kat ötelemelerine ait oranlarda gözlenmekte ve oran yaklaşık 1.40 olmaktadır.

M_w=7.0 büyüklüğündeki depremlerde modelleme türüne bağlı olarak hesaplanan sismik performans çok ciddi biçimde değişmektedir. Fay hattına görece uzak mesafelerde, örneğin r = 11 km'de dahi T_D=4s için (Şekil 4.12) elde edilen kat ivmeleri ve göreli kat ötelemelerine ait oranlar 1.50 civarındadır. Bu değerler, r =3 km için, 2.00'ın üstüne çıkabilmektedir (Şekil 4.11). M_w=7.0 büyüklüğündeki depremlerde, T_D=3s olan sistemlerde izolasyon sistemi deplasmanları da modelleme türünden çok büyük ölçüde etkilenmekte ve oranlar yaklaşık 0.70 ile 1.10 arasında değişmektedir. Faya olan mesafe azaldıkça oransal değerlerin 1.00'dan sapmasının arttığı açıkça gözlenmektedir.



Şekil 4.11: Sentetik depremler için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (T_D=3 s)



Şekil 4.12: Sentetik depremler için rijitleşen ve rijitleşmeyen sistemlerin performans karşılaştırmaları (T_D=4 s)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ülkemiz bir deprem ülkesidir ve deprem kuşağında bulunan bu ülkede deprem zararlarını azaltmak için gerekli önlemler alınmalıdır. Depreme karşı alınacak en etkin önlemlerden bir tanesi hem yapıyı hem de yapının içindekileri koruyabilecek sismik izolasyon yöntemidir. Bu sayede hem katlara gelen ivmelerin azaltılması hem de göreli kat ötelerinin azaltılması mümkün olabilmektedir. Ancak, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerden oluşan sismik izolasyonlu yapıların deprem analizlerinde kullanılmak üzere oluşturulan izolasyon sistemi modellerinde genelde rijitleşmenin dikkate alınmadığı bilineer model kullanılmaktadır ve bu modellerle yapılan sismik performans hesaplarında gerçek durumdan farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu tezde rijitleşmenin dikkate alındığı modelleme yöntemi anlatılmış ve bu şekilde modellenen sistemlerden elde edilen sonuçlar ile rijitleşmenin dikkate alınmadığı şekilde modellenen sistemlerden elde edilen sonuçlar (kat ivmeleri, göreli kat ötelemeleri ve izolasyon sistemi deplasmanları) ele alınan bir prototip model çerçevesinde, tarihi ve üretilen sentetik depremler kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Aşağıda, elde edilen bulgular ışığında tartışma yapılarak sonuçlar ortaya konmuştur.

İlk olarak yakın deprem özelliği olmayan ELC180 depremi ve yakın deprem özelliği olan SYL360 depremi altında irdelemeler yapılmıştır. ELC180 depreminde D_1=36 cm deplasman sınırı aşılamadığı için rijitleşen ve rijitleşmeyen durum için kuvvet-taban yer değiştirme grafiği üst üste çakışmıştır (Şekil 4.1a). Diğer taraftan yakın deprem özelliği gösteren SYL360 depreminde ise rijitleşmenin dikkate alınmadığı ise D_1=36 cm rijitleşme başlangıç deplasmanı aşıldığı için bir rijitleşme ortaya çıkmıştır (Şekil 4.1b).

Sonraki adımda, yakın deprem özelliği gösteren dört adet deprem (LGP000, RRS228, SYL360, TCU068) kullanılarak duyarlılık analizleri yapılmıştır. Duyarlılık analizleri sonucunda rijitleşmenin sismik performansa olan etkisinin en az ve en çok olduğu durumların çoğunlukla (λ=1.25 η=2.00) ve (λ=2.00 η=1.25) uç değerlerinde ortaya çıktığı; ayrıca, sismik performansı η parametresinin daha fazla etkilediği görülmüştür.
Tarihi depremler için –ki bu depremlerin büyüklükleri Mw=6.7 ile 7.6 arasında ve fay hattına olan uzaklıkları 1.09 ile 8.3 km arasında değişmektedir- tüm λ ve η kombinasyonlarına ait oransal değerler deprem veya izolasyon sistemi karakteristiği

ayrımı da yapılmaksızın incelenmiş (Şekil 4.10) ve a_s/a_{ns} oranlarının çoğunlukla 1.00~1.40 aralığında bulunduğu (tüm durumların %75'i), bazı durumlarda da 1.40'ın üstüne ve en fazla 2.13'e kadar çıkabilmektedir. Benzer şekilde Δ_s/Δ_{ns} oranlarının yine çoğunlukla 1.00~1.40 aralığında bulunduğu (tüm durumların %75'i), bazı durumlarda da 1.40'ın üstüne ve en fazla 1.95'e kadar çıkabilmektedir. Son olarak d_s/d_{ns} oranlarının büyük çoğunluğunun 0.90~1.00 aralığında bulunduğu (tüm durumların %75'i), bazı durumlarda da 1.00'ın üstüne ve en fazla 1.16'ya kadar çıkarken, bazen de 0.90'ın altına ve en çok 0.82'ye kadar düşebildiği görülmüştür.

Deprem büyüklüğü (M_w) ve fay hattına yakınlığa (r) bağlı olarak modelleme türünün sismik performans hesapları üzerindeki etkinliği üretilen sentetik depremler ile irdelenmiştir. M_w=6.0 için rijitleşmenin göz önüne alınması sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmamaktadır. M_w=6.5 için rijitleşmenin göz önüne alınması durumunda ancak fay hattına çok yakın ($r < 7$ km) mesafelerde farklılıklar ortaya çıkmaktadır (r =3 km'de a_s/a_{ns} ve Δ_s/Δ_{ns} için en fazla 1.40 ve d_s/d_{ns} için en az 0.96). M_w=7.0 için rijitleşmenin göz önüne alınması durumunda fay hattına göreceli daha uzak mesafelerde (r =11 km) dahi a_s/a_{ns} ve Δ_s/Δ_{ns} için 1.50'nin üzerinde oransal değerler elde edilmekte ve bu değerler fay hattına yaklaştıkça hızlı bir şekilde artarak 2.0'ın üzerine çıkabilmektedir. Deplasmanlar da aynı şekilde önemli ölçüde etkilenmekte ve r = 3 km gibi çok yakın mesafelerde d_s/d_{ns} oranı 0.74'e kadar düşebilmekte ve 1.11'e kadar çıkabilmektedir.

Yukarıdaki tartışma ve irdelemelerin ışığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Yakın deprem özelliği gösteren depremler altında rijitleşmeyi göz önüne alan modellemenin önem kazandığı ortaya konmuştur.
2. Duyarlılık analizleri sonucunda rijitleşmenin sismik performansa olan etkisinin en az ve en çok olduğu durumların çoğunlukla (λ=1.25 η=2.00) ve (λ=2.00 η=1.25) uç değerlerinde ortaya çıktığı; ayrıca, sismik performansı η parametresinin daha fazla etkilediği görülmüştür.

3. Tarihi ve sentetik depremler altında elde edilen sonuçlar birbirleriyle uyumludur. Bulgular topluca değerlendirildiğinde $M_w < 6.5$ için ikili doğrusal modellemenin güvenli bir şekilde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Ancak $M_w \geq 6.5$ büyüklüğünde deprem yaratabilecek faylara 10 km'den daha yakında bulunan ve yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerle donatılmış sismik izolasyonlu binaların sismik izolasyon sistemlerinin rijitleşmeyi göz önünde bulunduracak şekilde modellenmesinin önemi ortaya çıkmıştır.
4. Rijitleşen modelleme kullanıldığında kat ivmeleri ve göreli kat ötelemeleri ikili doğrusal modellemeye göre tipik olarak yüksek çıkarken, izolasyon sistemi deplasmanları daha az çıkmaktadır.
5. Yakın fay etkisine maruz kalabilecek kritik öneme sahip (hastaneler, veri toplama merkezleri, hava trafik kontrol merkezleri, vb.) yapılar söz konusu olduğunda, $M_w \geq 7.0$ için kesinlikle rijitleşen model kullanılması önerilmektedir. Diğer tür binalar için bu modelleme yerine daha basit olan ikili doğrusal modelleme kullanılması durumunda deprem büyüklüğü ve fay hattına olan mesafeye göre kat ivmeleri, göreli kat ötelemeleri ve izolasyon sistemi deplasmanlarının (güvenli tarafta kalacak şekilde) sırasıyla γ_a, γ_Δ ve γ_d ile çarpılması önerilir. Bu katsayıları içeren tablo aşağıda sunulmuştur ve sismik izolasyonlu yapılarla ilgili yönetmeliklere konulması önerilmektedir.

Tablo 5.1: Rijitleşme etkisini göz önüne almak için kullanılacak katsayılar*.

	M_w=6.0			*M_w=6.5*			*M_w=7.0*		
	r≤3	r=7	r=10	r≤3	r=7	r=10	r≤3	r=7	r=10
γ_a	1.00	1.00	1.00	1.40	1.20	1.00	1.80	1.60	1.40
γ_Δ	1.00	1.00	1.00	1.40	1.20	1.00	1.80	1.60	1.40
γ_d	1.00	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	1.10	1.05	1.00

* (1) Belirtilen fay hattına uzaklıklar (r) km cinsinden verilmiştir ve bu mesafeler arasına düşen durumlar için interpolasyon yapılabilir. (2) Belirtilen deprem büyüklükleri (M_w) arasına düşen durumlar için interpolasyon yapılabilir. (3) r > 10 km olan durumlarda M_w=7.0 için γ_a ve γ_Δ değerlerinin r=20 km'de 1.00'a indiği kabulü ile interpolasyon yapılmalıdır.

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.

ALHAN, C., ŞAHIN, F., 2011, Protecting vibration-sensitive contents: an investigation of floor accelerations in seismically isolated buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(4), 1203-1226.

ALHAN, C., GAVIN, HP., 2005, Reliability of base isolation for the protection of critical equipment from earthquake hazards, *Engineering Structures*, 27(9), 1435-1449.

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

ASHER, JW., YOUNG, RP., EWING, RD., 2001, *Seismic isolation design of the Arrowhead Regional Medical Center,* Structural design of tall buildings, 10(5), 321-334.

BAŞTUĞ, B.K., 2004, *Yapı sistemlerinde depreme karşı sismik izolatör kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı, İstanbul.

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

CARDONE, D., DOLCE, M., GESUALDI, G., 2009, Lateral force distributions for the lineer static analysis of base-isolated buildings, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 7(3), 801-834.

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.

ERİŞGEN, G., 2010, *Depremin geliş açısının sismik izolasyonlu binalara etkisi,* Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.

FRAGIACOMO, M., RAJGELJ, S., CIMADOM, F., 2003, Design of bilineer hysteretic isolation systems, *Earthquake Engineering & Structurel Dynamics*, 32(9), 1333-1352.

HALL J.F., RYAN K.L., 2000, Isolated buildings and the 1997 UBC near-source factors, *Earthquake Spectra,* 16(2).

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.

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

HWANG, J.S., WU, J.D., PAN, T.C., YANG, G., 2002, A mathematical hysteretic model for elastomeric isolation bearings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31:771-789.

JANGID, RS., 2007, Optimum lead-rubber isolation bearings for near-fault motions, *Engineering Structures*, 29(10), 2503-2513.

KELLY, J.,M., 2007, The historical development of seismic isolation and its implementation in California. A short course on the theory and implemention of rubber based isolation systems. Ankara: Orta doğu Teknik Üniversitesi.

KIKUCHI, M., AIKEN, I.D., 1997, An analytical hysteresis model for elastomeric seismic isolation bearings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26: 215 -231.

LEE, PL., MAZEIKA, A., HARTMAN, C., WHITTAKER, A., CONSTANTINOU, MC., 2001, Seismic isolation of an internet service exchange facility: abovenet ISX-SF1, *Structural Engineers Association of California 70 Annual Convention Proceedings*, Pages:67-86, California.

LINDEBURG, M.R., MCMULLIN, K.M., *2011, Seismic design of building structures*, www.ppi2pass.com ,*ISBN:* 1591263549, 9781591263548.

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.

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 Şubat 2012].

MIDORIKAWA, M., LIBA, M., KOSHIKA, N., 2004, seismic performance evaluation of seismically isolated buildings introduced to the building code of Japan, *Journel of Pressure Vessel Technology-Transactions of The Asme,126 (1), 18-24*.

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.

NAKASHIMA, M., PAN, P. ZAMFIRESCU, D., WEITZMANN, R., 2004, Post-Kobe approach for design and construction of base-isolated buildings. *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, 4(3), 259-264.*

ÖNCÜ, S., 2011, *Puls periyotlarının sismik izolasyonlu binaların performansına etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.

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

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.

SAP2000N, Computers and Structures Inc., 2009, Static And Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Version 10.0.1, Berkeley, USA.

SKINNER, R.I., ROBINSON, W.H., MCVERRY, G.H., 1993, *An introduction to seismic isolation, Wiley ,ISBN:* 047193433X, 9780471934332.

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.

ŞAHİN, F., 2008, *Sönümün sismik taban izolasyonu ve sönümleyicilerin kullanıldığı binaların deprem performansına etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.

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

TDY, 2007, *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındılık Ve İskan Bakanlığı 14.07.2007 Tarih 26582 Mükerer 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.

TOLAY, A., 2006, *Sismik izolasyonlu sistemlerin maliyet analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.

TÜRKİYE DEPREM VAKFI,
http://www.turkiyedepremvakfi.org.tr/page_detail.aspx?id=370&lang=tr

TSAI, C.S., CHIANG, T.C., CHEN, B.J., LIN, S.B., 2003, An advanced analytical model for high damping rubber bearings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32:1373-1387.

TSAI, C.S., CHEN, W.S., CHEN, B.J., PONG, W.S., 2006, Vertical distributions of lateral forces on base isolated structures considering higher mode effects, *Structural Engineering and Mechanics*, 23(5), 543-562.

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.

TSOPELAS, P., KUNNATH, S., 2010, Recent advances in seismic isolation: methods and tools, *Advance in Performance-Based Earthquake Engineering*, 13: 319-329.

UCAK, A., TSOPELAS, P., 2008, Effect of soil-structure interaction on seismic isolated bridges, *Journel of Structural Engineering-Asce*, 134(7), 1154-1164.

URGU, İ., 2006, *Sismik izolasyonlu yapıların tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İzmir.

VAN DEPREMİ AFAD (Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi) Raporu, 2011.

WU, YM., SAMALI, B., 2002, *Shake table testing of a base isolated model*, *Engineering Structures*, 24(9), 1203-1215.

YAVUZ, E., 2008, *Sismik izolasyon tekniği ve kullanılışına ilişkin örnek uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.

YILMAZ, Ç., BOOTH, E., SKETCHLEY, C., 2006, *Retrofit of Antalya Airport International Terminal Building, Turkey using seismic isolation, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology* (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC), paper number: 1259, Geneva, Switzerland.

YÜCESOY, A., 2005, *Sismik izolatörler ile depreme dayanıklı yapı tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antakya.

EK. 1: T3L200E125 modeline ait 3DBASISME veri giriş sayfası

```
6 katlı modelin izolasyon sistemi
meters              kN                  sec

2 1 25 4 9.80665
6 18
0.002 0.001 10000 20 1
0.5 0.25
1 0.005 4993 0.0 9.81
85.303 85.303 132.16 816.85 816.85 1259 2513.1 2513.1 3832.9 5378.5 5378.5 8166.1 9184.1
       9184.1 12718 12718 13890 19192
3.1241E-02     6.6790E-03     3.4660E-18     2.8961E-02     6.1920E-03     4.2570E-18
               2.4912E-02     5.3260E-03     4.1500E-18     1.9277E-02     4.1210E-03
               3.6280E-18     1.2453E-02     2.6620E-03     9.8430E-19     5.1390E-03
               1.0990E-03     -3.8310E-19
-6.6790E-03    3.1241E-02     -5.8780E-19    -6.1920E-03    2.8961E-02     1.3550E-20
               -5.3260E-03    2.4912E-02     -6.1830E-19    -4.1210E-03    1.9277E-02
               -6.1240E-19    -2.6620E-03    1.2453E-02     -3.0830E-19    -1.0990E-03
               5.1390E-03     -9.4020E-20
4.1650E-17     8.1660E-18     -3.8960E-03    2.7200E-17     7.2360E-18     -3.6240E-03
               3.1210E-17     -7.4540E-18    -3.1260E-03    2.6280E-17     5.8150E-19
               -2.4270E-03    5.8190E-18     2.6160E-18     -1.5740E-03    -8.7950E-18
               -1.8740E-18    -6.5300E-04
1.2668E-02     2.6982E-02     -6.9470E-18    5.1930E-03     1.1060E-02     -4.0210E-18
               -4.8010E-03    -1.0225E-02    8.6420E-18     -1.2105E-02    -2.5782E-02
               3.4950E-18     -1.2757E-02    -2.7171E-02    5.1840E-18     -6.6850E-03
               -1.4239E-02    8.4580E-18
2.6982E-02     -1.2668E-02    7.1940E-18     1.1060E-02     -5.1930E-03    -6.7840E-18
               -1.0225E-02    4.8010E-03     1.8260E-18     -2.5782E-02    1.2105E-02
               -1.0240E-18    -2.7171E-02    1.2757E-02     -1.7040E-19    -1.4239E-02
               6.6850E-03     -4.1430E-18
8.3180E-17     -1.9290E-17    3.6500E-03     1.1060E-16     8.1170E-17     1.5220E-03
               -2.6890E-16    5.3060E-17     -1.3570E-03    -1.4650E-16    -8.3130E-17
               -3.4770E-03    2.2880E-16     -9.9560E-17    -3.6810E-03    2.0030E-16
               -6.5780E-17    -1.9370E-03
1.8078E-02     1.7899E-02     -3.5070E-17    -8.1440E-03    -8.0640E-03    -1.5960E-17
               -2.2045E-02    -2.1827E-02    4.8550E-17     -5.4440E-03    -5.3900E-03
               4.8780E-17     1.8767E-02     1.8582E-02     2.5370E-18     1.7806E-02
               1.7631E-02     -1.2390E-16
1.7899E-02     -1.8078E-02    -3.1520E-16    -8.0640E-03    8.1440E-03     1.1000E-16
               -2.1827E-02    2.2045E-02     3.6700E-16     -5.3900E-03    5.4440E-03
               1.1860E-16     1.8582E-02     -1.8767E-02    -2.3090E-16    1.7631E-02
               -1.7806E-02    -3.8510E-16
-6.6740E-15    8.5360E-17     -3.1240E-03    7.8940E-15     1.1390E-15     1.3840E-03
               3.8200E-15     -4.5760E-16    3.8030E-03     -6.8140E-15    -4.0630E-15
               9.6300E-04     -1.3330E-16    3.2940E-15     -3.2180E-03    3.3030E-15
               2.5050E-15     -3.0750E-03
-3.5760E-03    -1.8991E-02    4.4640E-16     5.1640E-03     2.7423E-02     -2.5640E-16
               1.5140E-03     8.0390E-03     -5.3710E-16    -5.6930E-03    -3.0232E-02
```

```
                -7.6830E-17    3.8600E-04     2.0490E-03     8.1660E-16     5.7200E-03
                3.0373E-02     -3.5750E-16
1.8991E-02      -3.5760E-03    -8.9450E-16    -2.7423E-02    5.1640E-03     6.3760E-16
                -8.0390E-03    1.5140E-03     9.5130E-16     3.0232E-02     -5.6930E-03
                -1.4870E-16    -2.0490E-03    3.8600E-04     -1.0310E-15    -3.0373E-02
                5.7200E-03     3.0010E-16
6.6730E-15      -5.8360E-15    -2.3770E-03    -1.7380E-14    1.3520E-14     3.4100E-03
                1.8310E-14     -1.1950E-14    1.0220E-03     -4.0080E-15    3.7530E-15
                -3.7630E-03    -1.8200E-14    3.2440E-15     2.3800E-04     2.7850E-14
                -4.7520E-15    3.7860E-03
1.2493E-02      -1.5590E-03    1.7060E-15     -2.9230E-02    3.6480E-03     -2.4350E-15
                2.4180E-02     -3.0180E-03    -1.0340E-15    2.8600E-04     -3.6000E-05
                3.5710E-15     -2.4446E-02    3.0510E-03     -1.0450E-15    2.9736E-02
                -3.7120E-03    -2.4620E-15
1.5590E-03      1.2493E-02     -4.6900E-16    -3.6480E-03    -2.9230E-02    5.4330E-16
                3.0180E-03     2.4180E-02     3.7160E-16     3.6000E-05     2.8600E-04
                -4.8630E-16    -3.0510E-03    -2.4446E-02    -6.6420E-16    3.7120E-03
                2.9736E-02     1.4030E-15
-1.4590E-03     5.8880E-03     2.1370E-15     4.3090E-03     -1.7387E-02    -5.3640E-15
                -6.4780E-03    2.6141E-02     5.6740E-15     7.2960E-03     -2.9442E-02
                -2.6290E-15    -6.6010E-03    2.6637E-02     -1.8750E-15    4.6190E-03
                -1.8641E-02    4.1310E-15
5.8880E-03      1.4590E-03     2.3430E-15     -1.7387E-02    -4.3090E-03    -5.3090E-15
                2.6141E-02     6.4780E-03     4.1210E-15     -2.9442E-02    -7.2960E-03
                6.8180E-16     2.6637E-02     6.6010E-03     -5.6960E-15    -1.8641E-02
                -4.6190E-03    6.9450E-15
1.0150E-14      1.2740E-14     -1.5500E-03    -2.7640E-14    -3.4600E-14    3.6120E-03
                3.6460E-14     4.6390E-14     -2.9750E-03    -3.6760E-14    -4.7930E-14
                -4.9000E-05    3.3420E-14     4.2390E-14     3.0270E-03     -2.5800E-14
                -3.0290E-14    -3.6630E-03
5.3450E-15      -1.0300E-15    7.4800E-04     -1.3300E-14    5.2160E-15     -2.2000E-03
                1.3740E-14     -1.1870E-14    3.3020E-03     -8.7180E-15    1.6210E-14
                -3.7150E-03    5.1330E-15     -1.4850E-14    3.3570E-03     -3.8970E-15
                9.6020E-15     -2.3440E-03
320 320 320 320 320 320
21333 21333 21333 21333 21333 21333
0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05
       0.05
0  0
0  0
0  0
0  0
0  0
0  0
18 15 12 9 6 3 0
0 0 0 0 0
320 21333
0 0 0 0 0
-10 -10
-10 -5
```

```
-10  0
-10  5
-10  10
-5  -10
-5  -5
-5   0
-5   5
-5   10
0   -10
0   -5
0    0
0    5
0    10
5   -10
5    -5
5     0
5     5
5    10
10  -10
10  -5
10   0
10   5
10   10
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
```

```
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
3 7
27.38 393.03 786.06 0.375 0.405 0.015
1 10 1
1 5 10 25
2
10 10
-10 -10
```

EK. 2: Tarihi ve sentetik depremler altında T_D=3 s ve T_D=4 s için rijitleşmeyen modele ait ivme (m/s^2) değerleri

	Depremler	Taban	1	2	3	4	5	6
T_D=3 s	SYL360	3.36	3.37	3.38	3.43	3.54	3.65	3.73
	LP000	4.38	4.34	4.33	4.52	4.69	4.81	4.86
	RRS228	2.07	2.12	2.28	2.52	2.76	2.96	3.08
	TCU068	5.47	5.57	5.73	5.87	5.99	6.09	6.16
	M6r3	1.17	1.07	1.01	1.01	1.15	1.27	1.41
	M6r5	1.09	0.98	0.90	0.86	1.01	1.13	1.26
	M6r7	1.03	0.93	0.85	0.78	0.92	1.04	1.15
	M6r9	0.98	0.90	0.81	0.72	0.86	0.98	1.08
	M6r11	0.94	0.87	0.78	0.67	0.82	0.93	1.02
	M6.5r3	2.72	2.71	2.81	2.94	3.07	3.20	3.30
	M6.5r5	2.25	2.22	2.19	2.29	2.42	2.55	2.63
	M6.5r7	1.97	1.94	1.88	1.93	2.06	2.18	2.27
	M6.5r9	1.81	1.78	1.72	1.71	1.84	1.96	2.04
	M6.5r11	1.69	1.65	1.58	1.55	1.68	1.80	1.87
	M7r3	9.08	9.18	9.28	9.34	9.41	9.49	9.54
	M7r5	6.68	6.75	6.83	6.87	6.96	7.02	7.05
	M7r7	5.42	5.49	5.55	5.58	5.67	5.73	5.75
	M7r9	4.60	4.67	4.73	4.76	4.84	4.90	4.93
	M7r11	4.02	4.08	4.14	4.18	4.25	4.31	4.35
T_D=4 s	SYL360	1.85	1.81	1.82	1.84	1.93	1.97	2.00
	LP000	2.58	2.61	2.65	2.67	2.69	2.71	2.72
	RRS228	1.43	1.48	1.61	1.71	1.81	1.92	1.98
	TCU068	4.21	4.23	4.23	4.23	4.28	4.32	4.34
	M6r3	0.73	0.70	0.66	0.65	0.63	0.67	0.75
	M6r5	0.64	0.61	0.56	0.54	0.55	0.60	0.68
	M6r7	0.59	0.56	0.51	0.48	0.51	0.57	0.65
	M6r9	0.55	0.52	0.47	0.44	0.48	0.54	0.61
	M6r11	0.54	0.51	0.45	0.42	0.46	0.52	0.59
	M6.5r3	1.53	1.53	1.52	1.50	1.54	1.58	1.62
	M6.5r5	1.21	1.22	1.22	1.20	1.25	1.30	1.34
	M6.5r7	1.01	1.04	1.05	1.05	1.09	1.15	1.18
	M6.5r9	0.92	0.92	0.94	0.94	0.99	1.04	1.08
	M6.5r11	0.86	0.85	0.86	0.87	0.92	0.97	1.00
	M7r3	4.91	4.95	5.02	5.10	5.15	5.19	5.20
	M7r5	3.75	3.78	3.82	3.88	3.92	3.96	3.98
	M7r7	3.14	3.16	3.18	3.23	3.27	3.31	3.33
	M7r9	2.75	2.76	2.78	2.81	2.86	2.89	2.91
	M7r11	2.47	2.49	2.49	2.52	2.56	2.59	2.60

Tarihi ve sentetik depremler altında T_D=3 s ve T_D=4 s için rijitleşmeyen modele ait göreli kat ötelemesi (mm) değerleri

	Depremler Taban	1	2	3	4	5	6
T_D=3 s	SYL360	0.0033	0.0043	0.0037	0.0029	0.0020	0.0011
	LP000	0.0044	0.0057	0.0049	0.0038	0.0026	0.0014
	RRS228	0.0025	0.0033	0.0029	0.0023	0.0016	0.0009
	TCU068	0.0056	0.0073	0.0062	0.0048	0.0033	0.0018
	M6r3	0.0010	0.0013	0.0012	0.0010	0.0007	0.0004
	M6r5	0.0008	0.0012	0.0011	0.0009	0.0006	0.0003
	M6r7	0.0008	0.0011	0.0010	0.0008	0.0006	0.0003
	M6r9	0.0007	0.0010	0.0009	0.0007	0.0005	0.0003
	M6r11	0.0007	0.0009	0.0009	0.0007	0.0005	0.0003
	M6.5r3	0.0028	0.0037	0.0032	0.0025	0.0017	0.0010
	M6.5r5	0.0022	0.0029	0.0025	0.0020	0.0014	0.0008
	M6.5r7	0.0019	0.0025	0.0022	0.0017	0.0012	0.0007
	M6.5r9	0.0017	0.0022	0.0019	0.0015	0.0011	0.0006
	M6.5r11	0.0015	0.0020	0.0018	0.0014	0.0010	0.0005
	M7r3	0.0089	0.0115	0.0098	0.0075	0.0051	0.0028
	M7r5	0.0066	0.0085	0.0072	0.0055	0.0038	0.0021
	M7r7	0.0054	0.0069	0.0059	0.0045	0.0031	0.0017
	M7r9	0.0046	0.0059	0.0050	0.0038	0.0026	0.0014
	M7r11	0.0040	0.0052	0.0044	0.0034	0.0023	0.0013
T_D =4 s	SYL360	0.0018	0.0023	0.0020	0.0015	0.0011	0.0006
	LP000	0.0025	0.0033	0.0028	0.0021	0.0015	0.0008
	RRS228	0.0017	0.0022	0.0019	0.0015	0.0010	0.0006
	TCU068	0.0040	0.0052	0.0044	0.0034	0.0023	0.0013
	M6r3	0.0006	0.0007	0.0006	0.0005	0.0004	0.0002
	M6r5	0.0005	0.0006	0.0006	0.0005	0.0003	0.0002
	M6r7	0.0004	0.0006	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002
	M6r9	0.0004	0.0006	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002
	M6r11	0.0004	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0002
	M6.5r3	0.0014	0.0019	0.0016	0.0012	0.0008	0.0005
	M6.5r5	0.0012	0.0015	0.0013	0.0010	0.0007	0.0004
	M6.5r7	0.0010	0.0013	0.0011	0.0009	0.0006	0.0003
	M6.5r9	0.0009	0.0012	0.0010	0.0008	0.0006	0.0003
	M6.5r11	0.0008	0.0011	0.0010	0.0008	0.0005	0.0003
	M7r3	0.0049	0.0063	0.0053	0.0041	0.0028	0.0015
	M7r5	0.0037	0.0048	0.0041	0.0031	0.0021	0.0012
	M7r7	0.0031	0.0040	0.0034	0.0026	0.0018	0.0010
	M7r9	0.0027	0.0035	0.0030	0.0023	0.0016	0.0008
	M7r11	0.0024	0.0031	0.0027	0.0020	0.0014	0.0008

Tarihi ve sentetik depremler altında T_D=3 s ve T_D=4 s için rijitleşmeyen modele ait taban deplasmanı (m) değerleri

Depremler	T_D=3	T_D=4
SYL360	0.71	0.56
LP000	0.95	1.00
RRS228	0.50	0.60
TCU068	1.26	1.63
M6r3	0.14	0.16
M6r5	0.11	0.12
M6r7	0.09	0.10
M6r9	0.09	0.09
M6r11	0.08	0.08
M6.5r3	0.59	0.52
M6.5r5	0.44	0.40
M6.5r7	0.37	0.34
M6.5r9	0.32	0.30
M6.5r11	0.28	0.27
M7r3	2.06	1.98
M7r5	1.49	1.48
M7r7	1.20	1.22
M7r9	1.01	1.06
M7r11	0.88	0.94

ÖZGEÇMİŞ

Hakan KURTULUŞ 1987 yılında İstanbul/Kadıköy'de doğdu. İlköğretimini 120.Yıl Ziraat Bankası İlköğretim Okulu ve Atatürk İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Ortaöğrenimini Küçükyalı Halit Armay Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde 2005 yılında tamamladı. Lisans öğrenimini 2005-2009 yılları arasında Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde bölüm birinciliği ünvanıyla tamamladı. 2010 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Eylül 2009 tarihinden bu yana özel bir firmada inşaat mühendisliği görevini sürdürmektedir.