



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SİSMİK İZOLASYON PLATFORMLARININ  
PERFORMANSLARININ SİSMİK İZOLATÖRLERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNDEKİ KÜÇÜK SAPMALARA  
OLAN DUYARLILIĞI**

**İnş. Müh. Kemal HIŞMAN  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Programı**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN**

**Şubat, 2011**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SİSMİK İZOLASYON PLATFORMLARININ  
PERFORMANSLARININ SİSMİK İZOLATÖRLERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNDEKİ KÜÇÜK SAPMALARA  
OLAN DUYARLILIĞI**

**İnş. Müh. Kemal HIŞMAN  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Programı**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN**


**Şubat, 2011**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 10/02/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

  
Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Prof. Dr. N. Kemal ÖZTORUN  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

  
Prof. Dr. Ekrem MANİSALI  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Yrd. Doç. Dr. Aşlı Pelin GÜRGÜN  
Okan Üniversitesi  
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi



Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 5284 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN'a, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. C. Melek Kazezyılmaz ALHAN'a, Yrd. Doç. Dr. Turgay ÇOŞGUN'a, Yrd. Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK'a, Araş. Gör. Melih SÜRMEİ'ye, Araş. Gör. Hatice GAZİ'ye, Araş. Gör. Uğur BOYRAZ'a, Araş. Gör. Sezar GÜLBAZ'a, arkadaşım İnş.Yüksek. Müh. Murat ÖZGÜR'e ve diğer çalışma arkadaşlarıma ve eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme ve amcam Haydar HIŞMAN'a teşekkürü borç bilirim.

**Şubat, 2011**

**Kemal HIŞMAN**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ .....	iv
TABLO LİSTESİ .....	viii
SEMBOL LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	xi
SUMMARY .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	9
2.1. SİSMİK İZOLASYONUN TANIMI VE TARİHÇESİ.....	9
2.2. SİSMİK İZOLASYON İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	13
2.3. SİSMİK İZOLASYON PLATFORMLARI .....	19
2.4. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ...20	
2.4.1. Linear İzolasyon Sistemlerinin Mekanik Özellikleri .....	20
2.4.2. Linear Olmayan İzolasyon Sistemlerin Mekanik Özellikleri.....	21
2.5. ÜÇ BOYUTLU SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNİN LİNEER VE LİNEER OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ - 3DBASIS .....	23
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	27
3.1. KESME ÇERÇEVESİ MODELİ .....	27
3.2. İZOLASYON SİSTEMLERİ MODELLERİ .....	31
3.2.1. Linear İzolasyon Sistemleri .....	31
3.2.2. Linear Olmayan İzolasyon Sistemleri.....	32

<b>3.3. DUYARLILIK ANALİZLERİ .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.1. Lineer İzolasyon Sistemleri İçin Duyarlılık Analizleri.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.2. Lineer Olmayan İzolasyon Sistemleri İçin Duyarlılık Analizleri.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.3. Sismik Analizler.....</b>	<b>34</b>
<b>3.4. DEPREM KAYITLARI .....</b>	<b>35</b>
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 LİNEER İZOLASYON SİSTEMLERİNE AİT BULGULAR.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 LİNEER OLMAYAN İZOLASYON SİSTEMLERİNE AİT BULGULAR..</b>	<b>59</b>
<b>4.3 GENEL DEĞERLENDİRMELER .....</b>	<b>81</b>
<b>4.3.1. Lineer İzolasyon Sistemlerine ait Değerlendirmeler .....</b>	<b>81</b>
4.3.1.1. Her Bir Deprem İçin Tüm İzolasyon Sistemlerinin Hata Ortalamaları .....	81
4.3.1.2. Her Bir Deprem İçin Tüm İzolasyon Sistemleri Arasındaki En Büyük Hatalar.....	84
4.3.1.3. Tüm Depremler ve Tüm İzolasyon Sistemleri İçin Hata Ortalamaları.....	87
4.3.1.4. Tüm Depremler ve Tüm İzolasyon Sistemleri Arasındaki En Büyük Hatalar.....	88
<b>4.3.2. Lineer Olmayan İzolasyon Sistemlerine ait Değerlendirmeler .....</b>	<b>99</b>
4.3.2.1. Her Bir Deprem İçin Tüm İzolasyon Sistemlerinin Hata Ortalamaları .....	99
4.3.2.2. Her Bir Deprem İçin Tüm İzolasyon Sistemleri Arasındaki En Büyük Hatalar .....	102
4.3.2.3. Tüm Depremler ve Tüm İzolasyon Sistemleri İçin Hata Ortalamaları .....	104
4.3.2.4. Tüm Depremler ve Tüm İzolasyon Sistemleri Arasındaki En Büyük Hatalar.....	105
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>117</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>119</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>126</b>
EK -1 Kütle ve rijitlik matrislerinin oluşturulması ve modal periyotların elde edilmesi için matlab programı .....	126
EK -2 LA1 Modeline ait mekanik parametrelerde sapma olmayan durum için 3D BASIS input dosyası .....	128
EK -3 NLA1 Modeline ait mekanik parametrelerde sapma olmayan durum için 3D BASIS input dosyası.....	129
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>130</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Sismik izolasyonlu ve taban ankastre binalara ait tipik görünüşler.....	5
Şekil 2.1	: Sismik izolasyon platformlarına yerleştirilmiş kasalar.....	19
Şekil 2.2	: Lineer olmayan izolasyon sistemlerinin davranışı.....	22
Şekil 3.1	: Beş serbestlik dereceli bir kütle-sönüm-yay modeli.....	27
Şekil 3.2	: Nümerik deneylerde kullanılacak kesme çerçevesi.....	28
Şekil 3.3	: Kauçuk sismik izolatör.....	31
Şekil 3.4	: Tarihi deprem kayıtlarına ait %10 sönümlü ivme spektrumları.....	36
Şekil 3.5	: Tarihi deprem kayıtlarına ait %10 sönümlü deplasman spektrumları.....	36
Şekil 3.6	: Tarihi deprem kayıtlarına ait %30 sönümlü ivme spektrumları.....	37
Şekil 3.7	: Tarihi deprem kayıtlarına ait %30 sönümlü deplasman spektrumları.....	37
Şekil 4.1	: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	44
Şekil 4.2	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	45
Şekil 4.3	: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	46
Şekil 4.4	: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	47
Şekil 4.5	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	48
Şekil 4.6	: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	49
Şekil 4.7	: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	50
Şekil 4.8	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	51
Şekil 4.9	: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	52
Şekil 4.10	: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	53
Şekil 4.11	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının izolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	54
Şekil 4.12	: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	55
Şekil 4.13	: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin sönüm katsayısındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	56
Şekil 4.14	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının sönüm katsayısındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	57
Şekil 4.15	: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin sönüm katsayısındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.....	58
Şekil 4.16	: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....	63

<b>Şekil 4.17</b>	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....64
<b>Şekil 4.18</b>	: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....65
<b>Şekil 4.19</b>	: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....66
<b>Şekil 4.20</b>	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....67
<b>Şekil 4.21</b>	: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....68
<b>Şekil 4.22</b>	: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....69
<b>Şekil 4.23</b>	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri...70
<b>Şekil 4.24</b>	: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....71
<b>Şekil 4.25</b>	: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin akma deplasmanındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....72
<b>Şekil 4.26</b>	: Pik izolasyon sistemi izolasyon sisteminin akma deplasmanındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri...73
<b>Şekil 4.27</b>	: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin akma deplasmanındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri...74
<b>Şekil 4.28</b>	: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine olan oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....75
<b>Şekil 4.29</b>	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının izolasyon sisteminin akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine olan oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....76
<b>Şekil 4.30</b>	: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine olan oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....77
<b>Şekil 4.31</b>	: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin akma dayanımındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri...78
<b>Şekil 4.32</b>	: Pik izolasyon sistemi deplasmanının izolasyon sisteminin akma dayanımındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.....79
<b>Şekil 4.33</b>	: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin akma dayanımındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri...80
<b>Şekil 4.34</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – EL depremi altında lineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları .....89
<b>Şekil 4.35</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – KO depremi altında lineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları .....90
<b>Şekil 4.36</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban

	kesme kuvvetinde – RI depremi altında lineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları .....	91
<b>Şekil 4.37</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – SYL depremi altında lineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları .....	92
<b>Şekil 4.38</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – EL depremi altında lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar .....	93
<b>Şekil 4.39</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – KO depremi altında lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar .....	94
<b>Şekil 4.40</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – RI depremi altında lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar .....	95
<b>Şekil 4.41</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – SYL depremi altında lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar .....	96
<b>Şekil 4.42</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – Lineer izolasyon sistemlerindeki hataların tüm depremler ve sistemler için ortalamaları.....	97
<b>Şekil 4.43</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – Tüm depremler için lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar .....	98
<b>Şekil 4.44</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – EL depremi altında nonlineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.....	107
<b>Şekil 4.45</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – KO depremi altında nonlineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.....	108
<b>Şekil 4.46</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – RI depremi altında nonlineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.....	109
<b>Şekil 4.47</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – SYL depremi altında nonlineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.....	110
<b>Şekil 4.48</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban	

	kesme kuvvetinde – EL depremi altında nonlinear izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar .....	111
<b>Şekil 4.49</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – KO depremi altında nonlinear izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar .....	112
<b>Şekil 4.50</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – RI depremi altında nonlinear izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.....	113
<b>Şekil 4.51</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – SYL depremi altında nonlinear izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.....	114
<b>Şekil 4.52</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – Nonlinear izolasyon sistemlerindeki hataların tüm depremler ve sistemler için ortalamaları.....	115
<b>Şekil 4.53</b>	: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – Tüm depremler için nonlinear izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar .....	116

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 3.1</b>	: Lineer izolasyon sistemlerine ait özellikler.....	32
<b>Tablo 3.2</b>	: Lineer olmayan izolasyon sistemlerine ait özellikler.....	33
<b>Tablo 3.3</b>	: Deprem Kayıtlarına ait Özellikler.....	35
<b>Tablo 4.1</b>	: Lineer sismik izolasyon sistemlerinin performansları.....	39
<b>Tablo 4.2</b>	: Nonlineer sismik izolasyon sistemlerinin performansları.....	39

## SEMBOL LİSTESİ

$\alpha$	: nominal akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı
$\alpha^*$	: sapma olan durumlara ait akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı
$\gamma$	: histerik döngünün şeklini ayarlayan boyutsuz miktar
$\beta$	: histerik döngünün şeklini ayarlayan boyutsuz miktar
$\zeta$	: sönüm oranı
$\zeta_I$	: izolasyon sisteminin nominal viskoz sönüm oranı
$\zeta_s$	: nominal üst yapı sönüm oranı
$\zeta_s^*$	: sapma olan durumlara ait üst yapı sönüm oranı
$\omega_{nI}$	: sönümsüz serbest titreşim frekansı
$\omega_0$	: akma sonrası açısal frekans
$A$	: histerik döngünün şeklini ayarlayan boyutsuz miktar
$a$	: nominal en üst kat ivmesi
$a^*$	: sapma olan durumlara ait en üst kat ivmesi
$c$	: katlara ait sönüm katsayısı
$C_I$	: izolasyon sisteminin nominal viskoz sönüm katsayısı
$C_I^*$	: sapma olan durumlara ait izolasyon sisteminin viskoz sönüm katsayısı
$[C_i]$	: sönüm matrisi
$d$	: izolasyon sistemi deplasmanı
$d^*$	: sapma olan durumlara ait izolasyon sistemi deplasmanı
$d_y$	: nominal akma yer değiştirmesi
$d_y^*$	: sapma olan durumlara ait akma yer değiştirmesi
$D_D$	: maksimum yer değiştirme
<b>FPS</b>	: sürtünmeli sarkaç sistem (Friction Pendulum System)
$F_{max}$	: maksimum kuvvet
$F_y$	: nominal akma dayanımı
$F_y^*$	: sapma olan durumlara ait akma dayanımı
$[F(U, \dot{U})]$	: rijitlik değişimine bağlı olarak hesaplanan lineer olmayan yay kuvveti
$f_x$	: elastomer taşıyıcı için uygulanan kuvvet
$f_y$	: elastomer taşıyıcı için uygulanan kuvvet
$g$	: yerçekimi ivmesi
<b>HDRB</b>	: yüksek sönümlü kauçuk mesnet (High Damping Rubber Bearing)
$[H]$	: her elemanı 1 olan ve serbestlik derecesi sayısı kadar elemanı olan vektör
$k$	: nominal rijitlik
$K_{ef}$	: eşdeğer rijitlik (etkin rijitlik)
$K_I$	: izolasyon sisteminin nominal rijitliği
$[K_i]$	: rijitlik matrisi
$K_I^*$	: sapma olan durumlara ait izolasyon sisteminin rijitliği

$K_s$	: nominal üst yapı kat rijitliği
$K_s^*$	: sapma olan durumlara ait üst yapı kat rijitliği
$[K_s]$	: kesme çerçevesinin taban ankastre eşleniği olan üst yapısına ait rijitlik matrisi
$K_1$	: akma öncesi rijitlik veya elastik rijitlik
$K_2$	: akma sonrası rijitlik veya plastik rijitlik
<b>LDRB</b>	: düşük sönümlü kauçuk mesnet (Low Damping Rubber Bearing)
<b>LRB</b>	: kurşun çekirdekli kauçuk mesnet (Lead Rubber Bearing)
$m$	: nominal kütle
$m_b$	: izolasyon katının kütlesi
$M$	: yapı toplam kütlesi
<b>MR</b>	: magnetereolojik (Magnetorheological)
$[M_i]$	: kütle matrisi
$M_s$	: nominal yapı kat kütlesi
$M_s^*$	: sapma olan durumlara ait yapı kat kütlesi
$[M_s]$	: kesme çerçevesinin taban ankastre eşleniği olan üst yapısına ait kütle Matrisi
<b>PGA</b>	: pik yer ivmesi (Peak Ground Acceleration)
<b>PGV</b>	: pik yer hızı (Peak Ground Velocity)
<b>PGD</b>	: pik yer ötelenmesi (Peak Ground Displacement)
$Q$	: karakteristik kuvvet
$Q/W$	: lineer olmayan izolasyon sistemlerinin karakteristik kuvvet oranı
$T_b$	: Akma sonrası titreşim periyodu (izolasyon periyodu)
$T_{ns}$	: kesme çerçevesine ait taban ankastre periyod
$T_I$	: sönümsüz doğal izolasyon periyodu
$[U]$	: deplasman vektörü
$\dot{U}_x$	: X yönünün hızı
$\dot{U}_y$	: Y yönünün hızı
$[\ddot{U}]$	: ivme vektörü
$V$	: nominal taban kesme kuvveti
$V^*$	: sapma olan durumlara ait taban kesme kuvveti
$W$	: yapının toplam ağırlığı
$[Z]$	: yer ivmesi matrisi
$Z_x$	: histerik boyutsuz miktar
$Z_y$	: histerik boyutsuz miktar

## ÖZET

### **SİSMİK İZOLASYON PLATFORMLARININ PERFORMANSLARININ SİSMİK İZOLATÖRLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNDEKİ KÜÇÜK SAPMALARA OLAN DUYARLILIĞI**

Titreşime hassas cihazlar büyük ivmelere maruz kaldığında, geçici olarak servis dışı kalabilir veya tamamen kullanılamayacak biçimde hasar görebilirler. Bu cihazların çoğu veri toplama merkezlerinde, endüstriyel yapılarda, hastanelerde veya üniversitelerde kullanılmakta olup toplum sağlığı, toplum güvenliği ve ülke ekonomisi bakımından önemli görevler yerine getirdiklerinden hasar görmeleri ve hatta işleyişlerinin kısa süre için durması büyük sakıncalar doğurabilmektedir. Sismik izolasyon platformları, bu cihazları deprem titreşimlerinin zararlı etkilerinden korumak amacıyla kullanılan ve içinde hassas cihazların bulunduğu yapısal sistemlerin altına yerleştirilen taban izolasyon sistemleridir. Bir sismik izolasyon platformuna gelen deprem ivmeleri, platformun üstündeki cihazlara azaltılarak iletilir. Ancak, tolere edilebilecek ivme değerleri oldukça düşük olduğundan, platformun sismik performansının hassas bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Öte yandan, izolasyon sistemlerini oluşturan sismik izolatörlerin mekanik özelliklerinde, üretimdeki hatalardan dolayı tasarım değerlerine göre küçük sapmalar meydana gelebilir. Benzer şekilde, platforma yerleştirilen üst yapının mekanik özelliklerde de küçük sapmalar ortaya çıkabilir. Bu çalışmada, sismik izolatörlerin veya sismik izolasyon platformuna yerleştirilen yapısal sistemlerin mekanik özelliklerinde meydana gelebilecek, tasarım değerlerine göre küçük sapmaların sismik performansı ne ölçüde etkileyeceği farklı tarihi deprem kayıtlarının kullanılacağı nümerik deneyler ile araştırılmıştır. Sismik performans kriteri olarak izolatör deplasmanları, hassas cihazların bulunduğu katlara iletilen toplam ivme değerleri ve taban kesme kuvvetleri göz önüne alınmıştır. Hassasiyet analizleri doğrusal ve doğrusal olmayan izolasyon sistemleri için gerçekleştirilmiş, farklı izolasyon periyotları ve sönüm oranları dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, farklı yapısal parametrelerin farklı performans kriterlerini farklı seviyelerde etkilediği ve duyarlılığın izolasyon sistemi karakteristik özelliklerine bağlı olduğu görülmüştür.

## **SUMMARY**

### **SENSITIVITY OF THE PERFORMANCES OF SEISMIC ISOLATION PLATFORMS TO SMALL DEVIATIONS IN MECHANICAL PROPERTIES OF SEISMIC ISOLATORS**

When subjected to high accelerations, vibration-sensitive devices could go out of service temporarily or could be damaged permanently. Since most of these equipment are housed in data collection centers, industrial structures, hospitals, or universities, they have crucial roles in terms of public health, public security, and national economy. Therefore, it could lead to big problems if these devices were damaged or went out of service even for a short period of time. Seismic isolation platforms are base isolation systems placed underneath the structural systems which contain sensitive equipment in order to protect these devices from the harmful earthquake vibrations. Earthquake accelerations coming to a seismic isolation platform are transmitted to the sensitive equipment in a reduced fashion. However, since the tolerable acceleration levels are too low, it is very important to accurately determine the seismic performance of such a platform. On the other hand, there could be small deviations in the mechanical properties of the seismic isolators forming the isolation systems from the design values due to errors in the manufacturing process of these isolators. Similarly, there could be small deviations in the mechanical properties of the superstructures placed on the platform. In this study, the influence of possible small deviations in the mechanical properties of seismic isolators or the structural system sitting on the seismic isolation platform is investigated via numerical experiments using historical earthquake records. Isolator displacements, total accelerations transmitted to the floors of the structural system housing the sensitive devices, and base shears are considered as the seismic performance criteria. Sensitivity analyses are conducted for both linear and nonlinear isolation systems. Various isolation periods and isolation damping ratios are considered. Results show that different structural parameters affect different performance criteria at different levels and sensitivity depends on the characteristics of the isolation system.

## 1.GİRİŞ

Afetler, fiziksel ve sosyoekonomik kayıplara neden olan, yaşamın ve insan faaliyetlerinin aksamasına neden olup toplumu etkileyen doğal, teknolojik veya insan kaynaklı olaylardır. Meydana getirdikleri can kayıpları, yaralanmalar, yapısal hasarlar ve neden oldukları sosyoekonomik kayıplar afetlerin büyüklüğünü göstermektedir. (Ergünay, 1999). Depremler ülkemizde meydana gelen doğal afetler içinde, büyük oranda belirsizlik taşımalarının da etkisiyle en fazla can ve mal kaybına sebep olan türdür (Ataman ve Tabban, 1977). Plaka tektoniği teorisine göre yerkabuğu birkaç parçadan oluşmuştur ve bu plakaların birbirlerine göre hareket ettikleri varsayılır. Plaka parçaları birbirine göre kaymakta ve biri diğerinin üzerine çıkmaktadır. Bunun sonucunda ortaya çıkan dalgalar yayılarak depremi meydana getiren titreşimi oluştururlar (Celep ve Kumbasar, 2004).

Topraklarımızın büyük bir kısmı deprem riski altındadır. Bu topraklar üzerinde önemli sanayi ve endüstri kuruluşlarının yer alması ve nüfusumuzun çoğunluğunun bu deprem riski yüksek bölgelerde yaşıyor olması tehlikeyi daha da arttırmaktadır (Taş, 2003). Nitekim, 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ülkemizde hem can kaybı hem ekonomik kayıp olarak yıllarca unutulmayacak derin yaralar açmıştır. Cumhuriyet'in kuruluşundan günümüze kadar can ve mal kaybına neden olan 40'in üzerinde büyük deprem olmuştur. Ülkemizde 1903-1999 yılları arasında, depremler nedeniyle meydana gelen can kaybı 81,630 kişidir. 1939 Erzincan depremi 7.9 büyüklüğünde meydana gelmiş 32,962 vatandaşımızın hayatını kaybetmesine ve 116,720 konutun ağır hasar görmesine neden olmuştur. Bu süreçte meydana gelen depremler sonucu 463,494 bina ağır hasar görmüştür (Pampal, 2000).

Büyük yıkıma sebep olan 1999 Marmara Depremlerinin sonuçlarıyla ilgili 14.02.2000 tarihli Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün hasar tespit raporuna göre 352,000 konut ve işyerinin hasar gördüğü belirtilmiştir. Deprem nedeniyle yıkılan, ağır ve orta hasar gören konut ve işyeri sayısı 224,000'dir.

Depremden doğrudan etkilenen insan sayısının bir milyon beş yüz bin civarında olduğu açıklanmıştır (BİBAİGM, 2000). Sonuç olarak denilebilir ki, depremler nedeniyle her yıl ortalama 1,003 vatandaşımız ölmekte ve 7,094 bina yıkılmaktadır (BAADYBDDDB, 2010). Tüm bu veriler depreme karşı önlem alınmasının gerekliliğini en açık şekilde göstermektedir. Ülkemizin deprem kuşağında yer alması, her an ülkemizin herhangi bir noktasında deprem olabileceğinin bilinmesi ve bunun yıkıcı etkilere, can ve mal kayıplarına sebep olabileceği gerçeği akademisyenleri ve mühendisleri bu konuda daha fazla çalışmak mecburiyetinde bırakmıştır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında iki ana yaklaşım türünden bir tanesi geleneksel yöntem iken diğeri sismik izolasyon yöntemidir. Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımında ana felsefe, sık aralıklarla meydana gelebilecek küçük ölçekli depremlerde yapının elastik sınırlar içerisinde kalarak taşıyıcı sisteminde ve diğeri yapısal olmayan elemanlarda herhangi bir hasarın meydana gelmemesinin sağlanması; daha az sıklıkla meydana gelebilecek büyük ölçekli depremlerde ise depremin oluşturduğu enerjinin, yapının yapacağı kalıcı deformasyonlar ile plastik bir biçimde tüketilerek yapının göçmesinin önlenmesi şeklindedir. Yapının sünek davranışı sayesinde sağlıklı bir şekilde işleyebilecek bu yöntemde can güvenliği sağlansa dahi yapıda önemli hasar ortaya çıkmaktadır. Örneğin 1971 San Fernando Kaliforniya depreminde fretli yapılan bir kolon yaklaşık bir metre öteleme yapmış, yapı yıkılmamış fakat tamir edilemez düzeyde hasar aldığından yıktırılmıştır (Parlar, 2008). Büyük ölçekli depremlerde can güvenliği bakımından kullanılması uygun olan geleneksel yöntem, maddi kayıpların önüne geçilmesi konusunda yetersiz kalabilmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ile ilgili literatürde pek çok kaynak kitap mevcuttur (Villaverde, 2009; Taranath, 2005).

Deprem tehlikesi altındaki şehirlerdeki yapılarda bulunan, stratejik ve ekonomik açıdan önemli görevler yerine getiren yüksek teknoloji ürünü titreşime hassas cihazların kalıcı hasar görmesi, hatta geçici olarak işlevini yerine getirememesi telafisi zor kayıplara neden olabilmektedir (Ramallo ve diğ., 2002). Özellikle son yıllarda büyük stratejik ve ekonomik öneme sahip, deprem sırasında ve sonrasında işlevini sürdürmesi hayati önem taşıyan; hastaneler, laboratuvarlar, veri toplama merkezleri, havaalanı iniş kuleleri ve havaalanı terminalleri gibi yapıların sayısı artmıştır. Bu yapılarda, titreşime hassas ve çok pahalı elektronik cihazlar bulunmaktadır. Belirlenen ivme değerlerinin geçilmesi

halinde bu cihazlar işlevlerini yerine getiremiyebilmekte ve/veya kalıcı hasar görebilmektedir (Kelly ve Tsai, 1985; Gordon, 1991; Stöböner, 2006; Gavin ve Zaicenco, 2007; Ungar, 2007). Ana felsefesi, orta ve şiddetli depremlerde can kaybını önlemek ancak sınırlı düzeyde hasarı kabul etmek olan deprem yönetmeliklerinde öngörülen klasik depreme dayanıklı tasarım tekniğine göre tasarlanmış olan taban ankastre bir yapının içindeki titreşime hassas cihazların bu tür depremlere karşı etkin bir şekilde korunması neredeyse imkansızdır. Klasik taban ankastre bir yapının temeline gelen deprem ivmeleri yapıya büyütülerek aktarılır. Üst katlara çıkıldıkça bu ivme değerleri daha da büyüterek tipik olarak yer ivmesinin iki-üç katına kadar çıkmaktadır (Chopra, 1995). Deprem Yönetmeliklerinde birinci derece deprem bölgeleri için öngörülen en büyük yer ivmesinin 0.4 g olduğu düşünüldüğünde bu değer 2.5 katı yani 1.0 g olacaktır. Böyle bir ivme ise titreşime hassas pek çok cihazın çalışmaya devam etmesini engelleyecek hatta bu cihazlara kalıcı hasar verecek seviyededir (Worksafe, 2010). Fay hattına 5 km'den daha yakın olan durumlarda bu ivmeler ayrıca ikiye katlanabilmekte (Alhan ve Göktaş, 2009; Alhan ve Altun, 2009), zemin koşullarının yarattığı olumsuzluklar ise durumu daha da kötüleştirebilmektedir.

Taban ankastre yapılarda esneklik arttıkça doğal periyot ve dolayısıyla yapı ağırlığına oran bakımından taban kesme kuvveti azalır. Ancak yapı esnekliğinin artması yapı içinde daha büyük yer değiştirmelere sebep olur. Katlar arasındaki görelî yer değiştirme sınır değerlerin üzerine çıktığında yapı taşıyıcı sisteminde hasar oluşur. Sınır değerleri aşan bu ötelemeler daha rijit yapılar oluşturularak azaltılabilir. Ancak bu defa kat ivmeleri artar ve daha fazla kat kuvveti ortaya çıkar. Bunun önüne esnek sistemler oluşturularak geçilebilir. Bu da daha önce söylendiği gibi kat ötelemelerini artırır (Naeim, 2001; Çağlar, 2002; Komodromos, 2000). Bu fasit dairenin içinden, hem katlar arası görelî ötelemeleri hem de kat ivmelerini aynı anda azaltabilecek yöntem olarak sismik izolasyon tekniği kullanılarak çıkılabilir.

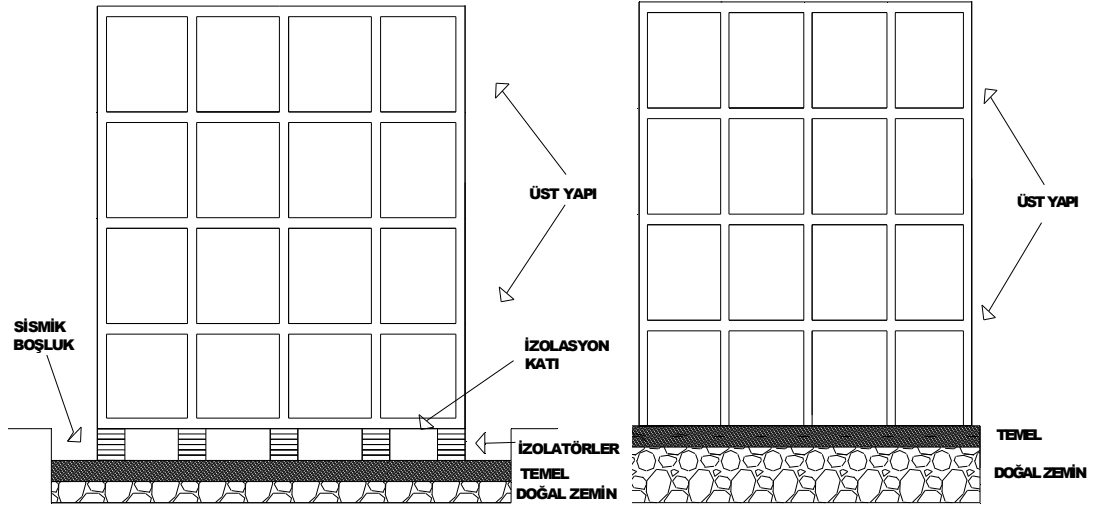
Deprem esnasında yeryüzünde oluşan hareket dalga şeklinde her doğrultuda yayılarak yapıya ulaşır ve yapının temellerini sallar. Dolayısıyla, temellere bağlı olan taşıyıcı sistem sallanır ve sistem elemanlarında atalet kuvvetlerinin meydana getirdiği etkiler oluşur. Doğrudan temele bağlı taban ankastre bir binada deprem titreşimleri temelden yapının üst taraflarına doğru büyüterek aktarılır. Yapı temelini taşıyıcı sistemden

ayrılarak titreşimin yapıya erişmesinin önlenmesi sismik izolasyonun ana felsefesini oluşturmuştur. Ancak, sismik izolasyonlu bir yapıda üst yapı ile temelin birbirinden tamamen koparılması mümkün değildir. Düşey yüklerin emniyetle taşınması için ara yüzeyde düşey rijitliği yüksek, esnekliğin sağlanması için de yatay rijitliği düşük sismik izolatör adı verilen elemanlar kullanılır. Yaygın olarak kullanılan izolatörler genellikle doğal kauçuk veya sentetik içerikli elastomer mesnetler ve kayma yüzeyi paslanmaz çelik yahut teflon olan kayıcı sistemlerdir. Bu elemanlar sayesinde yatay deprem etkilerinin sadece bir kısmı üst yapıya geçer. Böylelikle üst yapıdaki deprem etkiler azaltılmış olur (Komodromos, 2000; Celep ve Kumbasar, 2004; Naeim ve Kelly, 1999).

Sismik izolasyonda amaç; yapının sismik hareketler karşısında dayanımını arttırmaktan çok, yapının bu hareketler karşısında maruz kalacağı etkileri azaltmaktır. Bu sayede üst yapıdaki zorlanmalar maruz kalacağı deprem etkileri sırasında plastik bölgeye girmeyecek, yapı yapacağı deformasyonlardan sonra eski haline dönebilecektir. Sismik izolasyonlu bir yapının frekansı, taban ankastreninkinden ve deprem hareketinin frekanslarından daha küçüktür. Üst yapı rijit bir blok halinde hareket eder ve yerdeğiştirmenin önemli kısmı izolasyon sisteminde ortaya çıkar (Naeim ve Kelly, 1999). Buna karşın taban ankastre durumda, deplasmanlar tüm katlarda oluşur ve katlar arasında görece deplasman değerleri büyüktür. Şekil.1.1’de sismik izolasyonlu bir yapı ile taban ankastre bir yapı gösterilmiştir. Sismik izolasyonlu bir yapıda, taban ankastre yapıdan farklı olarak, genellikle izolatörleri rijit bir şekilde birbirine bağlayan bir izolasyon katı oluşturulur. İzolatörler tipik olarak temel ile kolonların arasına yerleştirilir. Ayrıca sismik hareketlilik sırasında yatay yönde hareket serbestliğinin sağlanması için kullanılan izolatörlerin maksimum yer değiştirmelerine göre yapının tüm yönlerinde sismik boşluk adı verilen belli bir mesafe bırakılmalıdır (Doğan, 2007). Bu boşlukların bırakılmaması, sismik enerjinin sönümünün gerçekleştirilmesini engeller ve taban izolasyon sisteminin doğru çalışmasına sebep olur.

Hem yapıları hem de yapıların içerisinde bulunan hassas cihazları depremin zararlı etkilerinden koruyabilmek amacıyla geliştirilmiş olan sismik izolasyon ve yapısal kontrol sistemlerinin uygulamaları ve bu konudaki araştırma çalışmaları özellikle son yıllarda hız kazanmıştır (Ateş ve Dumanoğlu, 2003; Asher, Young ve Ewing, 2001; Deb, 2004; Aldemir ve Aydın, 2005; Colunga ve Cruz, 2007; Kilar ve Koren, 2009). Bu

sistemler bir binanın tabanına yerleştirilerek sismik izolasyonlu bir yapı elde edilebileceği gibi, halihazırda taban ankastre olarak inşa edilmiş bir yapıda bulunan hassas cihazları korumak amacıyla platform şeklinde doğrudan bu cihazların altına da yerleştirilebilirler.



Şekil 1.1: Sismik izolasyonlu ve taban ankastre binalara ait tipik görünüşler.

Bugüne kadar, sismik izolasyon ve yapısal kontrol teknikleri kullanarak hassas cihazları titreşimin zararlı etkilerinden korunmaları ile ilgili çeşitli araştırma çalışmaları yapılmıştır. Gordon (1991), mikroelektronik teknolojinin üretildiği ve kullanıldığı yapılarda titreşimin ciddi bir problem olduğunu, bu cihazların dayanabileceği sınır titreşim seviyelerinin üreticiler tarafından dikkatle belirlenmesi gerektiğini, yapıların ve izolasyon sistemlerinin de bu hassasiyeti göz önüne alacak biçimde çok dikkatli tasarlanması gerektiğini belirtmiştir. Minimum ivme ve sınırlandırılmış deplasman elde edecek şekilde rijitlik ve sönümü düzenlenmiş titreşim izolasyonu sayesinde hassas elektronik cihazların içerisindeki kritik parçaların dinamik davranışının minimize edilebileceği Veprik (2003) tarafından gösterilmiştir. Khechfe ve diğerleri (2002) yaptıkları deneysel çalışmada üç katlı taban ankastre bir yapının 1/6 ölçekli modelini gürültü ve deprem titreşimlerine maruz bırakmışlar ve yapının üçüncü katındaki bir sismik izolasyon platformunda bulunan tek serbestlik dereceli hassas bir cihazı temsil eden kütlenin ivme ve deplasmanlarının izolasyonsuz duruma göre etkin bir şekilde azaldığını göstermişlerdir. Myslimaj ve diğerleri (2003) çalışmalarında sismik izolasyonu alışılmış dışında (bina, köprü vb.) müzelerde tarihi değeri olan eserlerin sismik hareketlilik sırasında devrilme sarsılma vb. durum sonrasında hasar görmemeleri

için kullanılması (sismik izolasyon platformu) üzerinde durmuş ve uygulama safhalarını göstermiştir. Yarı iletken ve optik mikroskoplar gibi hassas cihazların sağlıklı bir şekilde üretilebilmesi ve aynı zamanda da maruz kalabilecekleri depremlere karşı güvenliklerinin sağlanması için hem mikrotitreşimlere hem de kuvvetli yer hareketi sebebiyle oluşan titreşimlere karşı korunmaları gerektiği Xu ve Li (2006) tarafından rapor edilmiştir. Bu iki tip titreşime karşı aynı anda etkin olabilecek hibrit bir sismik izolasyon platformu bu yazarlar tarafından önerilmiş ve yapılan analitik çalışma ile deprem sırasında pasif izolasyon görevi gören platformların cihazların hasar görmelerini engellediği vurgulanmıştır. Stöböner (2006) bildirisinde, hassas cihazların özellikle üretim aşamasında deprem, rüzgar, trafik, vb nedenlerle oluşan titreşimlerden etkin bir şekilde korunması gerekliliğinin nanoteknolojideki ilerlemeyle birlikte daha da arttığını belirtmiş ve bu korumanın aktif kontrol mekanizmalarını kullanan izolasyon platformları ile sağlanabileceğini anlatmıştır. Aşırı titreşimlerin hastane ve diğer tıp merkezlerinde bulunan hassas cihazları olumsuz yönde etkileyebileceği Ungar (2007) tarafından yapılan çalışmada ortaya konmuştur. Titreşime hassas cihazların yarı-aktif kontrol sistemleri ile korunmasının güvenilirliği ve etkinliği Gavin ve Zaicenco (2007) tarafından yapılan olasılıksal çalışma ile incelenmiş, tarihi deprem kayıtlarına maruz bırakılan modellerden elde edilen bulgular bu platformların yüksek performansını ortaya koymuştur.

Yukarıda özetlendiği üzere, sismik izolasyon platformları hassas cihazların depreme karşı korunmasında kullanılabilecek sistemler olup zararlı titreşimlerden korunmaya çalışılan cihazların çok hassas cihazlar olması ve sınır ivme değerlerinin çok düşük olması sebebiyle bu cihazların altına yerleştirilen platformların veya içerisinde hassas cihazlar bulunan sismik izolasyonlu yapıların ivme performanslarının hassas olarak belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, izolasyon sistemlerinin ivme ve deplasman performanslarının izolatörlerin mekanik özelliklerinde tasarım değerlerine göre olabilecek sapmalara olan hassasiyetinin ortaya konması gerekmektedir. Duyarlılık analizi literatürde sıkça başvurulan irdeleme yöntemlerindedir (Bae ve diğerleri, 2006; Barros, 2006; Jurado ve Hernández, 2004). Sismik izolasyon sistemlerinin farklı yapısal parametrelere olan duyarlılığı ile ilgili literatürde bazı çalışmalar mevcuttur. Bunlardan Su ve diğerleri (1990) tarafından yapılan çalışmada uniform olmayan kesme kirişi modeli kullanılarak farklı sismik izolasyon sistemlerinin performansına ait bir

takım sayısal deneyler yapılmıştır. Farklı türde taban izolasyon sistemleri tasarlanıp pik görelî deplasmanlar ve maksimum mutlak ivme değerlerinin izolatör ve yapısal özelliklerdeki değişimlere duyarlılığı incelenmiştir. Farklı türde depremler kullanılarak, izolatörlerin özelliklerindeki değişimlere duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucu sismik izolasyon yönteminin periyotta, sönümde ve sürtünme katsayısındaki küçük değişimlere karşı hassasiyeti incelenmiş ve hassas olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca analizler sonucu izolatörde sürtünme elemanlarının olmasının deprem frekansında gerçekleşecek değişikliklere ve ivmenin genliğindeki değişikliklere olan hassasiyeti azalttığı görülmüştür. Ancak bu çalışmada lineer olmayan kauçuk izolasyon sistemlerine ait akma deplasmanı, akma kuvveti, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğine oranı gibi parametreler incelemeye dahil edilmemiştir.

Politopoulos ve Pham (2009) sismik izolasyonlu yapılarda, deprem yüklerinde ve bazı yapısal özelliklerde meydana gelebilecek küçük sapmaların göçme riski ve kat spektrumu açısından etkilerini olasılıksal bir çalışma kapsamında incelemiştirlerdir. İki serbestlik dereceli basit sistemler kullanılan Monte Carlo simülasyonları gerçekleştirilerek farklı pasif ve aktif sistemler incelenmiştir. Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sistemlerinin diğer kauçuk sistemlere göre daha riskli olduğu ortaya konmuştur.

Bu tez çalışmasında, kauçuk izolatörlerden oluşan sismik izolasyon sistemlerinin sismik performansının sismik izolatörlerin mekanik özelliklerindeki küçük sapmalara olan duyarlılığı farklı tarihi depremler altında incelenmiştir. Sismik performansın üst yapı parametrelerinden nasıl etkilendiği de ayrıca çalışma kapsamındadır. Çalışmanın amaçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. İzolasyon periyotları ve sönüm oranları farklı, lineer ve lineer olmayan davranış gösteren sismik izolasyon sistemlerine sahip yapısal modellerin, izolasyonlu yapıların deprem analizlerinde tüm dünyada yaygın olarak kullanılan 3DBASIS programında modellenerek sismik izolasyonun sismik performansı arttırıcı etkilerinin ortaya konulması.
2. Lineer izolasyon sistemlerine sahip sismik izolasyon platformlarının sismik performansının izolasyon sistemi rijitliği, izolasyon sistemi sönümü, üst yapı

kütlesi, üst yapı sönüm oranı ve üst yapı rijitliğindeki ufak sapmalara olan hassasiyetinin incelenmesi.

3. Lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip sismik izolasyon platformlarının sismik performansının akma yer değiştirmesi, akma dayanımı, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı, üst yapı kütlesi, üst yapı sönüm oranı ve üst yapı rijitliğindeki ufak sapmalara olan hassasiyetinin incelenmesi.

Bu tez çalışmasında tasarım parametrelerindeki sapmaların sismik izolasyonlu sistemlerinin performansını nasıl etkileyeceği, en üst kat ivme değerlerinde, taban kesme kuvvetlerinde ve izolasyon sistemi deplasmanlarında meydana getireceği hataların hangi boyutlarda kalacağı, bu parametrelerden hangisi yahut hangilerinde meydana gelecek sapmaların sistem tepkileri üzerinde ciddi hatalara sebep olacağı, hangilerindeki sapmalarda ise hataların minimum düzeyde kalacağı ve tüm bu durumların izolasyon sistemini nasıl etkileyeceği üzerinde durmak için izolasyon katı dahil beş katlı bir yapısal sistem modellenmiş ve El Centro 1940, Kobe 1995, Sylmar 1994 ve Rinaldi 1994 depremlerine maruz bırakılmıştır. Zaman tanım alanında lineer ve lineer olmayan toplam 726 farklı model üzerinde 2904 analiz yapılmış ve lineer ve lineer olmayan izolasyon sisteminde 6 farklı tasarım tipi kullanılmıştır.

Tezin genel yapısı şöyledir: Öncelikle sismik izolasyonun tanımı yapılmış, bu tekniğin tarihçesi üzerinde durulmuş ve kullanılan izolatör tipleri hakkında genel bilgiler sunulmuştur. Daha sonra sismik izolasyon platformları anlatılmış ve lineer ve lineer olmayan izolasyon sistemlerinin mekanik özellikleri ortaya konmuştur. Üç boyutlu sismik izolasyonlu yapıların lineer ve lineer olmayan zaman-tanım alanı analizlerinin yapılabilmesi için kullanılan 3DBASIS (Nagarajaiah ve diğ., 1991) programı tanıtılarak programın hesap adımları anlatılmıştır. Daha sonraki bölümde ise sistemin matematiksel modellenmesi anlatılmıştır. Duyarlılık analizlerine ait sonuçlar karşılaştırmalı grafikler olarak sunulmuştur. En son kısımda ise analizler sonucu elde edilen bulgular ışığında varılan sonuçlar ortaya konmuştur.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. SİSMİK İZOLASYONUN TANIMI VE TARİHÇESİ

Sismik izolasyon geleneksel yapı tasarımından farklı olarak sismik enerjinin yapıya aktarılan kısmının, yapının periyodunun uzatılması ile azaltılması amacına dayanır. Yapının periyodunu uzatarak yapıyı deprem hakim periyodundan uzaklaştırmayı ve ayrıca izolasyon sisteminde sönümlenme mekanizmalarıyla sismik enerjiyi sönümlenmeyi amaç edinir. Böylelikle yapının kat ivmeleri ve görelî kat ötelemeleri azalacaktır. Ancak, artan periyot ve rijit blok davranışı nedeniyle yapı tabanında yani izolasyon sisteminde meydana gelecek görelî olarak büyük sayılabilecek deplasmanların kabul edilir sınırlar içerisinde kalması güvenlik açısından önemlidir (Celep ve Kumbasar, 2004, Tezcan ve Cimilli, 2002). Sismik izolasyonla ilgili literatürde pek çok kaynak kitap mevcuttur (Takewaki, 2009; Cheng ve diğ., 2008). Farklı sismik izolasyon sistemlerini oluşturan başlıca iki izolatör çeşidi kauçuk ve kayıcı izolatörlerdir.

Kauçuk izolatörler, düşük sönümlü (LDRB), yüksek sönümlü (HDRB) ve kurşun çekirdekli (LRB) kauçuk mesnetler olmak üzere üç ana çeşide sahiptir. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetler sismik izolasyon sistemlerinde en sık kullanılan izolatör tiplerindedir. Dikey rijitlikleri yatay rijitlikten çok daha fazladır. Böylelikle yapının sallanması önlenir veya en aza indirilir. Yatay esneklik sayesinde yapının frekansı tehlikeli deprem frekansının dışında kalır ve rezonans engellenmiş olur (Komodromos, 2000). Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerde sönüm normal bir elastomer mesnetten daha fazladır (normal elastomer mesnete göre 4 ila 7.5 kat daha fazladır). Düşük şekil değiştirmeler söz konusu olduğunda bu oran en yüksek seviyeye çıkarken, şekil değiştirmelerin artmasıyla bu oran azalır. Sistemi oluşturan çelik plakalar arasında bulunan kauçuk, yüksek sönüme sahip ince tabakalardan oluşur. Sönüm özelliği her tür şekil değiştirmede de ortaya çıkar (Komodromos, 2000, Celep ve Kumbasar, 2004). Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler ise çelik plakalar arasındaki düşük sönümlü ince tabakalardan oluşurlar ve elastomer

mesnedin ortasındaki deliğe kurşunun sıkıca yerleştirilmesi yapılır. Düşük kayma rijitliğine sahip olduklarından büyük şekil değiştirmeler yapabilirler. Buna karşın sistemin ortasındaki kurşun ise gerilme karşısında akma durumuna gelir ve plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Kauçuk ve kurşundan oluşan sistem başlangıçta küçük bir bölgede elastik daha sonra ise plastik davranış gösterir. İlk olarak elastik rijitliğin ortaya çıkması küçük titreşimlerde sönüm etkisinin belirgin olmamasına neden olur. Hassas aletlerin bulunduğu binalarda küçük titreşimler karşısında cihazlar zarar görebileceğinden bu durum risk oluşturabilir (Komodromos, 2000, Celep ve Kumbasar, 2004).

Sürtünme esaslı kayıcı sistemlerde, belli bir seviyeye kadar kesme kuvvetlerinin iletimine izin verilir ancak aşırı kaymanın olduğu durumda iletimi önlenir. Belli seviyenin üstündeki kaymada öteleme hareketi oluşmaya başlar. Ayrıca bu sistemler düşük sürtünme katsayıları kullanılarak, çok düşük taban kesme kuvvetlerine izin verecek şekilde tasarlanmış da olabilirler. Bu sistemlerde geri döndüren kuvvet olmadığından sismik harekete maruz kaldıktan sonra başlangıç konumuna gelemeler. Bunun için yalnız başına kullanılmaz, elastomer mesnet yada sürtünmeli sarkaçla beraber kullanılırlar. Böylelikle sistem başlangıç konumuna, geri döndüren kuvvet sayesinde dönmüş olur. Yaygın olarak kullanılan kayıcı sistemlerde kayıcı yüzey paslanmaz çelik ve teflon ile oluşturulur. Sürtünme, yüzey sıcaklığı, yüzey temizliği, aşınma derecesi ve kayan yüzeylerin hızından etkilenir. Bu durum ise bu sistemlerin verimliliğini azaltabilir (Komodromos, 2000, Celep ve Kumbasar, 2004, Arısoy ve diğ., 2009).

Sismik izolasyonlu yapı ile taban ankastre yapının, yapım maliyetleri arasında çok fazla bir fark oluşmamaktadır. Sismik izolasyon kavramının yaygınlaşması, uygulamanın bilinmesi sismik izolasyonu daha da ekonomik kılacaktır. Örneğin Tolay (2006) tez çalışmasında sismik izolasyonlu yapıların maliyet analizi üzerinde durmuş, iki farklı yapı tipi üzerinde tüm statik ve dinamik hesap dataları aynı alınarak sismik izolasyonlu ve taban ankastre yapı modelleri oluşturulmuş ve gerekli boyutlandırma yapılarak yapıların maliyet analizleri yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, sismik izolasyon kullanılarak yapının inşasında kullanılan sismik izolatörler tüm inşaat maliyetlerinin en fazla %12.76'lık kısmını oluşturmaktadırlar. Sismik izolasyon kavramının gelişmesi,

uygulamanın bilinmesi, üretim yapan firmaların artması ve rekabet ortamının oluşması ve ayrıca minimum boyutların kullanılması ile sismik izolasyon sisteminin çok daha ekonomik olmasını sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Sismik izolasyonlu yapı maliyet bakımından incelendiğinde başlangıçta yapı maliyetini, taban ankastre yapıya göre %1 ila %5 arasında arttırmaktadır. Fakat binanın sismik izolasyonlu inşa edilmesinden dolayı servis ömrü boyunca göstereceği performans, tasarruf, sismik yükler karşısındaki dayanıklılığı ve taban ankastre yapının bu yükler karşısında uğrayacağı hasarın ekonomik boyutu düşünüldüğünde, sismik izolasyonlu yapının daha ekonomik olduğu görülür (Mayes ve diğ., 1990).

Sismik izolasyon cihazlarının yapıların altlarına yerleştirilme düşüncesi ilk kez Tokyo Üniversitesi'nde çalışan Dr. John Milne tarafından, inşa ettiği örnek bir sismik izolasyonlu yapı ile hayata geçirilmiştir. Dr. Milne, 1876-1895 yıllarında konuyla ilgili bir takım çalışmalar yapmış ve dökme demir bilyeler kullanarak hem deprem hem de rüzgar yükleri karşısında stabilitesini koruyabilen izolasyonlu bir yapı inşa etmiştir. Bu yapı depreme maruz kalmış ve deprem esnasında ölçümler alınarak performansı test edilmiştir. Kuzey İngiltere'de Calantarients, 1909'da Şili-Santiago'da bulunan Sismoloji Servisi Müdürüne yazdığı bir mektupla, taban yalıtımlı inşaat yöntemi sayesinde, deprem ne kadar şiddetli olursa olsun deprem kuşakları üzerinde yer alan bölgelerde yapılacak önemli binaların depreme karşı korunabileceği fikrini ortaya atmıştır. Binanın üzerine oturtulacağı ince kum, mika veya talk katmanı sayesinde oluşturulacak "serbest birleşim" deprem anında binanın kaymasını sağlayacaktır. Ukrayna-Sivastopol'de bir bina ve Mexico City'deki beş katlı okul binası bilyeler üzerinde inşa edilmişlerdir. İtalya'da 1908 Messimo-Reggio depremi sonrası sismik izolasyonu depreme dayanıklı yapı tasarım tekniği olarak İtalya tarafından da tartışmaya açılmıştır (Naeim ve Kelly, 1999).

Japonya'nın Tokyo kentinde bulunan Imperial Hotel binası Frank Lloyd Wright tarafından yalıtımlı olarak tasarlanmıştır. Buna göre, yumuşak zemin üzerinde yüzer vaziyette bırakılabilmesi için, yapının altına sadece belli aralıklarla kazıklar yerleştirilmiş ve sert zemine ancak bu şekilde bağlantı yapılmıştır. Kazıklar, üzerine yapılan rijit bir plak ile birbirine bağlanmış ve birlikte hareket etmeleri sağlanmıştır. Bu

yapı 1923 yılında Tokyo’da meydana gelen yıkıcı bir depremi hasarsız atlattır (Kelly, 1981). Böylelikle yapı yumuşak zeminde bir gemi gibi davranarak yüzmekte deprem hareketlerini geçiştirmektedir (Parlar, 2008).

Kauçuk izolatörler modern anlamda ilk kez 1969’da Yugoslavya’nın Üsküp kentindeki Pestalozzi Okulu’nun depreme dayanıklı inşası için kullanılmıştır (Naeim ve Kelly, 1999). Yine bu dönemlere rastlayan 1970’li yıllarda kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler yapılmıştır (Kelly, 2001).

Günümüzde, sismik izolasyon sistemlerinin en yaygın olarak kullanıldığı ülkeler arasında Yeni Zelanda, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Yeni Zelanda’da bir dizi köprü yapıları sismik izolasyon sistemleri kullanılarak inşa edilmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler kullanılarak inşa edilen ilk bina Yeni Zelanda’nın Wellington şehrinde 1981 yılında yapılan Hükümet binasıdır. Sismik izolasyon ve enerji sönmeme sistemlerinin çok yaygın olarak kullanıldığı Japonya’da, yüz adedin üzerinde sismik izolasyonlu yapı bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri’ndeki ilk taban izolasyonlu bina 1985 yılında Kaliforniya’da inşa edilen Foothill Binasıdır (Komodromos, 2000).

Türkiye’de de özellikle son yıllarda meydana gelen yıkıcı depremlerin de etkisiyle özellikle stratejik açıdan öneme sahip yapılarda geleneksel depreme dayanıklı tasarıma alternatif yöntem arayışları içerisine girilmiştir. Deprem sonrası yapının servise aynen devam etmesine olanak sağlaması bakımından oldukça çekici olan sismik izolasyon kavramı bu sayede önem kazanmıştır. Ülkemizde yapılan sismik izolasyonlu yapılara en çarpıcı örnekler arasında Atatürk Havaalanı Dış Hatlar Terminali’nin çatısı ve Kocaeli Üniversitesi Hastanesi Binası gelmektedir. Bu yapılarda izolasyon sistemi sürtünmeli sarkaç izolatörlerden oluşturulmuştur. Ayrıca Bolu Dağı Viyadüğü’nde ve Güney Otoyolunda da (Gaziantep-Tarsus) kayıcı mesnetlerin kullanıldığı sismik izolasyon sistemleri bulunmaktadır (Urgu, 2006).

## 2.2. SİSMİK İZOLASYON İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sismik izolasyonla ilgili çalışmalar ve bu sistemlerin uygulamaları yurdumuzda ve dünyada giderek artan bir hızla devam etmektedir. Aşağıda, bu tezin giriş kısmında sunulan önceki araştırmalara ek olarak, sismik izolasyon konusunda son yirmi yılda yurt içi ve yurt dışında yapılmış pek çok araştırma çalışmasından bir kısmı, tarih sırasına göre ayrıca özetlenmiştir.

Tajirian ve Patel (1993) sismik izolasyonlu gelişmiş sıvı metal reaktörlerin sismik hareketlilik sırasındaki tepkilerini 3 boyutlu doğrusal ve doğrusal olmayan modeller kullanarak irdelenmiş ve gelişmiş sıvı metal reaktörün yatay sismik tepkilerinin, sismik modelleme tekniğindeki, analiz tipindeki, zeminin esnekliği, ve depremin karakteristiklerindeki değişimlerden etkilenmediği buna karşın dikey tepkilerin ise ilk olarak zemin esnekliğinden ve izolasyonlu yapıların ve bileşenlerinin dikey dinamik özelliklerinden etkilendiği görülmüştür.

Makris ve Chang (1998) tarafından yapılan çalışmada yapıların yakın kaynaklı yer hareketinden korumak maksatlı olarak yapılan sismik izolasyon sistemlerinin etkinliği üzerinde durulmuş ve düşük viskoziteli ve sürtünme kaybı kuvvetleri bir arada olduğu sistemlerin taban kesme kuvvetlerinde ve üst yapı ivmelerinde kayda değer artımlar olmadan taban deplasmanlarını azalttığı görülmüştür.

Johnson ve diğerleri (1998) tarafından sismik izolasyonlu sistemlere örnek olan düşük sönümlü izolasyon yatakları ve kontrol edilebilir sıvı sönümleyiciler üzerinde çalışılmış ve 5 katlı bir yapı modeli kullanılarak, tek başına pasif taban izolasyonunun etkinliği daha sonra aktif kontrol cihazlarının eklenmesi ve daha sonra yarı aktif magnetorheological sönümleyici ile kullanılması hallerindeki etkinliği karşılaştırılmıştır. Bu sıvı sönümleyicilerin çok düşük güç gereksinimleri ile taban izolasyonu uygulamalarının önünü açacağı ön görülmüştür.

Şahin (2001) yüksek lisans tezinde Drain 2DX programı yardımıyla kauçuk mesnet kullanarak izolasyonlu hale getirdiği Mimar Sinan Üniversitesi Merkez Kampüsü Heykel Bölümü Binası'nın doğrusal olmayan analizlerini yapmış ve sismik izolasyonun

avantajları ve maliyete etkisini irdelenmiştir. Sismik izolasyonlu yapıda kesit tesirlerinin taban ankastre yapıya göre daha küçük olduğundan yapı boyutlandırılırken daha küçük boyutların kullanılabilceği vurgulanmıştır. Taban kesme kuvvetlerinin sismik izolasyonlu yapıda taban ankastre göre yaklaşık dört kat azaldığı tespit edilmiştir.

Ateş ve Dumanoglu (2003) tarafından yapılmış olan çalışmada, kauçuk mesnetler kullanılarak oluşturulmuş sismik izolasyonlu 5 katlı bir yapı ile taban ankastre bir yapının dinamik analizleri gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Dinamik analizler sonucunda taban ankastre binanın tepkilerinin kauçuk mesnetler kullanılarak oluşturulan sismik izolasyonlu yapıya oranla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Carneiro ve diğerleri (2004) sismik izolasyon cihazları bulunan yapıların dinamik analizi üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında yüksek sönümlü kauçuk mesnet (HDRB) kullanarak tek katlı bir yapıyı modellemiş ve analizlerde 2 farklı deprem tipi (El Centro 1940 ve Northridge 1994) kullanmışlardır. Analizler sonucu sismik izolasyonun yapıya gelen sismik yükleri azaltması tekniğinin birinci doğal modal periyodun büyütülmesine ve deprem hareketinin tipine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Kauçuk mesnet kullanılarak yapılmış izolasyon sisteminin, maksimum ivme ve taban kesme kuvvetlerini belirli bir şekilde düşürdüğü görülmüştür.

Matsagar ve Jangid (2004) çalışmalarında sismik izolasyonlu çok katlı yapılarda izolatörlerin karakteristik özelliklerinin sismik izolasyona etkileri üzerinde durulmuştur. Her katta yanal serbestlik dereceli kesme yapısı izolatörlerinin lineer olmayan histeretik ve eşdeğer doğrusal elastik viskoz davranışlı olarak iki türde tasarlanmış ve modellenmiştir. Değişik tarihi depremler altında analizler yapılmış ve akma deplasmanının, üst yapı rijitliğinin, periyot ve sismik izolasyonlu yapının kat sayısındaki değişimler incelenerek bunların sismik izolasyonlu yapının kuvvet deformasyon eğrisini ne derece etkilediği irdelenmiştir. Sismik izolasyonlu yapının izolatörlere ait histeretik döngüsünü etkilediği ve yüksek frekansa bağlı üst yapı ivme değerlerinin izolatörlere ait düşük akma deplasmanları karşısında yükseldiği ve üst yapı ivmelerinin üst yapı rijitliğiyle orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Baştuğ (2004) sismik izolasyon, izolatör tipleri ve bu izolatörlerin mekanik özelliklerini açıklamış ve sismik izolasyon tasarımı için bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Sismik izolasyonlu yapı ile taban ankastre yapının analizleri için SAP2000 programını kullanarak iki sistemi karşılaştırmıştır. Sismik izolasyonlu tasarlanan yapılarda, taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının ve donatılarının taban ankastre yapıya göre daha küçük oranlarda kaldığı görülmüştür. Ayrıca mevcut yapılarda sismik izolasyon sayesinde depreme karşı üstün bir güvenlik sağlandığı, yeni yapılan binalarda ise sismik izolasyon sayesinde depreme karşı önlem alınmış olup bunun neticesi olarak yapının herhangi bir tadilat geçirmeme durumunun da önemli bir kar sağlayacağı belirtilmiştir.

Yücesoy (2005) sismik izolasyon yöntemi üzerinde çalışmış ve 5 katlı bir yapı modelini taban ankastre ve sismik izolasyonlu olarak tasarlamıştır. Bu modellerin zaman tanım alanında analizlerini yapmış ve taban ankastre ve sismik izolasyonlu yapının sismik hareketlilik karşısındaki tepkilerini irdeleyerek sonuçları karşılaştırmalı olarak sunmuştur. Sismik izolasyonlu tasarım sayesinde taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının küçüldüğü, yapı ağırlığının da azalması nedeniyle ekonomi sağlandığı ve düşey yüklerin azaldığı belirtilmiştir.

Türker (2005) çalışmasında sismik izolasyon tekniğinin kullanılış amaçlarına ve kullanılan izolatör tipine değinmiş ve sismik izolasyonun sismik hareketlilik karşısında binaya sağladığı avantajları göstermek için iki hastane binasından birini sismik izolasyonlu birini ise taşıyıcı sistemi perdeden oluşan taban ankastre olarak modelleyip zaman tanım alanı analizlerini gerçekleştirmiştir. Taban kesme kuvvetlerini, ivme değerlerini, kat deplasmanlarını ve her iki yapının inşaat maliyetlerini karşılaştırmıştır. Sismik izolasyonlu yapı ile taban ankastre yapının kaba inşaat yapım maliyetleri karşılaştırıldığında izolatörlerin sismik izolasyonlu yapının kaba inşaat maliyetini taban ankastre yapıya göre % 29 artırdığı fakat toplam inşaat maliyetleri karşılaştırıldığında ise sismik izolasyonlu tasarımın % 2 daha ucuz olduğu belirtilmiştir. Sismik izolasyon sayesinde yapı taşıyıcı elemanlarının kesitleri ve bina ağırlığı taban ankastreye göre azalmaktadır.

Sahasrabudhe ve Nagarajaiah (2005), yakın depremlerden uzun periyot etkisine sahip yer hareketinin kayma tipi izolasyonlu yapılarda sebep olduğu deplasman artışları

üzerinde çalışmış ve bunun ek doğrusal olmayan pasif sönümleyiciler kullanılarak çözümlenemeyeceği görülmüştür. Çalışmalarında değişken sönüm etkinliği olan manyetik sönümleyiciler (MR sönümleyiciler) kullanarak yakın deprem sırasında kayma tipi izolasyonlu binadaki tepkilerin azalması sağlanmıştır. 1/5 ölçekli 2 katlı çelik bina modeli kullanılmıştır. Pasif yüksek sönümün üst yapı ötelenmelerinin ve izolasyon kuvvetlerinin artmasına sebep olmasına karşın taban deplasmanlarını azalttığı ve kontrol algoritması ile geliştirilen MR sönümleyicinin izolasyon deplasmanlarını, düşük ve yüksek sönüm durumlarına göre azalttığı belirtilmiştir.

Urgu (2006) çalışmasında sismik izolasyonun sınıflandırılması, mekanik özellikleri ve teorik esaslar üzerinde durmuş ve 4 katlı taban ankastre ve farklı izolatörlere (HDRB, LRB ve FPS tipi ) sahip 3 adet sismik izolasyonlu yapı modellemiştir. Modeller analiz edilmiş ve taban kesme kuvvetleri, periyotları, maksimum kat ivmeleri ve görel kat ötelemeleri değerleri karşılaştırılmıştır. Sismik izolasyonlu tasarımda taban ankastre tasarıma göre taban kesme kuvvetlerinin daha düşük değerde olduğu görülmüştür. Sismik izolasyonlu yapılarda yer hareketinin oluşturduğu ivme değerlerinin azaldığı ve bunun yapı içindeki cihazlar ile donanımlarda meydana gelebilecek hasarı önleyeceği belirtilmiştir.

Doğan (2007), sismik izolasyonun avantajları ve dezavantajları üzerinde durmuş ve dört katlı bir yapıyı ilk olarak taban ankastre tasarlamıştır. Daha sonra aynı yapıyı doğal kauçuk mesnet ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnet kullanarak sismik izolasyonlu olarak tasarlamış ve iki yöntem için de hesaplamalar yaparak her iki sistemi karşılaştırılmıştır. Deplasman değerleri, eksenel kuvvetler, taban kesme kuvveti ve eğilme momentleri gibi davranış parametreleri incelemeye dahil edilmiştir. Sismik izolasyonlu tasarımda katlar arası görel deplasman değerlerinin taban ankastreye kıyasla daha küçük olduğu sismik izolasyonlu tasarımın periyodunun taban ankastreye göre daha yüksek olduğu, eğilme momentleri, taban kesme kuvvetleri, eksenel kuvvetler, burulma düzensizlikleri durumlarının ise sismik izolasyonlu tasarımda daha küçük değerlerde kaldığı belirtilmiştir.

Sarıtaş ve Hasgür ( 2007) çalışmalarında köprü ve viyadüklerde sismik enerjinin üst yapı veya köprü tabliyesine geçerek hasara sebep olmasının önüne geçmek yahut hasarı

aza indirmek için köprü ve viyadüklerde sismik karakterli taban ayırıcı ekipmanların kullanımını üzerinde durmuşlar ve hesaplamaları zaman tanım alanında yapmışlardır. Elastik ve elastik dışı davranış durumlarını dikkate alarak sismik hareketlilik sırasında sistemin tepkilerini irdelemişler. Elastik davranan kauçuk mesnet yerleştirilmiş olan köprü ayaklarında taban kesme kuvvetlerinin daha büyük olduğu, deplasman değerlerinin her iki tasarım için de birbirine yakın değerler verdiği ve sismik izolasyonlu sistemde taban kesme kuvvetlerinin izolasyonun olmadığı duruma göre %50'ye varan azalmaların olduğu belirtilmiştir.

Yakut (2007), sismik izolasyon tekniğinde kontrol algoritmaları üzerinde çalışmış ve bu algoritmaların uygulamalarını yapmıştır. Algoritmaların performanslarının incelemek için 3 , 8 ve 16 katlı olmak üzere 3 farklı yapı modeli ve 2 farklı algoritma kullanmıştır. Aktif tendon ve kütle ayarlı kontrol sistemi olarak iki farklı kontrol sistemi seçmiştir. Farklı özelliklerde deprem ivmeleri kullanılarak sayısal çözümü MATLAB programında gerçekleştirmiştir. İvme değerleri, deplasman değerleri, belirsizlikler ve zaman gecikmesi göz önüne alındığında, ağ tabanlı ve ağ tabanlı bulanık kayan modlu kontrol algoritmalarının performansının çok daha iyi ve uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Tokuç (2008), mevcut bir taban ankastre okul binasını yönetmelik şartlarına göre irdelemiş ve daha sonra bu yapıyı sismik izolasyon tekniği kullanarak güçlendirmiştir. Yapının sismik güçlendirme öncesi ve sismik güçlendirme sonrası durumlarını analiz ederek karşılaştırmıştır. Sismik izolasyonlu yapı ile taban ankastre yapı kat ötelemeleri karşılaştırıldığında sismik izolasyonlu yapının kat ötelemelerinin daha küçük değerlerde olduğu ve taban kesme kuvvetleri değerlerinde ise sismik izolasyonlu yapının taban kesme kuvvetlerini taban ankastre yapıya göre %60 düşürdüğü belirtilmiştir.

Şahin (2008) üç ve beş katlı yapı modellerini sismik izolasyonlu olarak tasarlamış ve ek sönümleyiciler yardımıyla da tabandaki sismik izolasyonun yanında üst yapıda bu ek sönümleyicilerin vasıtasıyla artan enerji sönümlenme kapasitesi sonucu titreşime hassas cihazların maruz kaldığı kat ivmelerinin ne kadar azaldığını irdelemiştir. Ayrıca taban ankastre bina ile sismik izolasyon ve ek sönüm kullanılan binaların sismik hareket

karşısında performanslarını karşılaştırmıştır. Taban ankastre yapılarda kat ivmelerinin üst katlara doğru artışı ve analiz sonucu bulunan en büyük ivme değerlerinin titreşime karşı hassas cihazların hasar görmesine neden olabilecek ivme değerlerinin üzerinde olduğu buna karşın sismik izolasyonlu tasarımdaki ivme değerlerinin ise bu tür cihazların hasar görmeyeceği değerlerde olduğu belirtilmiştir

Demir (2008), sismik izolasyon teorisi ve sismik izolatör tipleri üzerinde durmuş ve sismik izolasyonlu ve taban ankastre modelleme yaparak bu modelleri birinci ve dördüncü deprem bölgelerinde olma durumlarına göre analiz ederek hesaplarıyla iki modelleme tipini karşılaştırılmış ve maliyet analizlerini gerçekleştirmiştir. Sismik tasarımı yapılan yapının periyodunun 3 kat arttığı yani yapının yüksek bir yapı gibi davrandığı, ayrıca sismik izolasyonlu tasarımlı binanın taban ankastre binaya göre % 7.48 daha pahalı olduğu belirtilmiştir. Fakat ülkemizde sismik izolasyon sisteminin yeterince bilinmemesi ve bu sektörde talebin yoğun olmaması nedeniyle arzın az olduğu, talebin artması sonucu arzında artacağı bu artışın da sektöre rağbeti artıracığı ve rekabet ortamının oluşmasıyla maliyetin düşebileceği belirtilmiştir.

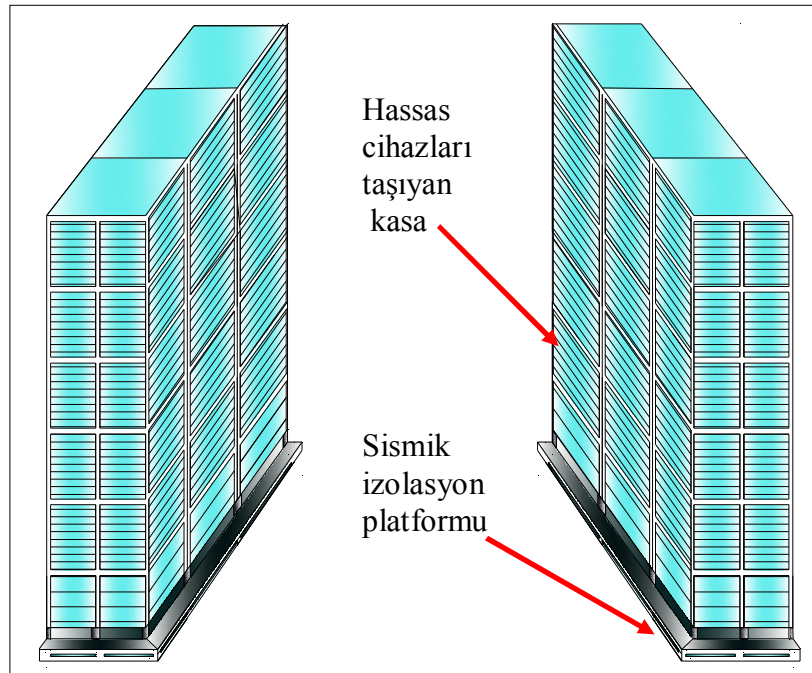
Giarlelis ve diğerleri (2008) tarafından yapılan çalışmada Onassis Kültür ve Sanat Evi'ne yüksek performanslı FPS tipi izolatörler kullanılarak sismik izolasyon sistemi kurulmuş ve eş değer tek serbestlik dereceli sistemle deprem kayıtları kullanılarak dinamik etki spektrumu ve nonlineer zaman tanım alanında modelleme yapılmış ve farklı analizler arasında iyi bir uyumun olduğu görülmüştür.

Karabörk (2009) tarafından yapılan çalışmada sismik izolasyonun felsefesi anlatılmış, farklı yüksekliklere ve farklı açıklıklara sahip betonarme yapılar sismik izolasyonlu olarak tasarlanarak eşlenik taban ankastre yapı modeli ile karşılaştırmıştır. Modelleri sismik yüklere maruz bırakarak zaman tanım alanında analizler yapılmış ve analizler sonucunda taban kesme kuvvetleri, ivmeler, görelî kat ötelemeleri ve periyotlar karşılaştırmıştır. Kat yüksekliği ve açıklık değerlerinin farklılaşması ile en uygun temel yalıtım sistemi irdelenmiştir. Az katlı yapılarda açıklık sayısına bağlı olarak periyot ve görelî deplasmanlar artmakta ve az açıklıklı modelde yüksek rijitliğe sahip kauçuk yatakların etkili olduğu, çok açıklıklı modelde yüksek rijitliğe sahip kauçuk yatakların etkili olduğu, orta yükseklikte yapılarda açıklık durumuna bağlı kalmaksızın düşük rijitliğe

sahip kauçuk yatakların etkili olduğu, çok katlı yapılarda üçten fazla açıklık durumunda ek sönümleyicilerin kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

### 2.3. SİSMİK İZOLASYON PLATFORMLARI

Sismik izolasyon sistemleri, tüm yapıyı korumak amacıyla binaları oluşturan kolonların altına yerleştirilebildiği gibi, sadece titreşime hassas cihazları korumak amacıyla sadece bu cihazların bulunduğu kasaların altına da yerleştirilebilmektedir. Böylelikle, mevcut durumda taban ankastre olarak inşa edilmiş yapıların içerisinde, sadece çok hassas ve önemli cihazlar daha ucuza ve pratik olarak deprem titreşimlerinden yalıtım sayesinde korunabilmektedir. Bu tür özel üretim sismik izolasyon sistemlerine, “sismik izolasyon platformu” adı verilmektedir. Bu platformların üretimi dünyada ve yurdumuzda giderek yaygınlaşmaktadır. Data merkezlerinde, hava alanı kulelerinde, hastanelerde ve endüstriyel yapılarda titreşime hassas cihazların altlarına onları deprem titreşimlerine karşı korumak için bu platformlar yerleştirilmektedir. Şekil 2.1’de, Sismik izolasyon platformları üzerine yerleştirilen ve hassas cihazları taşıyan kasalar görülmektedir.



Şekil 2.1: Sismik izolasyon platformlarına yerleştirilmiş kasalar.

Bu platformlar, cihazı yapıdan veya zeminden izole eder ve deprem titreşimlerini taşıdığı ekipmanlardan ayırır. Bu cihazlara hasar verebilecek deprem dalgalarının ve titreşimlerin platformun taşıdığı ekipmana ulaşmasını engeller veya etkilerini azaltır. Böylelikle stratejik öneme sahip cihazların hasar görmesini engeller. İzolasyon platformu kullanılmadan zemine ankastre bağlanan hassas cihazları taşıyan kasalar deprem titreşimlerini genellikle büyütür ve arızanlama ve parçalanmalara sebep olur. Halbuki, sismik izolasyon platformları ile izole edilen kasalar deprem titreşimlerini azalttığından cihazları etkin bir şekilde korurlar.

28 Şubat 2001 Nisqually Depremi sonucu bir bilgisayar odasında hassas cihazlarda büyük hasar meydana gelmiş, aynı bilgisayar odası, deprem sonrası sismik izolasyon platformları kullanılarak yeniden düzenlenmiş ve olası yeni bir depreme karşı bu cihazların güvenliği sağlanmıştır (Guzek, 2010).

## **2.4 SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

Sismik izolasyonlu bir sisteme sahip yapının deplasmanlarının, ivmelerinin, kesme kuvvetlerinin ve diğer yapısal cevap parametrelerinin maksimum değerleri tasarımda kullanılan izolatörlerin mekanik özelliklerine bağlıdır. İzolasyon sisteminin davranışı, taşıdığı kütle, sistemde mevcut olan sönüm, sistemin rijitliğine göre değişir. İzolasyon sistemleri, lineer veya lineer olmayan davranış sergilerler. Lineer olmayan izolasyon sistemleri, eşdeğer rijitlik ve eşdeğer sönüm kavramları kullanılarak lineer olarak da modellenebilirler. Bu kısımda, lineer (veya eşdeğer lineer olarak modellenmiş) ve lineer olmayan izolasyon sistemlerinin mekanik özellikleri üzerinde ve teorik esasları üzerinde durulacaktır.

### **2.4.1 Lineer İzolasyon Sistemlerinin Mekanik Özellikleri**

Lineer davranış gösteren izolasyon sistemlerine ait kapsamlı teorik bilgi Naeim ve Kelly (1999) ve Chopra (1995) tarafından detaylı bir şekilde sunulmuştur. Lineer izolasyon sistemlerinin sönümsüz doğal izolasyon periyodu ( $T_1$ ), üst yapının da rijit davrandığı kabulüyle,

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_1 g}} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_1}} \quad (2.1)$$

olarak verilir. Burada,  $K_1$  izolasyon sisteminin rijitliğini ve  $M$  yapı toplam kütesini göstermektedir.  $W$  yapının toplam ağırlığını ve  $g$  yerçekimi ivmesini ifade eder. Buna bağlı olarak sönümsüz serbest titreşim frekansı,

$$\omega_{nl} = \frac{2\pi}{T_1} \quad (2.2)$$

ve izolasyon sisteminin viskoz sönüm oranı,

$$\zeta_1 = \frac{C_1}{2M\omega_{nl}} \quad (2.3)$$

olarak verilir. Burada,  $C_1$  izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısıdır.

#### 2.4.2 Lineer Olmayan İzolasyon Sistemlerinin Mekanik Özellikleri

Lineer olmayan izolasyon sistemlerinin davranışı ikili lineer model kullanılarak tanımlanabilir (Şekil 2.2). İkili lineer modellemede  $K_1$  akma öncesi rijitliği (elastik rijitlik),  $K_2$  akma sonrası rijitliği,  $Q$  karakteristik kuvveti,  $F_y$  akma dayanımını,  $d_y$  akma yer değiştirmesini,  $D_D$  maksimum yer değiştirmeyi,  $F_{max}$  maksimum kuvveti ve  $K_{ef}$  etkin rijitliği temsil etmektedir. Akma sonrası titreşim periyodu (izolasyon periyodu),  $T_b$ , aşağıdaki şekilde verilir (Nagarajaiah ve diğ., 1991):

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_2 g}} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_2}} \quad (2.4)$$

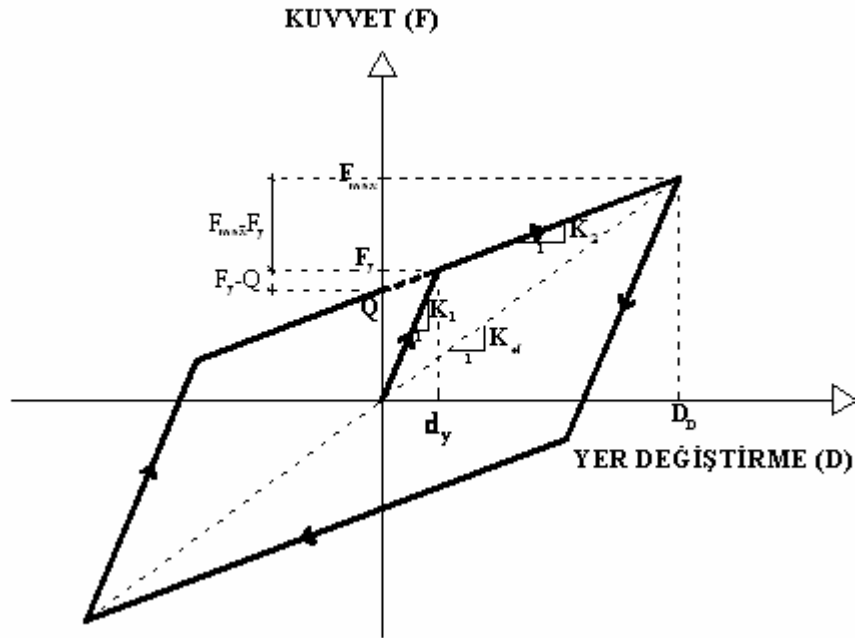
Akma sonrası açısal frekans ( $\omega_0$ ) ile akma sonrası titreşim periyodu ( $T_b$ ) arasındaki bağıntı,

$$T_b = 2\pi/\omega_0 \quad (2.5)$$

ile ifade edilir. Buna göre,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_2}{M}} \quad (2.6)$$

olmaktadır.



Şekil 2.2: Lineer olmayan izolasyon sistemlerinin davranışı (Şahin, 2008).

Şekil 2.2 kullanılarak,

$$K_1 = \frac{F_y}{d_y} \quad (2.7)$$

ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı  $\alpha$  şu şekildedir (Naeim ve Kelly, 1999):

$$\alpha = K_2 / K_1 \quad (2.8)$$

Yine Şekil 2.2'den aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir:

$$Q = (K_1 - K_2) d_y \quad (2.9)$$

$$d_y = Q / (K_1 - K_2) \quad (2.10)$$

## 2.5 ÜÇ BOYUTLU SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİNİN LİNEER VE LİNEER OLMAYAN DİNAMİK ANALİZİ - 3DBASIS

Bu tez çalışmasında kullanılan 3DBASIS programı, üç boyutlu sismik izolasyonlu yapıların lineer ve nonlinear zaman-tanım alanı analizlerinin yapılabilmesi için Nagarajaiah ve diğ. (1991) tarafından hazırlanmış bir programdır. Bu programın teorik ve uygulama esaslarının anlatıldığı bir gelişme raporu Reinhorn ve diğ. (1994) tarafından hazırlanarak sunulmuştur. Tezin bu kısmında, bu iki raporda sunulan bilgilerin bir özeti anlatılmaktadır.

Program, düşük ve yüksek sönümleme özellikleri olan elastomer mesnetler, kayıcı mesnetler, viskoz ve sürtünme sönümleyicileri gibi araçlarla donatılmış yapıların sismik hareket altındaki gerçekçi üç boyutlu analizlerinin yapılabilmesin amacıyla sürekli olarak geliştirilmiştir. Farklı kullanım detaylarına sahip olan program serisi, 3D-BASIS (Nagarajaiah, Reinhorn ve Constantinou, 1989, 1991), 3D-BASIS-M (Tsopelas, Nagarajaiah, Constantinou ve Reinhorn, 1991), 3D-BASIS-ME (Tsopelas, Constantinou ve Reinhorn, 1994) ve 3D-BASIS-TABS (Nagarajaiah, Li, Reinhorn ve Constantinou, 1993) gibi bir kaç farklı versiyona sahiptir. Hem akademik hem de pratik uygulama projelerinde tüm dünyada kullanılan bu programlar kompleks sismik izolasyonlu yapıların analiz ve tasarımına olanak sağlamış ve taban yalıtımının pratik uygulamalarını arttırmıştır.

Programın son geliştirilen halinin kabulleri ve modelleme teknikleri şu şekilde özetlenebilir: (i) Üst yapı, yapılan analizlerde elastik kabul edilir ve ayrıntılı veya azaltılmış modelleme seçenekleri mevcuttur; (ii) Yalıtım sisteminin üç boyutlu ve ayrıntılı modelleme imkanı vardır; (iii) Elastomer ve kayıcı mesnetlerin ikili eksenel etkilerin de göz önüne alındığı modeller kullanılabilir; (iv) Lineer veya lineer olmayan sönümleyicilere ait modeller mevcuttur; (v) Zaman adımı ayarlanabilen diferansiyel denklemler için zaman dilimi çözüm algoritması mevcuttur; (vi) Dikey etkiler dahil olmak üzere üç eksenli uyarım modellemesi (sürtünmeli sistemler için) yapılabilmektedir; (vii) Üst yapı ve yalıtım sistemindeki eleman stres zaman bilgilerinin elde edilmesi imkanı vardır.

Sismik izolasyonlu bir yapı, 3D-BASIS programında iki ana parça olarak modellenir. Öncelikle *üstyapıya* ait bilgiler programa veri olarak aktarılır. Daha sonra *izolasyon sistemi* detaylı olarak modellenir:

(i) Üstyapı Modellemesi:

Tüm analiz boyunca elastik olarak kaldığı varsayılır. Üstyapı için en az üç tane titreşim modu düşünülmelidir. Analiz için gerekli olan veriler arasında her katın kütlesi, her katın atalet kütle momenti ve modal sönümleme oranları vardır. Her kat için iki yatay bir rotasyonel olmak üzere üç tane serbestlik derecesi vardır ve yanal-torsiyonal tepki de hesaba katılır. Üst yapının modellendirilmesinde üç seçenek bulunmaktadır. Bunlardan ilki, sonsuz rijit diyafram kabulünün bulunduğu, her katta üç tane serbestlik derecesi olan full model seçeneğidir. ETABS'den uyarlanan (Wilson ve diğ., 1975) ve 3D-BASIS-TABS içine entegre edilen bir ön işlem paketiyle elde edilir. Diğeri, kesme binası modellemesi olarak da adlandırılan görel olarak basit modellemedir. Üst yapının rijitlik matrisi program içerisinde kullanıcı tarafından sağlanan kat rijitlikleri ve kütleleri sayesinde oluşturulur. Bütün katların kütle merkezlerinin ortak dik bir eksen üzerine yayıldığı, katların bükülmez olduğu, duvar ve kolonların uzamadığı varsayılır. Son modelleme tekniğinde ise, üst yapının dinamik özellikleri başka bir sonlu eleman programıyla (örneğin, ETABS, Wilson ve diğ., 1975) belirlenip 3D-BASIS programına eigenvalue ve eigenvektör dataları aktarılır. Bu şekilde, dikey elemanların uzayabilirliği, kütle merkezlerinin keyfi yeri ve zemin esnekliği tam olarak göz önüne alınabilir.

## (ii) Yalıtım Sistemi Modellemesi:

Üst yapının altında teşkil edilen yalıtım sistemi düzeyde sonsuz rijit olduğu kabul edilen yalıtım cihazlarının plan üzerindeki dağılımı ve lineer olmayan kuvvet deplasman özellikleri kullanılarak modellenir. 3D-BASIS programında, bir yalıtım sisteminin davranışını modelleyebilmek için lineer elastik elemanlar, lineer viskoz elemanlar, elastomer ve kayıcı mesnet elemanları ve çelik sönümleyiciler için histeretik elemanlar mevcuttur. Bu tez kapsamında lineer elastik, lineer viskoz ve iki eksenli elastomerik mesnetler modelleme için kullanılmıştır. Lineer elastik ve lineer viskoz elemanlar, lineer izolasyon sistemlerini oluşturabilmek için kullanılırlar. İstendiğinde, bir yalıtım sistemindeki bütün lineer elastik ve lineer viskoz cihazlar tabanın kütle merkezinde birleştirilmiş özelliklere sahip global elemanlar olarak da modellenebilirler. İki eksenli elastomer mesnetler ise, nonlineer kauçuk izolasyon sistemlerinin modellenmesinde etkin olarak kullanılırlar. İki eksenli etkileşimin modeli Park, Wen ve Ang (1986) tarafından ortaya atılan teorik temele dayanmaktadır. Bir elastomer taşıyıcı için, uygulanan kuvvetler şu denklemlerle belirtilir:

$$f_x = \alpha \frac{F_y}{d_y} U_x + (1-\alpha) F_y Z_x \quad ; \quad (2.11)$$

$$f_y = \alpha \frac{F_x}{d_x} U_y + (1-\alpha) F_x Z_y \quad (2.12)$$

Burada  $\alpha$  akma sonrası rijitliğin ve akma öncesi rijitliğe oranı,  $F_y$  akma kuvveti,  $d_y$  akma deplasmanıdır.  $Z_x$  ve  $Z_y$  histeretik kuvvetlerin yönünü ve iki eksenli etkileşimini açıklar:

$$\begin{Bmatrix} \dot{Z}_x d_y \\ \dot{Z}_y d_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A \dot{U}_x \\ A \dot{U}_y \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_x^2 (\gamma \text{sign}(\dot{U}_x Z_x) + B) & Z_x Z_y (\gamma \text{sign}(\dot{U}_y Z_y) + B) \\ Z_x Z_y (\gamma \text{sign}(\dot{U}_y Z_y) + B) & Z_x^2 (\gamma \text{sign}(\dot{U}_x Z_x) + B) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_x \\ \dot{U}_y \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

Burada  $\dot{U}_x$  ve  $\dot{U}_y$  X ve Y yönlerinin hızları,  $Z_x$  ve  $Z_y$  histerik boyutsuz miktarlar,  $d_y$  akma deplasmanı, A,  $\gamma$  ve  $\beta$  histerik döngünün şeklini ayarlayan boyutsuz miktarlardır.

3DBASIS’de  $A = 1$ ,  $\gamma = 0,9$  ve  $\beta = 0,1$  değerleri kullanılmaktadır.  $Z_x$  ve  $Z_y \pm 1$  değerleriyle sınırlı olup, histeretik kuvvetlerin yönünü ve iki eksenli etkileşimi gösterir (Nagarajaiah ve diğ., 1991).

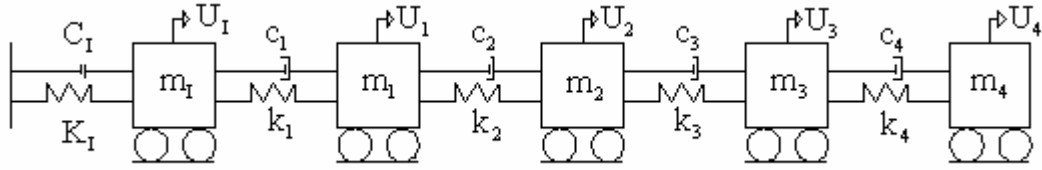
Yukarıda anlatıldığı şekilde modellenen sismik izolasyonlu yapılar, tek doğrultuda veya aynı anda iki doğrultuda deprem etkilerine maruz bırakılabilirler. Bunun sonucunda, izolasyon sistemi deplasmanları, görelî kat ötelemeleri, kat ivmeleri, taban kesme kuvveti ve taban burulma momenti gibi yapısal dinamik cevap parametrelerine ait zamana bağlı değişim veya pik değerler elde edilebilir.

Programın doğrulaması, Reinhorn ve diğ. (1994) tarafından farklı örnekler kullanılarak yapılmış ve rapor edilmiştir. Bir örnekte, kurşun çekirdekli elastomerik mesnetlerden oluşan bir yalıtım sistemine sahip altı katlı betonarme yapı incelenmiştir. 22 adet kurşun çekirdekli elastomerik mesnet mevcut olup karakteristik kuvvet oranı  $Q/W = 0.045$  civarındadır. İzolasyon periyodu 1.65 saniye olan yapı yapay bir ivme kaydına maruz bırakılmıştır. Tepkiyi doğrulamak için, DRAIN-2D’de (Kanan ve Powell, 1975) kullanılarak taban deplasman tepkisi hesaplanmış ve iki programın çıktıları arasındaki uyum ortaya konmuştur.

Bu programa ait ayrıntılı kullanım klavuzu, Nagarajaiah ve diğ. (1991) tarafından hazırlanan raporda mevcuttur. Bu kullanım klavuzundan yararlanılarak bu tez için oluşturulan modellere ait girdi datasına bir örnek, EK 2 ve EK 3’de sunulmuştur. Bu örnekle ilgili detaylı bilgi ise Bölüm 3’te verilecektir.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Dinamik yükler etkisindeki yapıların analizi ve tasarımı zamana bağlı değişen rüzgar ve deprem gibi kuvvetlerin dikkate alınmasını gerektirir. Etkiyen kuvvetlerin sabit bir değeri olmayıp zamanın bir fonksiyonu olduklarından yapı kütesine etkiyen bu kuvvetler zamanla değişecek bu da yapının yanıtının zamanla değişmesine neden olacaktır. Böylece, dinamik analiz neticesinde zamana bağlı bir fonksiyon şeklinde çözüm kümesi elde edilir. Bu çözüm kümesinin veya fonksiyonun ekstrem değerleri pik değerler olarak adlandırılırlar. Tek serbestlik dereceli bir modellemede sistemdeki kütlelerin tek bir noktada toplandığı kabulü yapılmaktadır. Bir kesme çerçevesinde veya deprem etkisindeki bir yapıda ise her kata gelen kuvvetlerin ve her katın rölatif deplasmanlarının bulunması gerekir. Bu gibi durumlarda sistem bir kütle–yay modeli gibi kabul edilir. Beş serbestlik dereceli bir sisteme ait kütle–sönüm–yay modeli Şekil 3.1’de verilmiştir. Sistem; kütle, sönüm, rijitlik terimleri açısından deplasman sayısı dikkate alınarak matris formda yazılır ( Civalek ve Çatal, 2004). Yapıların dinamik modellemesi ve analizi ile ilgili literatürde pek çok kaynak kitap mevcuttur (Benaroya ve Nagurka, 2010; Craig ve Kurdila, 2006).

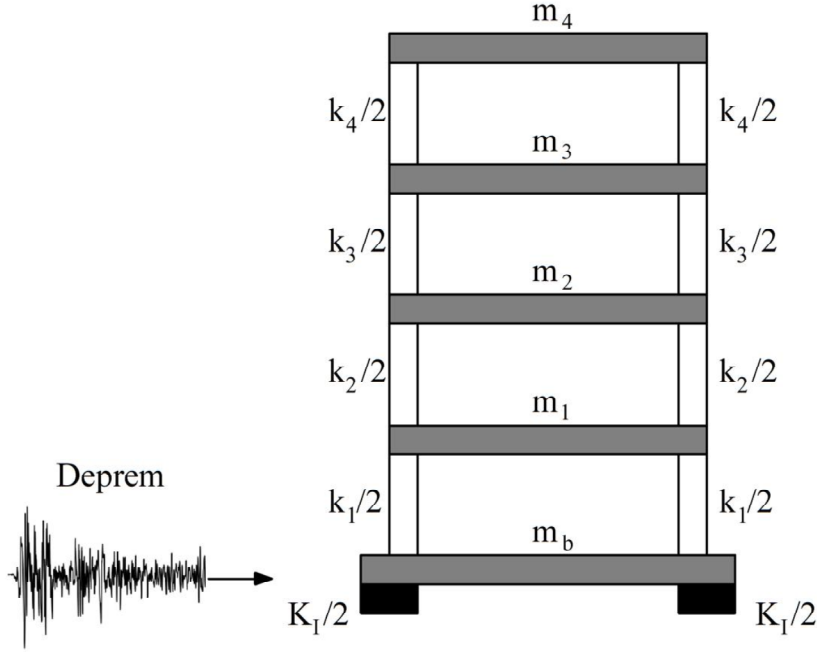


Şekil 3.1: Beş serbestlik dereceli bir kütle-sönüm-yay modeli.

Bu kısımda, ilk olarak nümerik deneylerde kullanılmak üzere oluşturulan yapıya ait üst yapı ve sismik izolasyon sistemlerinin matematiksel modellemesi anlatılmıştır. Daha sonra, duyarlılık çalışmasını içeren yönteme ait bilgiler verilmiştir. Son olarak, oluşturulan modellerin maruz bırakıldıkları tarihi deprem kayıtlarına ait detaylı bilgiler sunulmuştur.

### 3.1. KESME ÇERÇEVESİ MODELİ

Nümerik deneylerde kullanılacak olan kesme çerçevesi Şekil 3.2’de verilmiştir. Kesme çerçeveleri, belirli bir periyoda ve yükseklik boyunca belirli rijitlik dağılımına sahip olan yapıları temsil etmek üzere kullanılan prototip iki boyutlu modellerdir.



Şekil 3.2. Nümerik deneylerde kullanılacak kesme çerçevesi.

Şekil 3.2’de gösterilen ve Şekil 3.1’e denk olan kesme çerçevesinin taban ankastre eşleniği olan üst yapısına ait rijitlik ve kütle matrisleri,  $[K_s]$  ve  $[M_s]$  şu şekildedir:

$$[K_s] = \begin{pmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

$$[M_s] = \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Taban ankastre yapının serbest titreşimine ait denklem:

$$[M_s] [\ddot{U}] + [K_s] [U] = [0] \quad (3.3)$$

ile ifade edilir. Burada  $[U]$  deplasman vektörünü ve  $[\ddot{U}]$  ivme vektörünü göstermektedir. Bu durumda, kesme çerçevesine ait taban ankastre periyotlar

$$\det([K_s] - \omega_n^2 [M_s]) = 0 \quad (3.4)$$

karakteristik denkleminin köklerinden elde edilecek açısal frekanslara ( $\omega_{ni}$ ) bağlı olarak

$$T_{ns} = 2\pi / \omega_{ni} \quad (3.5)$$

ile elde edilir.

İzolasyon katı dahil toplam beş kattan oluşan çerçevede her katın kütlesi ve rijitlikleri birbirine eşittir. Kat kütleleri ve rijitlikleri, çerçevenin taban ankastre birinci mod periyodu  $T_{ns}=0.4$  s olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu hesap için, kütle ve rijitlik matrisleri MATLAB'de (MathWork, 2009) oluşturulmuş ve karakteristik denklemin kökleri ve buna bağlı olarak doğal periyotlar elde edilmiştir. MATLAB ile ilgili literatürde pek çok kaynak kitap mevcuttur (Ogata, 2008; Tewari, 2002). Yazılan program EK 1'de sunulmuştur. Lineer ve lineer olmayan sismik analizlerde kullanılan 3DBASIS (Nagarajiah ve diğ., 1991) programı tarafından kesme çerçevesi modeline uygun olarak kütle ve rijitlik matrislerinin oluşturulabilmesi için bu şekilde hesaplanan kat kütleleri ve kat rijitlikleri programa veri olarak aktarılmıştır. Her katın nominal kütlesi  $m_1=m_2=m_3=m_4=1$  ton ve nominal rijitlikler  $k_1=k_2=k_3=k_4=2050$  kN olarak seçildiğinde, hedeflenen periyot ve rijitlik dağılımı elde edilmektedir.

İzolasyonlu modelde, her katta bir serbestlik derecesi olmak üzere toplam beş adet serbestlik derecesi vardır. Her kat sonsuz rijit diyafram olarak modellenmiş ve kat kütleleri toplu kütle olarak kat seviyelerinde toplanmış olarak kabul edilmiştir. Nominal

üst yapı modal sönüm oranı her mod için eşit ve  $\zeta_s = \%5$  olarak kabul edilmiştir. Katlara ait sönüm katsayıları,  $c_1, c_2, c_3$  ve  $c_4$  buna uygun alınmıştır.

Yer hareketine maruz kalan lineer izolasyon sistemine sahip bir sismik izolasyonlu yapının dinamik denge denklemi:

$$[M_i] [\ddot{U}] + [C_i] [\dot{U}] + [K_i] [U] = -[M_i][H][\ddot{z}] \quad (3.6)$$

ile verilir (Chopra, 1995). Burada [H] her elemanı 1 olan ve serbestlik derecesi sayısı kadar elemanı olan vektörü,  $[M_i]$ ,  $[C_i]$  ve  $[K_i]$  sırasıyla izolasyonlu yapının kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini temsil eder ve bu çalışmadaki yapı için aşağıdaki gibi teşkil edilir:

$$[M_i] = \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_4 \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

$$[C_i] = \begin{pmatrix} (C_1+c_1) & -c_1 & 0 & 0 & 0 \\ -c_1 & (c_1+c_2) & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & -c_2 & (c_2+c_3) & -c_3 & 0 \\ 0 & 0 & -c_3 & (c_3+c_4) & -c_4 \\ 0 & 0 & 0 & -c_4 & c_4 \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

$$[K_i] = \begin{pmatrix} (K_1+k_1) & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & (k_1+k_2) & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & (k_2+k_3) & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & (k_3+k_4) & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

$[C_i]$  matrisinde yer alan sönüm katsayılarından  $C_1$  izolasyon sisteminin sönüm katsayısını,  $c_1, c_2, c_3, c_4$  ise katlara ait sönüm katsayılarını vermektedir.

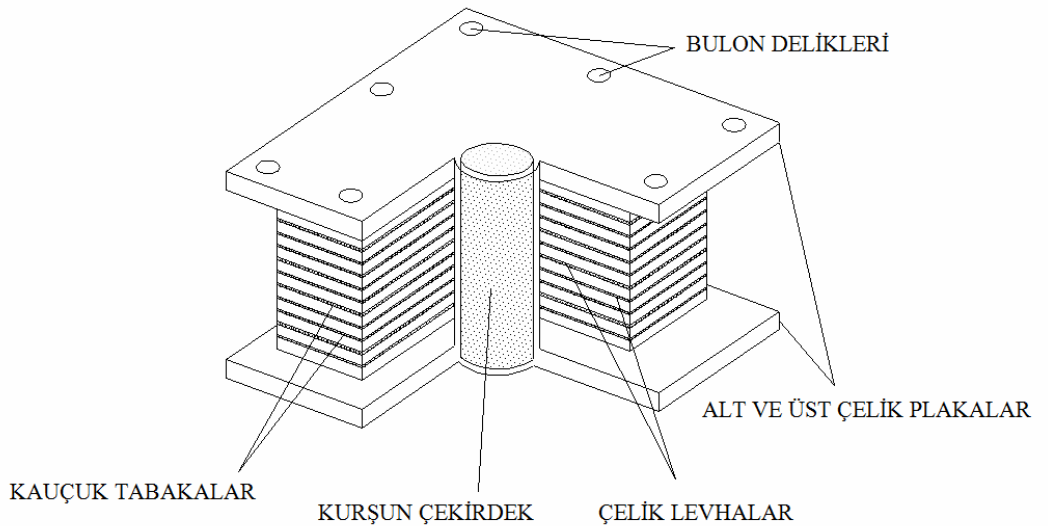
Yer hareketine maruz kalan nonlinear izolasyon sistemine sahip bir sismik izolasyonlu yapının dinamik denge denklemi ise,

$$[M_i] [\ddot{U}] + [C_i] [\dot{U}] + [K_i] [U] + [F(U, \dot{U})] = -[M_i][H][\ddot{z}] \quad (3.10)$$

ile verilir. Burada (3.6) denkleminde farklı olarak,  $[F(U, \dot{U})]$  her bir adımda rijitlik değişimine bağlı olarak hesaplanan lineer olmayan yay kuvvetidir (Chopra, 1995).

### 3.2. İZOLASYON SİSTEMLERİ MODELLERİ

Sismik izolasyon sistemleri Şekil 3.3'de verilen kauçuk sismik izolatörlerden oluşmaktadır. Lineer ve lineer olmayan davranışa sahip iki tip izolasyon sistemi göz önüne alınmıştır. Lineer davranışa sahip izolasyon sisteminde kurşun çekirdeğin bulunmadığı düşük sönümlü kauçuk sismik izolatörlerle bunlara paralel olarak çalışacak viskoz sönümleyiciler kullanılmıştır. Sismik izolasyon sistemleri, 3DBASIS programı kullanılarak taban katının altına modellenmiştir.



Şekil 3.3. Kauçuk Sismik İzolatör (Şahin,2008).

### 3.2.1 Lineer İzolasyon Sistemleri

Lineer izolasyon sistemlerinin izolasyon periyotlarının ve sönüm oranlarının tipik aralığını tarayacak şekilde altı adet izolasyon sistemi tasarlanmıştır (Tablo 3.1). İzolasyon sistemlerinin nominal rijitlikleri ( $K_I$ ) Denklem (2.1) kullanılarak izolasyon periyotları  $T_I = 2$  s, 3 s ve 4 s olacak şekilde hesaplanmış ve Tablo 3.1’de özetlenmiştir. İzolasyon sistemlerinin nominal sönüm katsayıları ( $C_I$ ) izolasyon sistemi sönüm oranları  $\zeta_I = \%10$  ve  $\%20$  olacak şekilde Denklem (2.3) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 3.1’de özetlenmiştir. Bahsi geçen periyot ve sönüm oranlarının farklı kombinasyonlarına göre teşkil edilen izolasyon sistemleri LA1, LB1, LC1, LA2, LB2 ve LC2 olarak isimlendirilmişlerdir.

Tablo 3.1. Lineer izolasyon sistemlerine ait özellikler

İzolasyon Sistemi	$T_I$ (s)	$\zeta_I$ (%)	$K_I$ (kN/m)	$C_I$ (kNs/m)
LA1	2	10	49.34	3.14
LB1	3	10	21.93	2.09
LC1	4	10	12.34	1.57
LA2	2	20	49.34	6.28
LB2	3	20	21.93	4.18
LC2	4	20	12.34	3.14

Lineer izolasyon sistemlerine örnek olarak, LA1 modeline ait 3DBASIS girdi (input) dosyası ekler kısmında (EK.2) sunulmuştur.

### 3.2.2 Lineer Olmayan İzolasyon Sistemleri

Lineer olmayan izolasyon sistemlerinin izolasyon periyotlarının ( $T_b$ ) ve akma seviyelerinin (Q/W oranlarının) tipik aralığını tarayacak şekilde altı adet izolasyon sistemi tasarlanmıştır (Tablo 3.2).

İzolasyon sistemlerinin akma sonrası rijitlikleri ( $K_2$ ) Denklem (2.4) kullanılarak izolasyon periyotları  $T_b = 2$  s, 3 s ve 4 s olacak şekilde hesaplanmış ve Tablo 3.2’de özetlenmiştir. Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitlik olan  $K_1$ ’e oranı sabit ve nominal olarak  $\alpha = 0.1$  alınmıştır. İzolasyon sistemlerine ait seçilen Q/W oranlarına ve Denklem (2.10)’ a bağlı olarak nominal akma deplasmanları ( $d_y$ ) hesaplanmış ve

Tablo 3.2’de verilmiştir. Ayrıca Denklem (2.7) kullanılarak tasarlanan izolasyon sistemlerine ait nominal akma kuvvetleri ( $F_y$ ) aynı tabloda sunulmuştur. Bahsi geçen izolasyon periyotları ve akma seviyelerinin farklı kombinasyonlarına göre teşkil edilen izolasyon sistemleri NLA1, NLB1, NLC1, NLA2, NLB2 ve NLC2 olarak isimlendirilmişlerdir.

Tablo 3.2. Lineer olmayan izolasyon sistemlerine ait özellikler

İzolasyon Sistemi	$T_b$ (s)	Q/W (%)	$K_2$ (kN/m)	$F_y$ (kN)	$d_y$ (mm)
NLA1	2	5	49.34	2.725	5.52
NLB1	3	5	21.93	2.725	12.42
NLC1	4	5	12.34	2.725	22.08
NLA2	2	10	49.34	4.905	11.04
NLB2	3	10	21.93	4.905	24.84
NLC2	4	10	12.34	4.905	44.16

Lineer olmayan izolasyon sistemlerine örnek olarak, NLA1 modeline ait 3DBASIS girdi (input) dosyası ekler kısmında (EK.3) sunulmuştur.

### 3.3. DUYARLILIK ANALİZLERİ

İzolasyon sistemi ve üst yapının mekanik özelliklerinde hesap hatası, üretim hatası, yapılan kabüllere bağlı hatalar, vb. sebeplerle meydana gelebilecek ufak sapmaların, yapının depreme maruz kalması durumunda, kat ivmelerine, izolasyon sistemi deplasmanlarına ve taban kesme kuvvetlerine olan etkisi bir duyarlılık analizi çalışması ile incelenmiştir. Duyarlılık analizleri lineer izolasyon sistemlerine ve lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip yapılar için ayrı ayrı yürütülmüştür.

#### 3.3.1 Lineer İzolasyon Sistemleri İçin Duyarlılık Analizleri

Farklı izolasyon sistemlerine sahip toplam altı adet yapısal sistemin en üst kat ivmesi (a), izolasyon sistemi deplasmanı (d) ve taban kesme kuvvetinin (V) aşağıda listelenen yapısal özelliklerde nominal tasarım değerlerine göre  $\pm\%25$ ’e varan sapmalara olan duyarlılığı incelenmiştir:

- i. İzolasyon sistemi rijitliği,  $K_1$
- ii. İzolasyon sistemi sönüm katsayısı,  $C_1$

- iii. Yapı kat kütlesi,  $M_s$
- iv. Üst yapı sönüm oranı,  $\zeta_s$
- v. Üst yapı kat rijitliği,  $K_s$

Yapısal özelliklerdeki sapmalar, her %5'lik artışlar ve azalmalar için ayrı ayrı göz önüne alınmıştır.

### 3.3.2 Lineer Olmayan İzolasyon Sistemleri İçin Duyarlılık Analizleri

Farklı izolasyon sistemlerine sahip toplam altı adet yapısal sistemin en üst kat ivmesi (a), izolasyon sistemi deplasmanı (d) ve taban kesme kuvvetinin (V) aşağıda listelenen yapısal özelliklerde nominal tasarım değerlerine göre  $\pm\%25$ 'e varan sapmalara olan duyarlılığı incelenmiştir:

- i. Akma yer değiştirmesi,  $d_y$
- ii. Akma dayanımı,  $F_y$
- iii. Akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı,  $\alpha$
- iv. Yapı kat kütlesi,  $M_s$
- v. Üst yapı sönüm oranı,  $\zeta_s$
- vi. Üst yapı kat rijitliği,  $K_s$

Özelliklerdeki sapmalar, her %5'lik artışlar ve azalmalar için ayrı ayrı göz önüne alınmıştır.

### 3.3.3 Sismik Analizler

Yukarıda tarif edilen duyarlılıkları belirleyebilmek amacıyla nominal ve bahsi geçen yapısal özelliklerinde belirli sapmalar bulunan sismik izolasyonlu yapılar, bir sonraki kısımda detayları verilen tarihi depremlere maruz bırakılarak 3DBASIS programı yardımıyla analiz edilmişlerdir. Her analiz sonucunda en üst kat ivmesinin, izolasyon sistemi deplasmanının ve taban kesme kuvvetinin mutlak değerce en büyük miktarları (pik değerler) hesaplanarak duyarlılık grafiklerinde kullanılmak üzere kayıt altına alınmışlardır.

Yapısal parametrelerdeki sapma olan durumlara ait değişkenler  $K_I^*$ ,  $C_I^*$ ,  $M_s^*$ ,  $\zeta_s^*$ ,  $K_s^*$ ,  $d_y^*$ ,  $F_y^*$  ve  $\alpha^*$  ile gösterilmek üzere  $K_I^*/K_I$ ,  $C_I^*/C_I$ ,  $M_s^*/M_s$ ,  $\zeta_s^*/\zeta_s$ ,  $K_s^*/K_s$ ,  $d_y^*/d_y$ ,  $F_y^*/F_y$  ve  $\alpha^*/\alpha$  oranlarının 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95, 1.00, 1.05, 1.10, 1.15, 1.20 ve 1.25 olduğu durumlar için ayrı ayrı modellemeler yapılmıştır. Tüm bu modeller

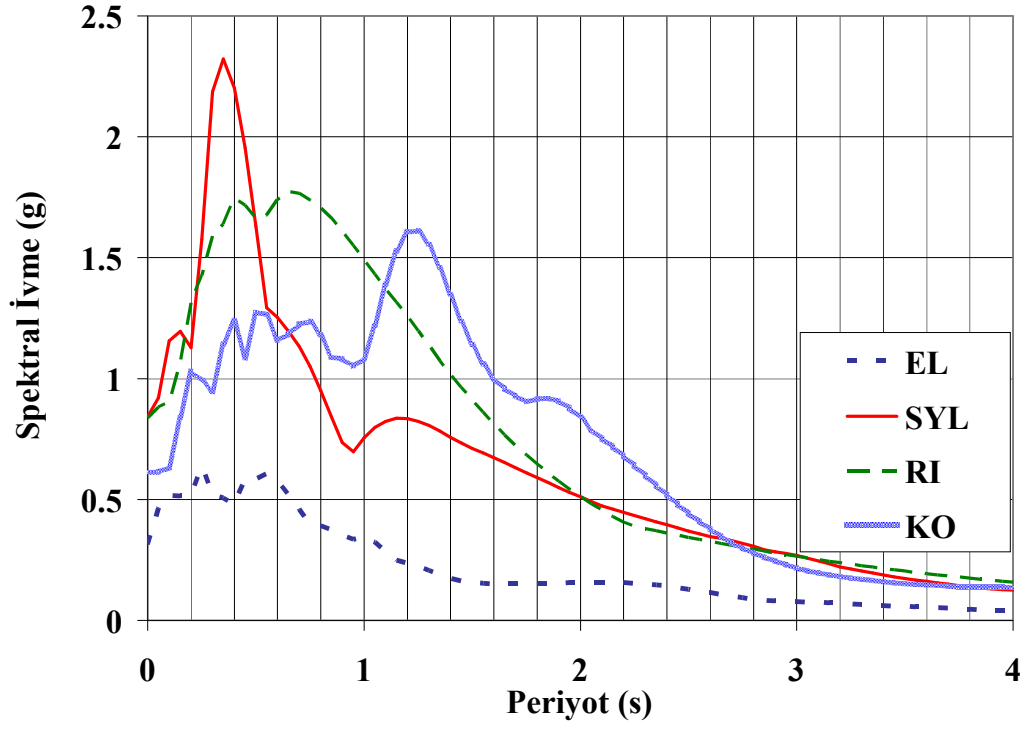
depremlere maruz bırakılarak analizleri yapılmıştır. Bulgular kısmında sunulacak olan grafiklerde, nominal yapısal parametrelere sahip yapılar için hesaplanan en üst kat ivmeleri  $a$  ile, izolasyon deplasmanları  $d$  ile, taban kesme kuvvetleri  $V$  ile temsil edilmişlerdir. Yapısal parametrelerde sapmaların bulunduğu durumlara ait yapısal cevaplar ise  $a^*$ ,  $d^*$  ve  $V^*$  ile temsil edilmişlerdir. Analizler sonucunda, bu cevapların nominal cevaplara göre ne kadar değiştiğini gözlemleyebilmek için  $a^*/a$ ,  $d^*/d$  ve  $V^*/V$  değerleri hesaplanmıştır.

### 3.4. DEPREM KAYITLARI

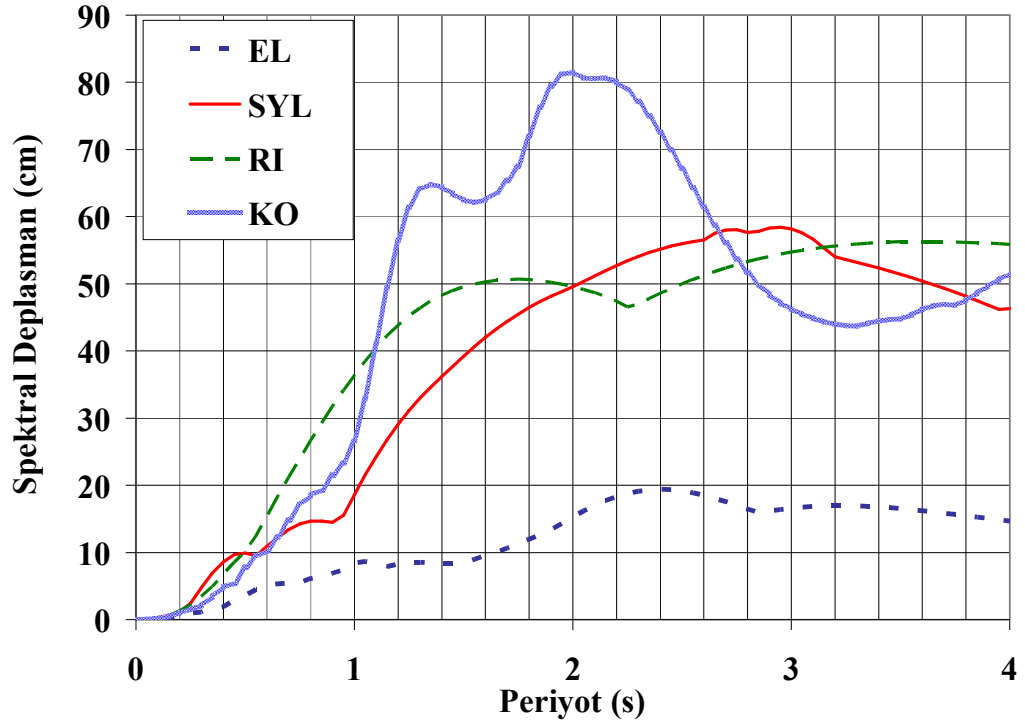
Bu çalışma kapsamında kullanılacak deprem kayıtları <http://peer.berkeley.edu/smcat> adresinde bulunan Berkeley Üniversite'sine ait "Peer Strong Motion Databank" (Berkeley, 2009) isimli data bankasından elde edilmiştir. Depremlerin isimleri, kayıt adları, çalışmada kullanılacak kodları, tarihleri, faya en yakın olan uzaklıkları, pik yer ivmeleri (PGA), pik yer hızları (PGV) ve pik yer ötelenmeleri (PGD) Tablo 3.3'de verilmiştir. Bu deprem kayıtlarına ait spektral deplasman ve spektral ivme grafikleri %10 sönüm için Şekil 3.4 ve 3.5'te ve %30 sönüm için Şekil 3.6 ve 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Deprem Kayıtlarına ait Özellikler

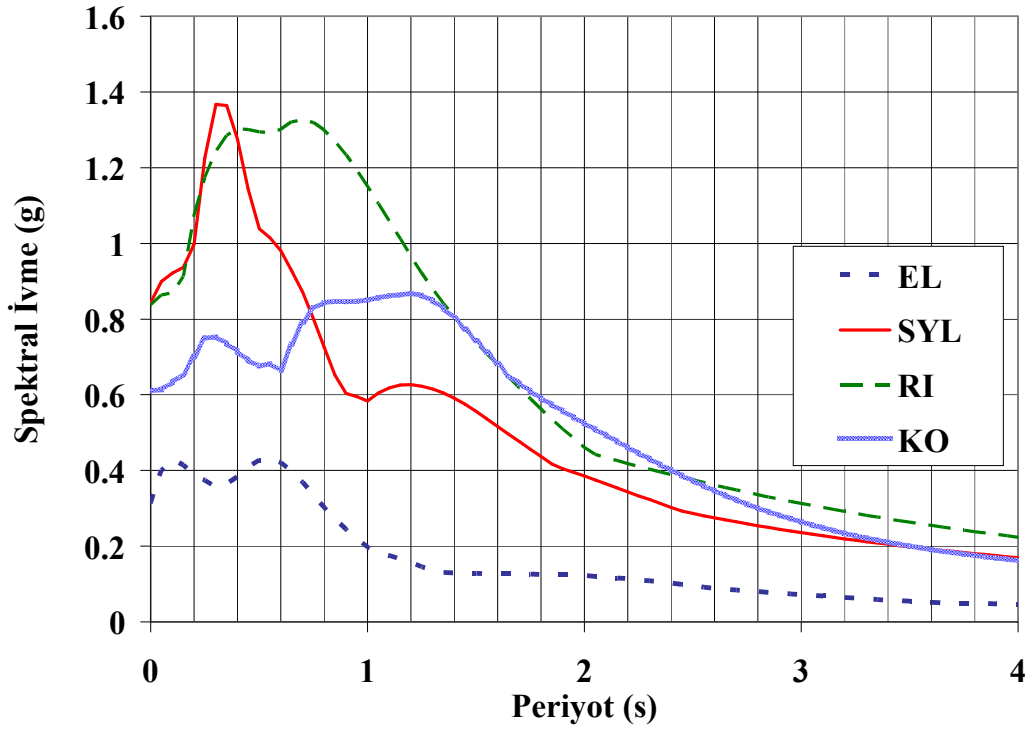
Deprem Adı	İstasyon Adı	Kodu	Kayıt Tarihi	Faya En Yakın Uzaklık (km)	Kayıt Adı	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Imperial Valley	El Centro	EL	19/05/1940	8.3	IMPVALL I-ELC180	0.313	29.8	13.32
Northridge	Rinaldi	RI	17/01/1994	7.1	NORTHR RRS228	0.838	166.1	28.78
Northridge	Sylmar	SYL	17/01.1994	6.4	NORTHR SYL360	0.843	129.6	32.68
Kobe	KJMA	KO	16/01/1995	0.3	KOBE TAK000	0.611	127.1	35.77



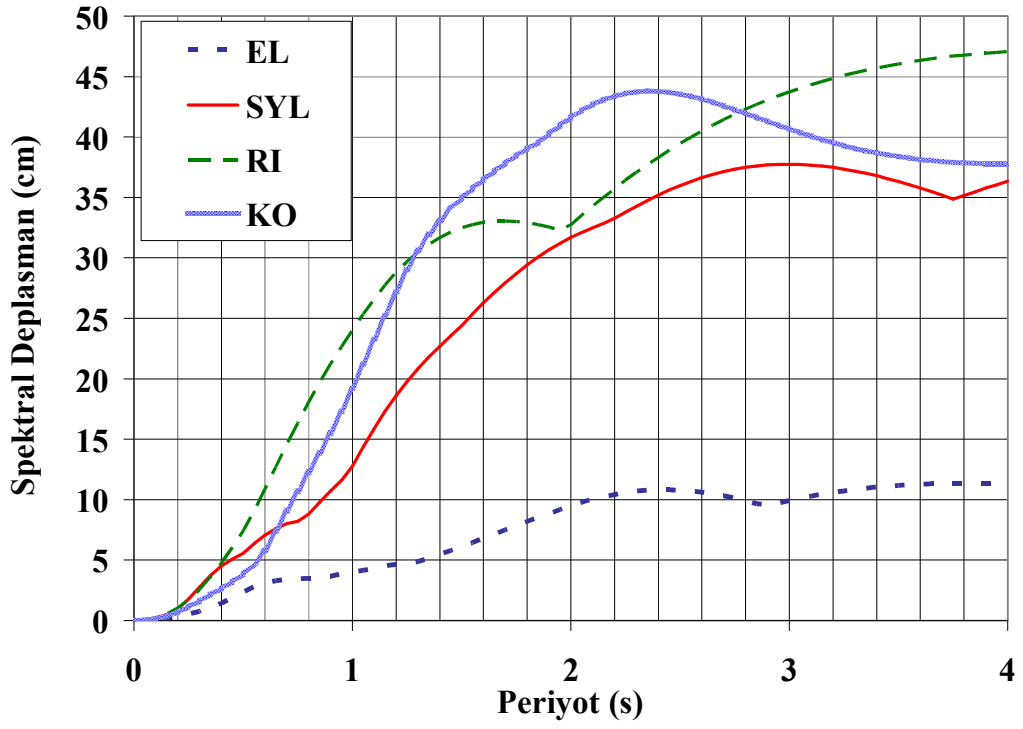
Şekil 3.4: Tarihi deprem kayıtlarına ait %10 sönümlü ivme spektrumları.



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



Şekil 3.6: Tarihi deprem kayıtlarına ait %30 sönümlü ivme spektrumları.



Şekil 3.7: Tarihi deprem kayıtlarına ait %30 sönümlü deplasman spektrumları.

## 4. BULGULAR

Bu kısımda, daha önce oluşturulan lineer ve lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip prototip yapılar EL, KO, RI, SYL depremlerine maruz bırakılarak Bölüm 3.3'te detaylı bir şekilde anlatılan duyarlılık analizleri sonucunda oluşturulan grafikler sunulmuş ve tartışılmıştır.

Bu kısımda sunulan grafiklerde, nominal yapısal parametrelere sahip yapılar için hesaplanan pik en üst kat ivmeleri  $a$  ile, pik izolasyon deplasmanları  $d$  ile, pik taban kesme kuvvetleri  $V$  ile temsil edilmişlerdir. Yapısal parametrelerde sapmaların bulunduğu durumlara ait pik yapısal cevaplar ise  $a^*$ ,  $d^*$  ve  $V^*$  ile temsil edilmişlerdir.

Analizler sonucunda, bu cevapların nominal cevaplara göre ne kadar değiştiğini gözlemleyebilmek için  $a^*/a$ ,  $d^*/d$  ve  $V^*/V$  değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler, yapısal parametrelerde sapma olmayan durumlarda 1.00'a eşit olacaktır. Bu değerlerin 1.00'ın üzerinde olduğu durumlar, yapısal parameterlerdeki sapmaların incelenen yapısal cevapta artışa sebebiyet verdiği, 1.00'ın altında olduğu durumlar ise bu sapmaların incelenen yapısal cevapta azalmaya sebebiyet verdiğini gösterir.

Öncelikle incelenen nominal izolasyon sistemlerinin sismik performansı, bir izolasyon sisteminden beklendiği gibi, ivmeleri azaltmak suretiyle artırıp artırmadığı incelenmiştir. Tablo 4.1 ve 4.2'de lineer izolasyon sistemlerinin ve lineer olmayan (nonlinear) izolasyon sistemlerinin performansı sırasıyla özetlenmiştir ve pik en üst kat ivmesinin pik yer ivmesine oranları ( $a/a_g$ ) her deprem ve her izolasyon sistemi için sunulmuştur

Tablo 4.1 Lineer sismik izolasyon sistemlerinin performansları.

İzolasyon Sistemi	$a/a_g$			
	EL	KO	RI	SYL
LA1	0.45	1.40	0.60	0.64
LA2	0.39	0.98	0.59	0.57
LB1	0.23	0.36	0.34	0.34
LB2	0.21	0.42	0.38	0.31
LC1	0.13	0.23	0.21	0.17
LC2	0.15	0.24	0.26	0.19

Tablo 4.2 Nonlineer sismik izolasyon sistemlerinin performansları.

İzolasyon Sistemi	$a/a_g$			
	EL	KO	RI	SYL
NLA1	0.55	2.68	0.74	0.79
NLA2	0.80	1.85	0.82	0.73
NLB1	0.40	0.50	0.32	0.39
NLB2	0.49	0.65	0.38	0.38
NLC1	0.23	0.28	0.23	0.23
NLC2	0.34	0.42	0.26	0.29

Tablo 4.1’de görüldüğü üzere, yapıya gelen en büyük yer ivmesi yapının en üst katına genellikle azaltılarak aktarılmıştır. Halbuki, 4 katlı ( $T_s=0.4$  s) olan ankastre bir yapı için  $a/a_g$  değerlerinin 1.0’in üzerinde kalacağı Şekil 3.4-3.7’de sunulan spektrum grafiklerinden açıkça görülmektedir. Dolayısıyla tasarlanan nominal izolasyon sistemlerinin sismik performansı etkin bir şekilde beklendiği gibi arttırdığı ortaya konmuş ve tasarım teyit edilmiştir. Tek istisnai durumun KO depremine maruz kalan LA1 sistemi için oluştuğu, bu sistemde de ivme artışının sınırlı düzeyde kaldığı (yer ivmesinin %40’ı kadar fazla) görülmektedir.

Nonlinear sistemler için elde edilen  $a/a_g$  değerleri incelendiğinde (Tablo 4.2), izolasyonun büyük ölçüde etkili olduğu, değerlerin 0.23’e kadar düştüğü ve modellerin neredeyse tamamında 1.00’in altında kaldığı görülmektedir. Lineer sistemlerde olduğu gibi, yapıya gelen en büyük yer ivmesi yapının en üst katına genellikle azaltılarak aktarılmıştır. Bu sistemler için istisnai durumlar ise NLA1 ve NLA2 sistemlerinin KO depremi altındaki ivme tepkileri olmuştur. Ancak bu durumlarda dahi en üst kat ivmesinin yer ivmesine göre durumu kabul edilebilir düzeydedir.

#### 4.1 LİNEER İZOLASYON SİSTEMLERİNE AİT BULGULAR

Lineer izolasyon sistemlerinin söz konusu olduğu durumlarda, nominal yapısal parametreler  $K_I$ ,  $C_I$ ,  $M_s$ ,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  ile; sapma olan durumlara ait parametreler  $K_I^*$ ,  $C_I^*$ ,  $M_s^*$ ,  $\zeta_s^*$ ,  $K_s^*$  ile gösterilmek üzere  $K_I^*/K_I$ ,  $C_I^*/C_I$ ,  $M_s^*/M_s$ ,  $\zeta_s^*/\zeta_s$ ,  $K_s^*/K_s$  oranlarının 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95, 1.00, 1.05, 1.10, 1.15, 1.20 ve 1.25 olduğu durumlar için ayrı ayrı analizler yapılmış ve elde edilen  $a^*/a$ ,  $d^*/d$  ve  $V^*/V$  değerleri LA1, LA2, LB1, LB2, LC1 ve LC2 olarak isimlendirilmiş olan farklı izolasyon sistemleri için Şekil 4.1 – 4.15’te sunulmuştur.

Lineer izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin üst yapı rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’te verilmiştir. Şekil 4.1 ve 4.2’den, üst yapı rijitliğindeki herhangi bir sapmanın deprem türünden ve izolasyon sistemi tipinden bağımsız olarak taban kesme kuvvetleri ve izolasyon sistemi deplasmanları üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Üst yapı

rijitliğinde meydana gelebilecek % 25'lik bir sapma dahi taban kesme kuvvetinde en fazla %0.72 (RI-LA2) kadar ve izolasyon sistemi deplasmanında en fazla %0.78 (RI-LA1) kadar bir farklılık meydana getirmiştir. Üst yapı rijitliğindeki sapmaların en büyük etkisi yine bir üst yapı cevap parametresi olan en üst kat ivme değerlerinde ortaya çıkmıştır (Şekil 4.3). Buna göre, en olumsuz durumda, üst yapı rijitliğinde meydana gelebilecek %25'lik bir azalma SYL depremi altında LC2 sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinde %11.2 civarında bir artışa sebebiyet vermektedir. Ancak, %5 ~ %10 kadar çok küçük sapmaların ivme değerlerini çok az (en fazla %3) etkilediği görülmüştür.

Lineer izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.4'te verilen grafikler incelendiğinde, üst yapı kütlede meydana gelecek sapmaların pik taban kesme kuvvetlerinde tüm depremlerde önemli farklılıklar meydana getirdiği, kütlede meydana gelebilecek % 25'lik bir sapma sonucu pik taban kesme kuvvetinde %26'ya varan (EL-LA1) bir değişim olduğu görülmüştür. Çok ufak sapmalarda (%5 ~ % 10) ise, taban kesme kuvvetlerindeki değişim en fazla %10 (EL-LA1) kadardır. Ayrıca, değişimler deprem türüne ve izolasyon sistemi tipine göre farklılık segilemektedir. RI depremi altında değişim oldukça az iken, EL altında oldukça fazladır. LC2 izolasyon sistemi için etkilenme tüm depremlerde oldukça az iken LA1 için fazladır. Üst yapı kütledeki sapmaların pik izolasyon sistemi deplasmanına etkisi incelendiğinde (Şekil 4.5); %25'lik sapmada en fazla %26.3 (EL-LA1) ve %19.8 (KO-LB1) değişim meydana geldiği görülmüştür. Üst yapı kütledeki sapmaların, izolasyon sistemi deplasmanlarını RI ve SYL depremlerinde diğer iki depreme göre daha az etkilediği görülmüştür. Üst yapı kütledeki sapmaların en fazla pik en üst kat ivmesini etkilediği görülmektedir (Şekil 4.6). Grafikler incelendiğinde; %25'lik sapmada ivmelerde % 48.3'e varan oranlarda (KO-LB1) değiştiği gözlenmektedir. %5 kadar çok ufak sapmalarda bile, ivmelerde %7'ye varan değişimler (KO-LB1) olmaktadır.

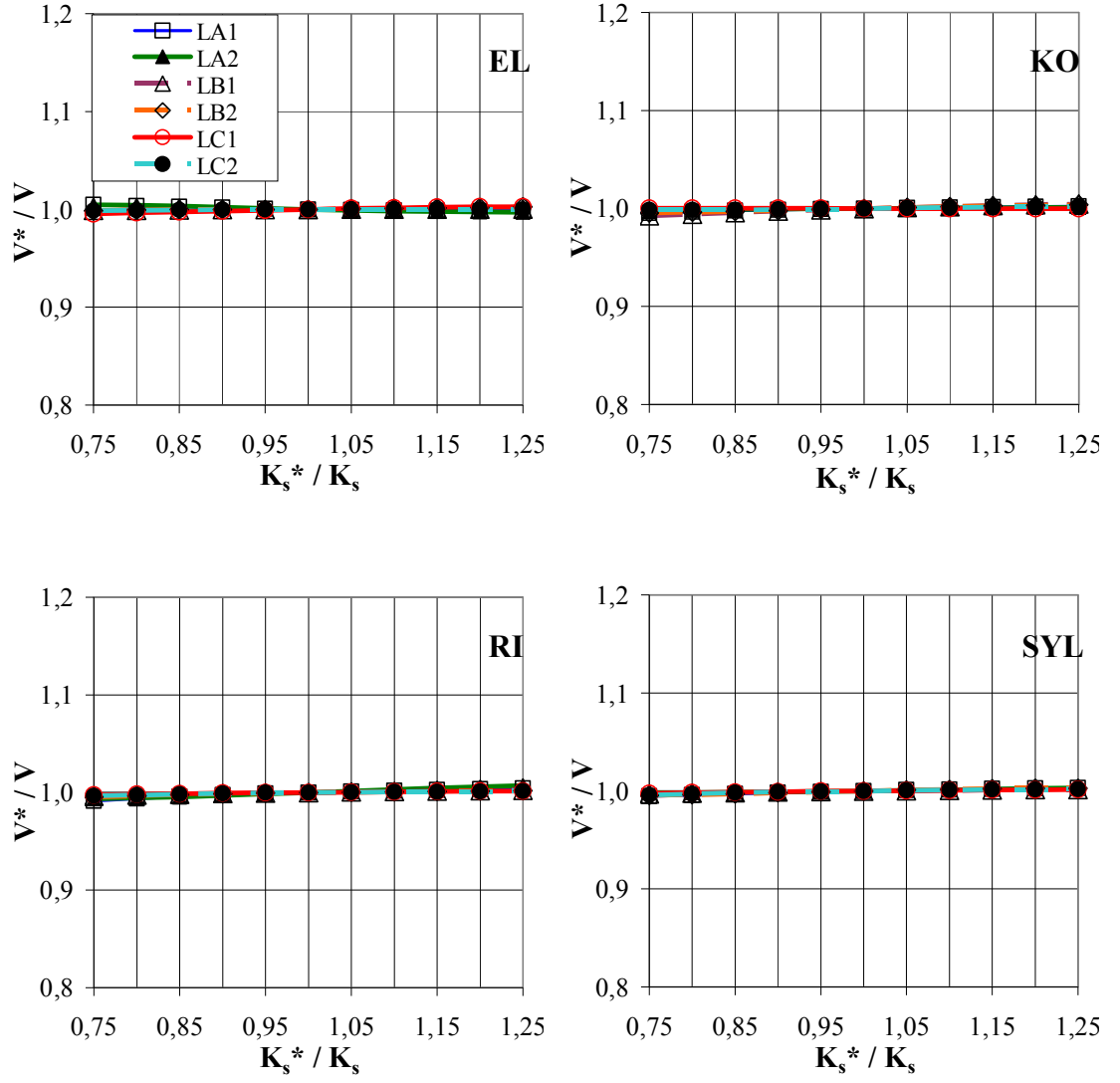
Lineer izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin üst yapının sönüm

oranındaki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.7 ve 4.8'deki grafiklerden, üst yapının sönüm oranındaki herhangi bir sapmanın deprem türünden bağımsız olarak taban kesme kuvvetleri ve izolasyon deplasmanları üzerinde hemen hemen hiç bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Üst yapının sönüm oranında meydana gelebilecek % 25'lik bir sapma dahi taban kesme kuvvetinde en fazla %0.03 (RI) kadar ve izolasyon sistemi deplasmanında en fazla %0.021 (EL) kadar bir farklılık meydana getirmiştir. Üst yapının sönüm oranındaki sapmaların en büyük etkisi, yine bir üst yapı cevap parametresi olan en üst kat ivme değerlerinde ortaya çıkmıştır (Şekil 4.9). Ancak gözlenebilen düzeyde olan bu etki ihmal edilebilecek seviyelerdedir. En olumsuz durumda bile, yani üst yapı rijitliğinde meydana gelebilecek %25'lik bir azalma EL depremi altında LC2 sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinde ancak %2.2 kadar bir artışa sebebiyet vermektedir. Buna ek olarak, %5 ~ %10 kadar çok küçük sapmaların ivme değerlerini yok denecek kadar az (en fazla % 0.8) etkilediği görülmüştür.

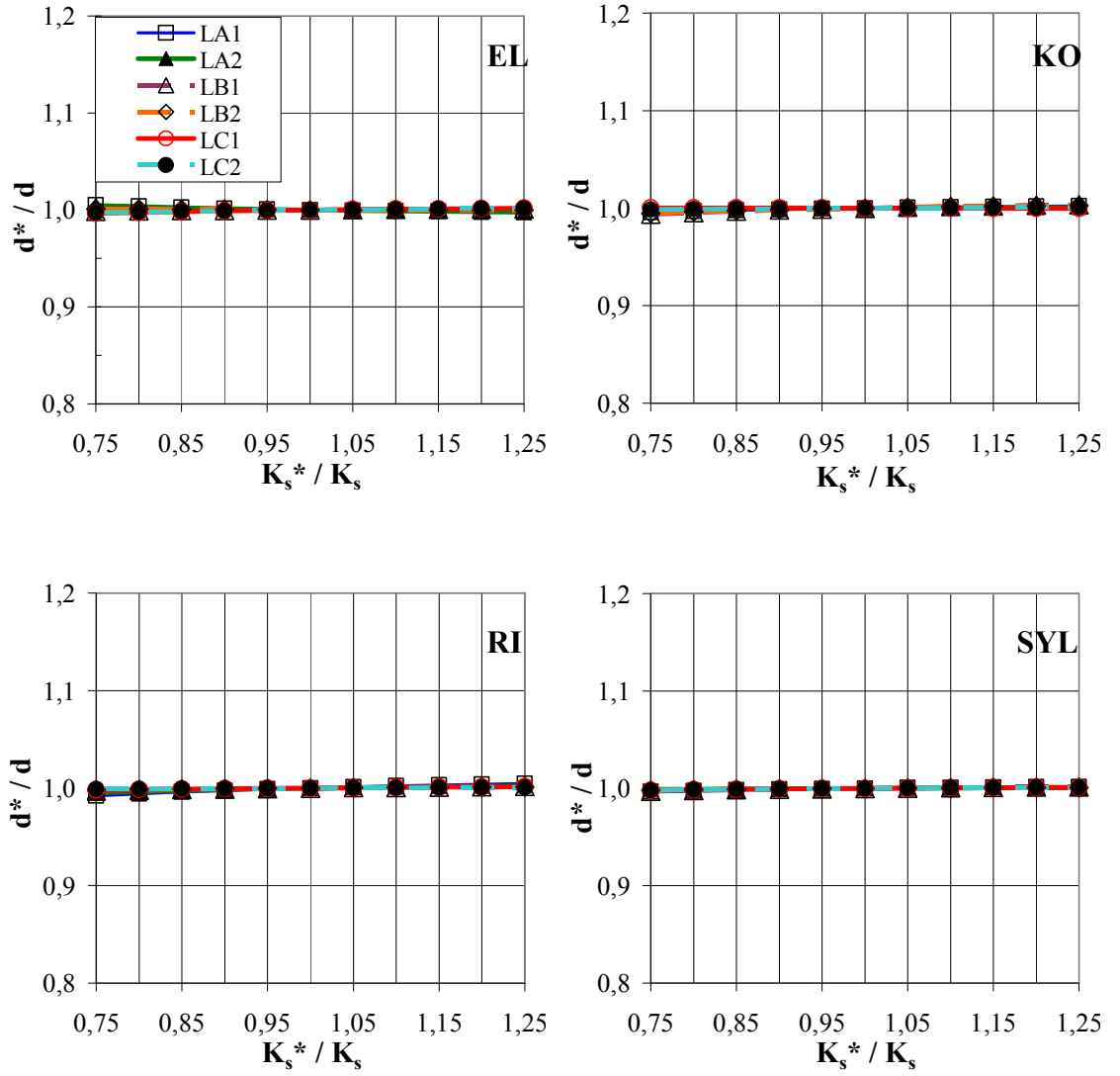
Lineer izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin, izolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilmiştir. İzolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmaların pik taban kesme kuvvetine etkisi incelendiğinde; tüm depremlerde önemli değişimlere sebep olduğu ve deprem türüne ve izolasyon sistemi tasarım tipine bağlı olarak meydana gelen değişimlerin farklılık gösterdiği görülmüştür. KO depreminde %25'lik pozitif sapma %50'yi aşan ciddi bir değişime neden olmuştur (LB1). %5'lik çok ufak sapmalarda bile %9'a varan (KO) değişimler meydana geldiği, %10'luk sapmaların ise en fazla %18 (KO) kadar değişimlere sebep olduğu görülmüştür. Sapma oranının artmasıyla değişimin hızlı bir şekilde arttığı açıkça görülmektedir. Pik izolasyon sistemi deplasmanının, izolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı incelendiğinde (Şekil 4.11), deprem türüne ve izolasyon sistemi tasarım tipine bağlı olarak farklılık gösterdiği, EL ve KO depremlerinde en büyük değişimlerin meydana geldiği görülmüştür. Bazı tasarım tiplerinde rijitlikteki pozitif sapmalar için deplasmanda artış meydana gelebildiği ve negatif sapmalar için de deplasmanlarda azalma meydana gelebildiği görülmüştür. %25'lik sapmalarda, en fazla %24 kadar bir değişimin meydana geldiği görülmüştür (KO-LB1). %5 ila %10'luk çok küçük sapmalarda ise deplasmanlardaki değişim daha

az olmasına rağmen, bu değişimlerin kayda değer oranlarda (%10a varan, EL-LA1) olduğu tespit edilmiştir. Tüm depremler arasında, RI depreminde sapmaların deplasmanlar üzerindeki etkisinin daha az olduğu görülmüştür. Pik en üst kat ivmesinin, izolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı incelendiğinde (Şekil 4.12), deprem türüne ve tasarım tipine bağlı olarak farklı değişimlerin meydana geldiği ve pik en üst kat ivmesinin izolasyon sistemi rijitliğindeki sapmadan önemli derecede etkilendiği görülmüştür. KO depreminde, izolasyon sisteminde %25'lik sapmada en üst kat ivmelerinde %50'yi aşan değişim ortaya çıkmıştır (KO-LB1). Çok küçük sapmalar için (%5) ivmede meydana gelen değişim %8'i bulabilmektedir (KO-LB1).

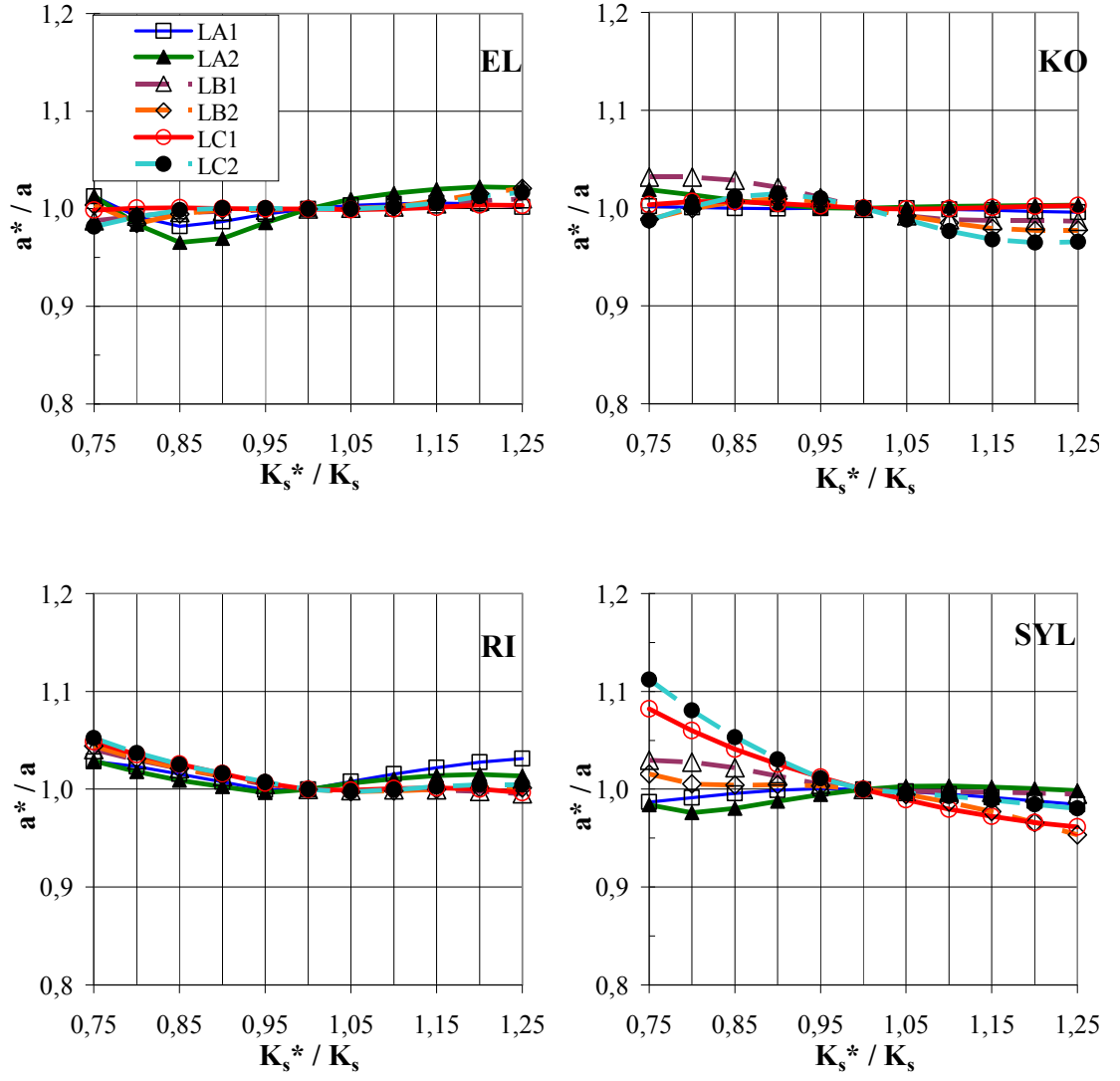
Lineer izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin, izolasyon sisteminin sönüm katsayısındaki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'de verilmiştir. İzolasyon sisteminin sönüm katsayısındaki sapmaların pik taban kesme kuvvetinde meydana getirdiği değişimler incelendiğinde (Şekil 4.13); en büyük değişimin sönüm katsayısında %25 kadar bir azalma durumunda oluşan %16'lık fark olduğu görülmüştür (KO-LA1). Deprem türü ve tasarım tipine bağlı olarak sönüm katsayısında meydana gelecek negatif sapmalar bazı durumlarda taban kesme kuvvetinde azalmaya (ör: KO-LC2) sebep olurken, pozitif sapmaların da artışa sebep olabildiği (ör: KO-LC2) görülmüştür. %5 ila %10'luk ufak sapmalar taban kesme kuvvetlerini az etkilemektedir (en fazla %5). Durum pik izolasyon sistemi deplasmanları açısından incelendiğinde (Şekil 4.14); izolasyon sisteminin sönüm katsayısındaki sapmalar karşısında en fazla %17 (KO-LA1) kadar değişime sebep olduğu anlaşılmaktadır. Tüm depremler ve tüm tasarım tipleri için geçerli olmak üzere, sönüm katsayısındaki pozitif sapmalar izolasyon sistemi deplasmanlarında azalmaya neden olurken negatif sapmaların deplasmanlarda artışa neden olduğu görülmüştür. Pik en üst kat ivme değerlerindeki değişim incelendiğinde ise (Şekil 4.15), izolasyon sistemi sönüm katsayısındaki %25'lik en büyük sapmaya karşılık ivmelerde en fazla %15'lik (KO-LA1) değişimin meydana geldiği görülmüştür. Çok küçük sapmalar için (%5) ivmede meydana gelen değişim %3'ü geçmemektedir (KO-LA1).



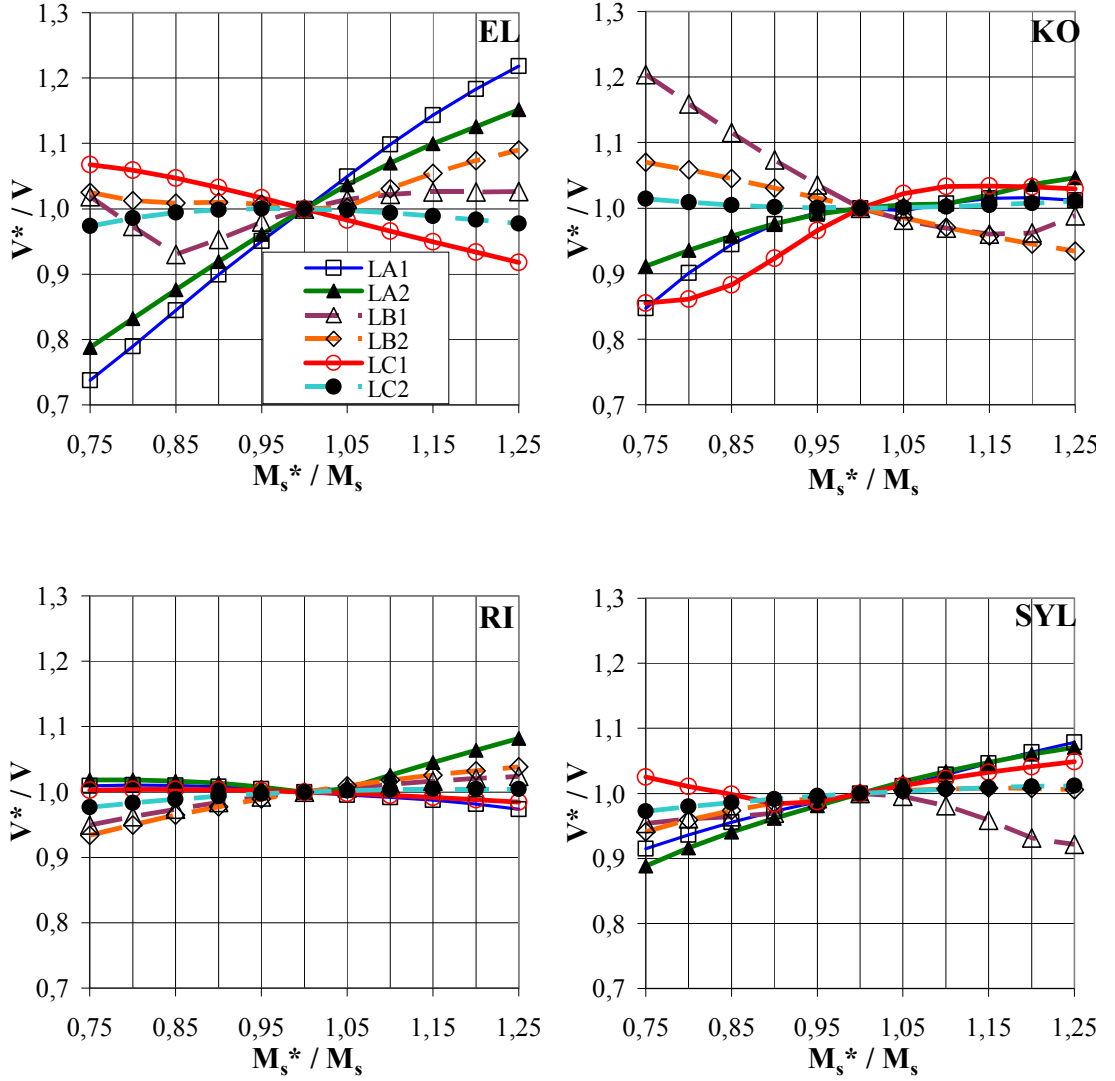
Şekil 4.1: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



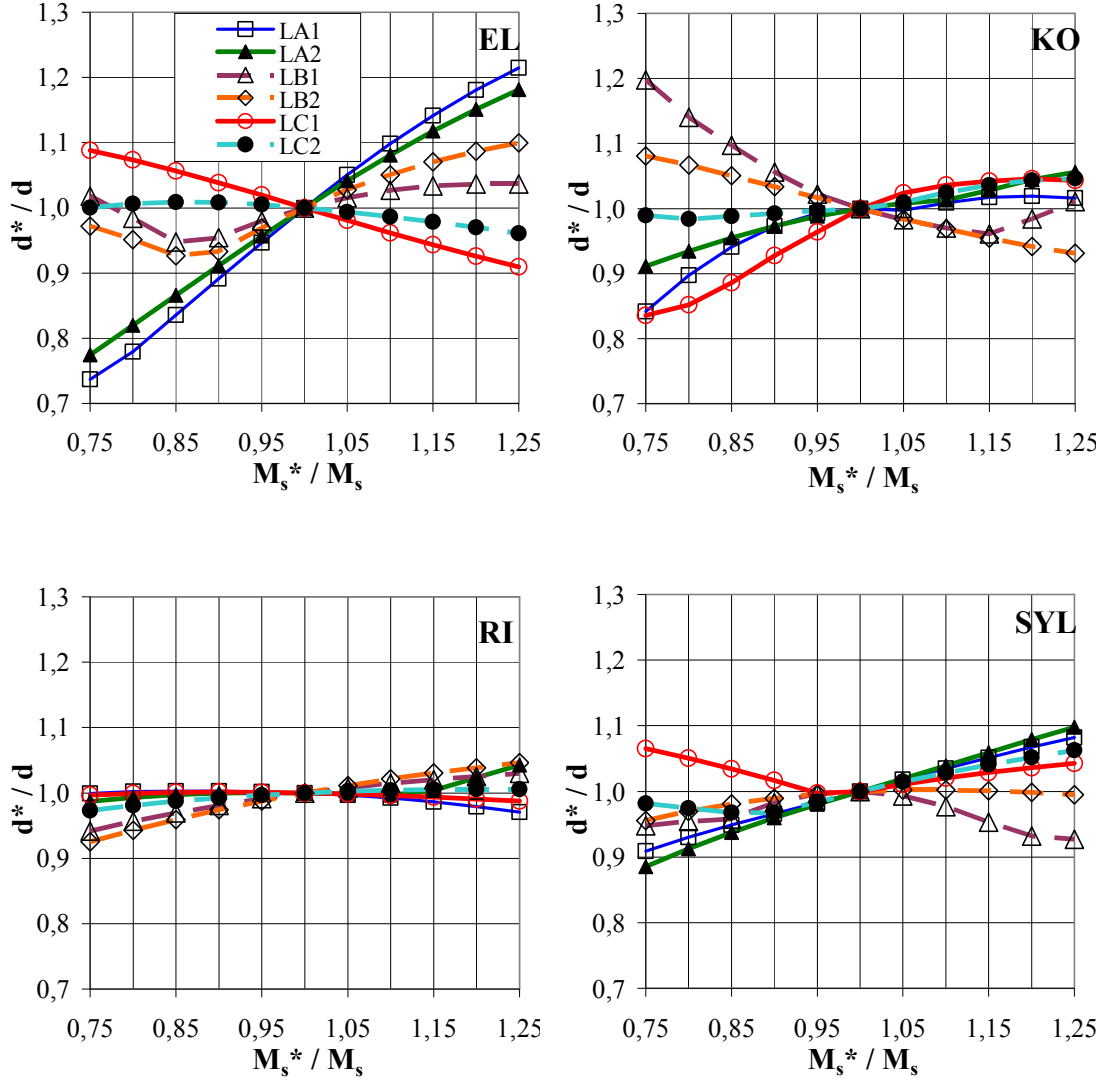
Şekil 4.2: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



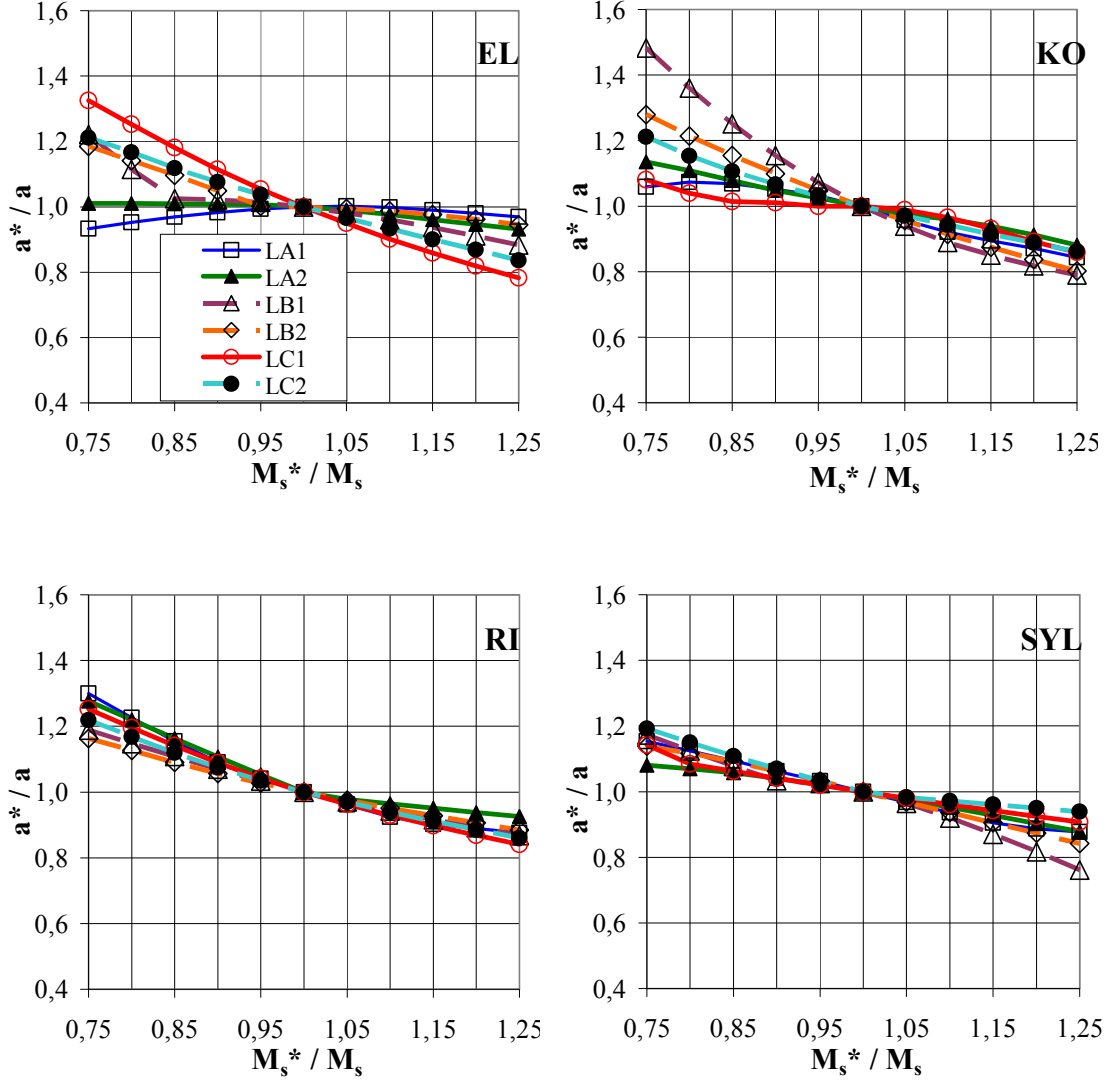
Şekil 4.3: Pık En üst kat ivmesinin üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



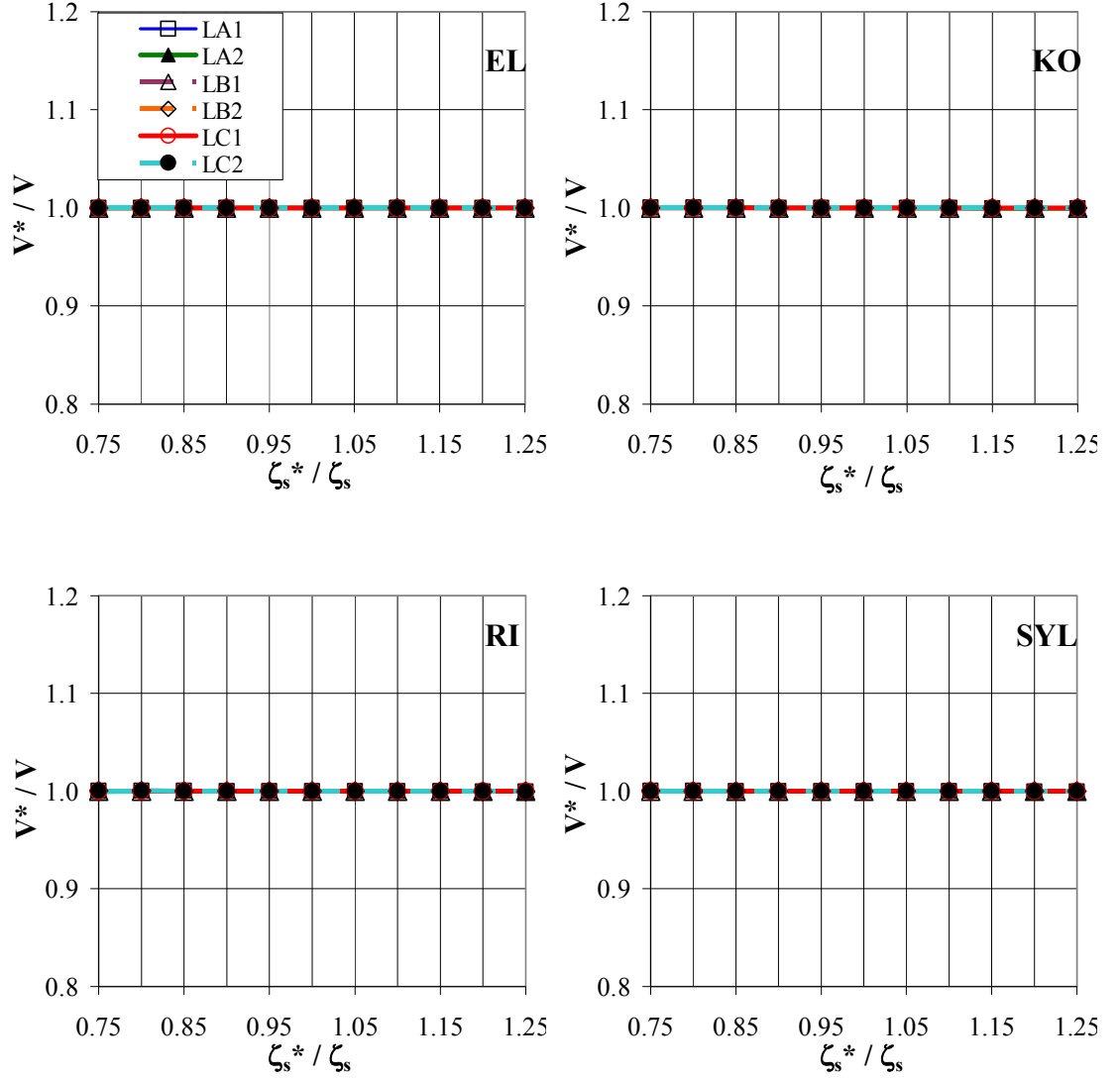
Şekil 4.4: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının kütleindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



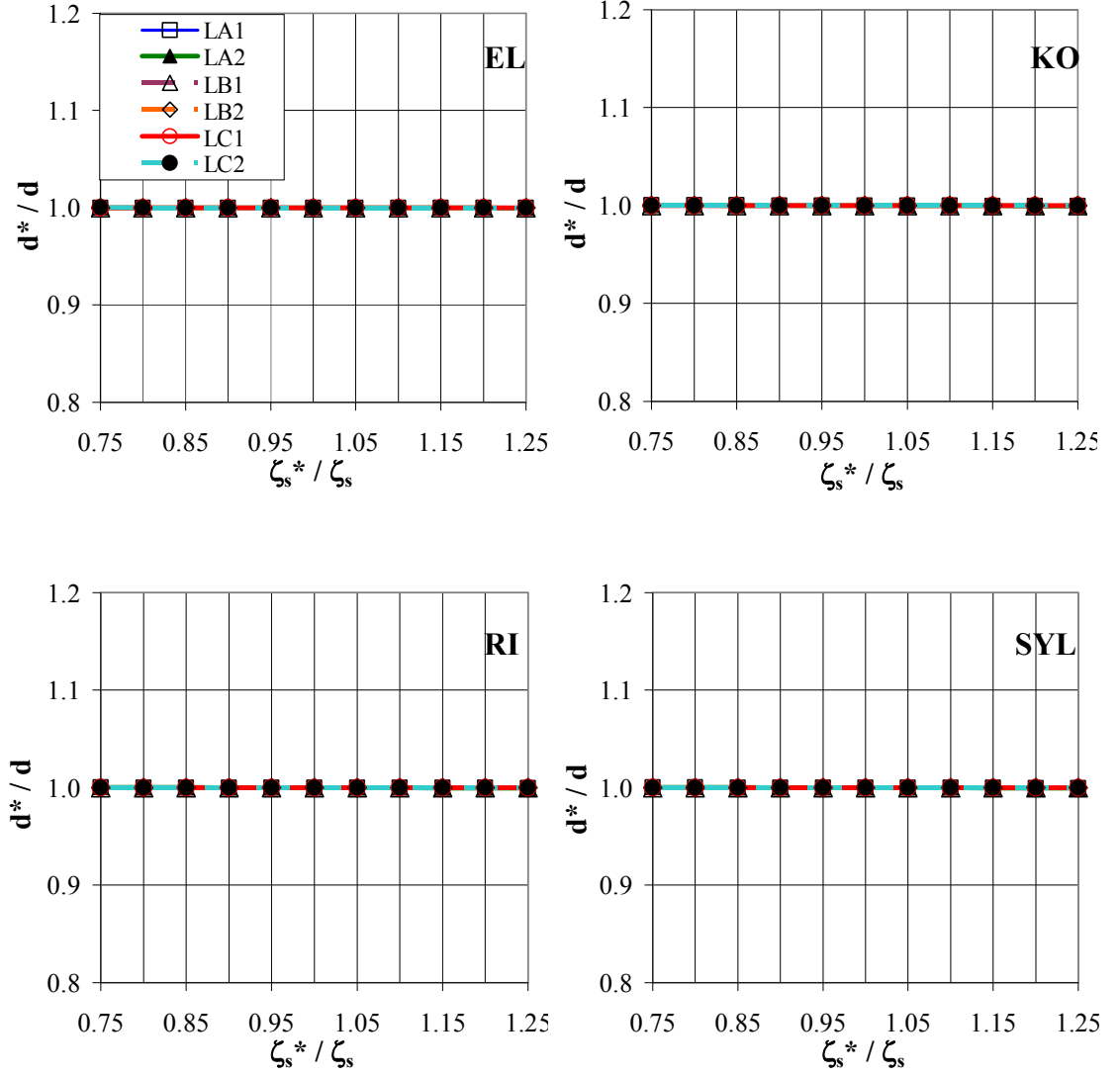
Şekil 4.5: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



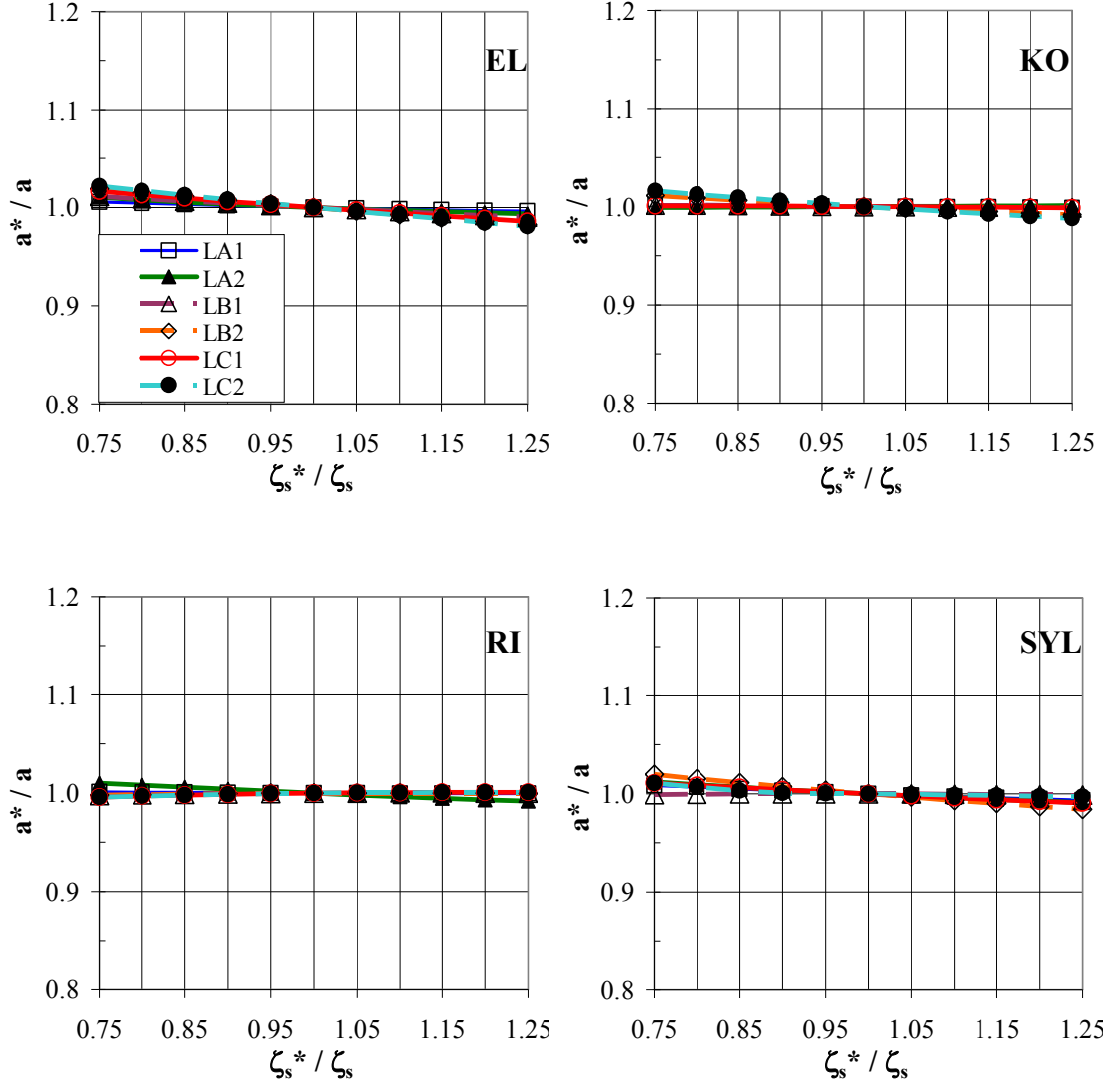
Şekil 4.6: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının kütleindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



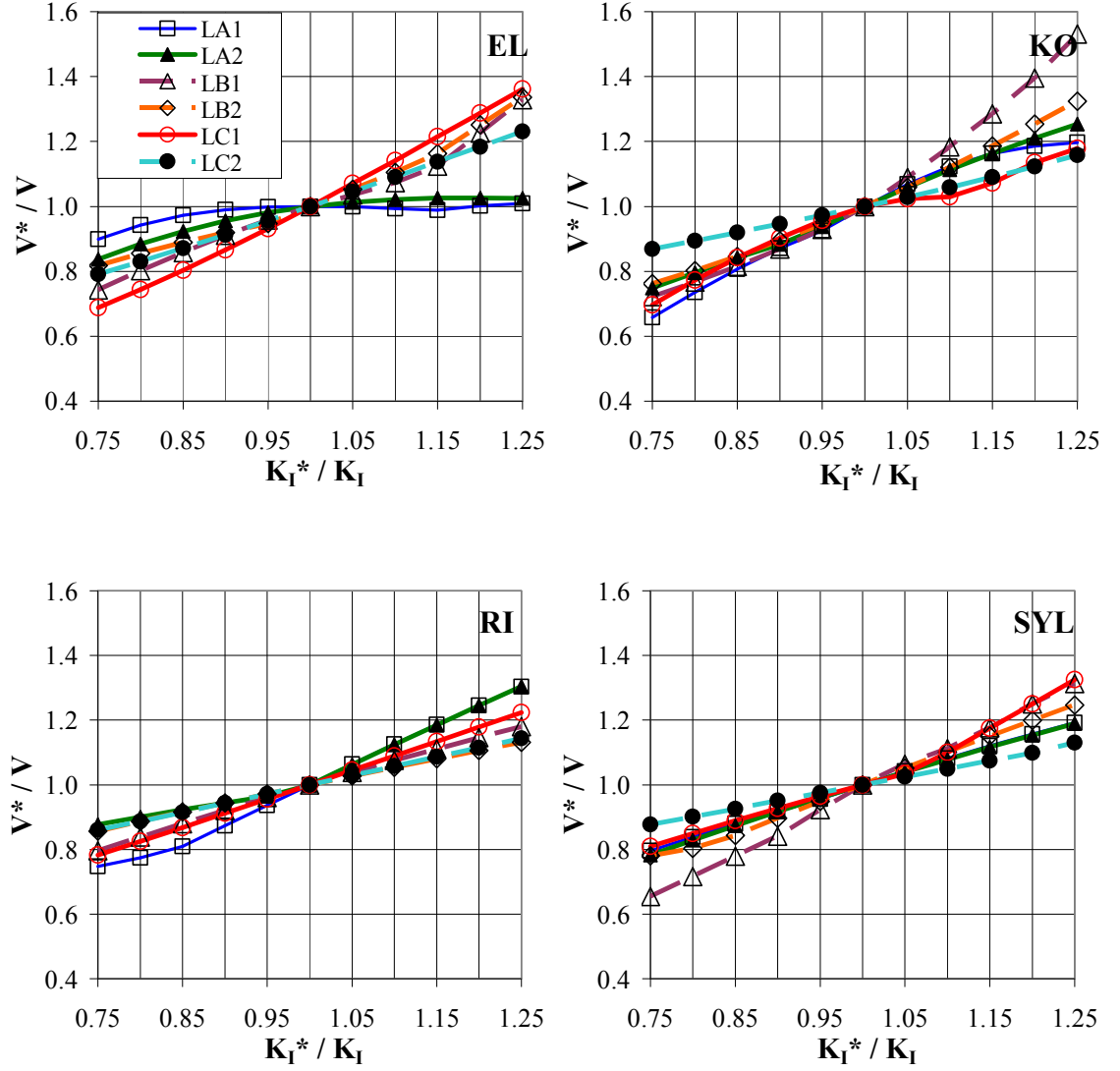
Şekil 4.7: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



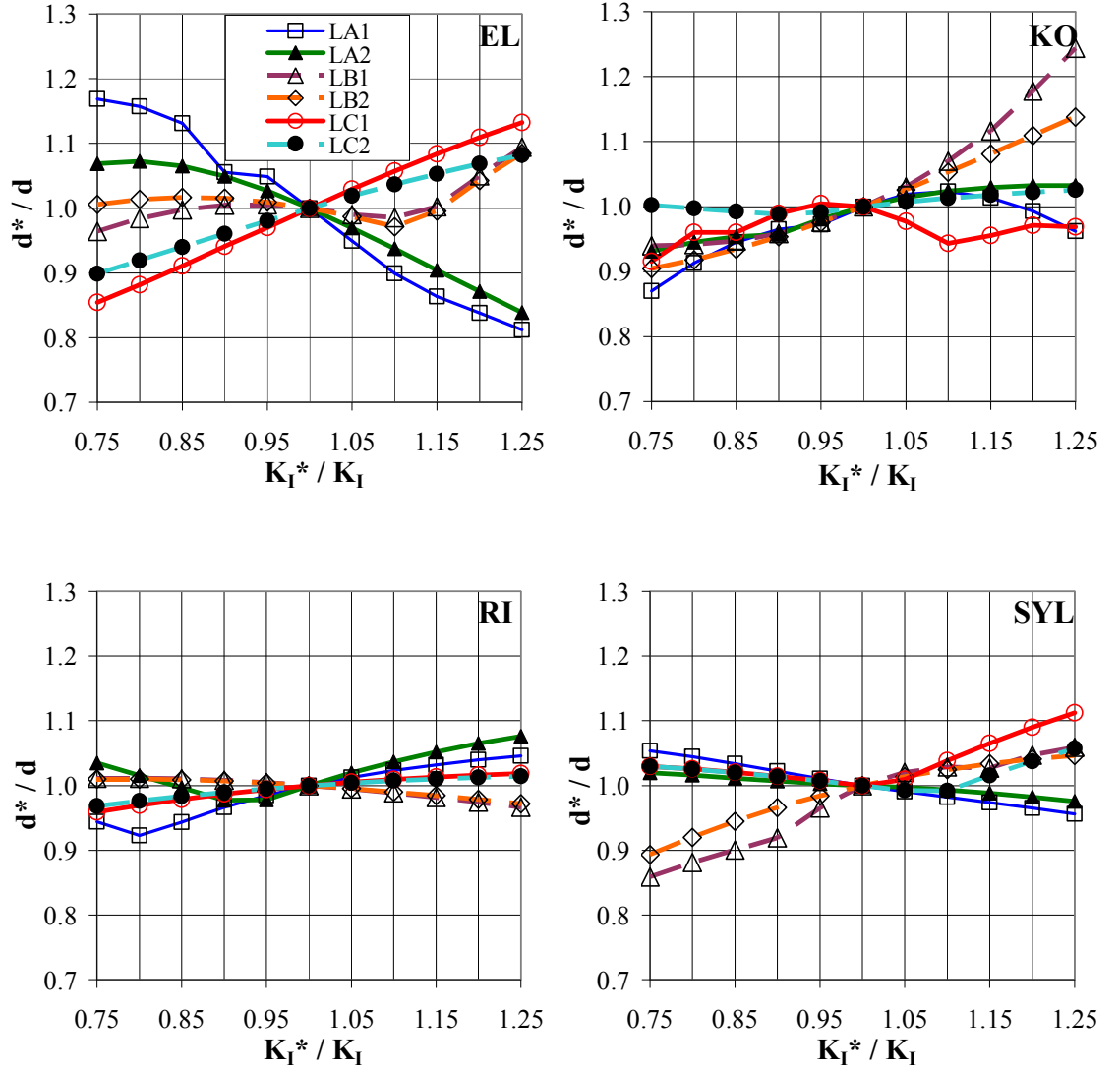
Şekil 4.8: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



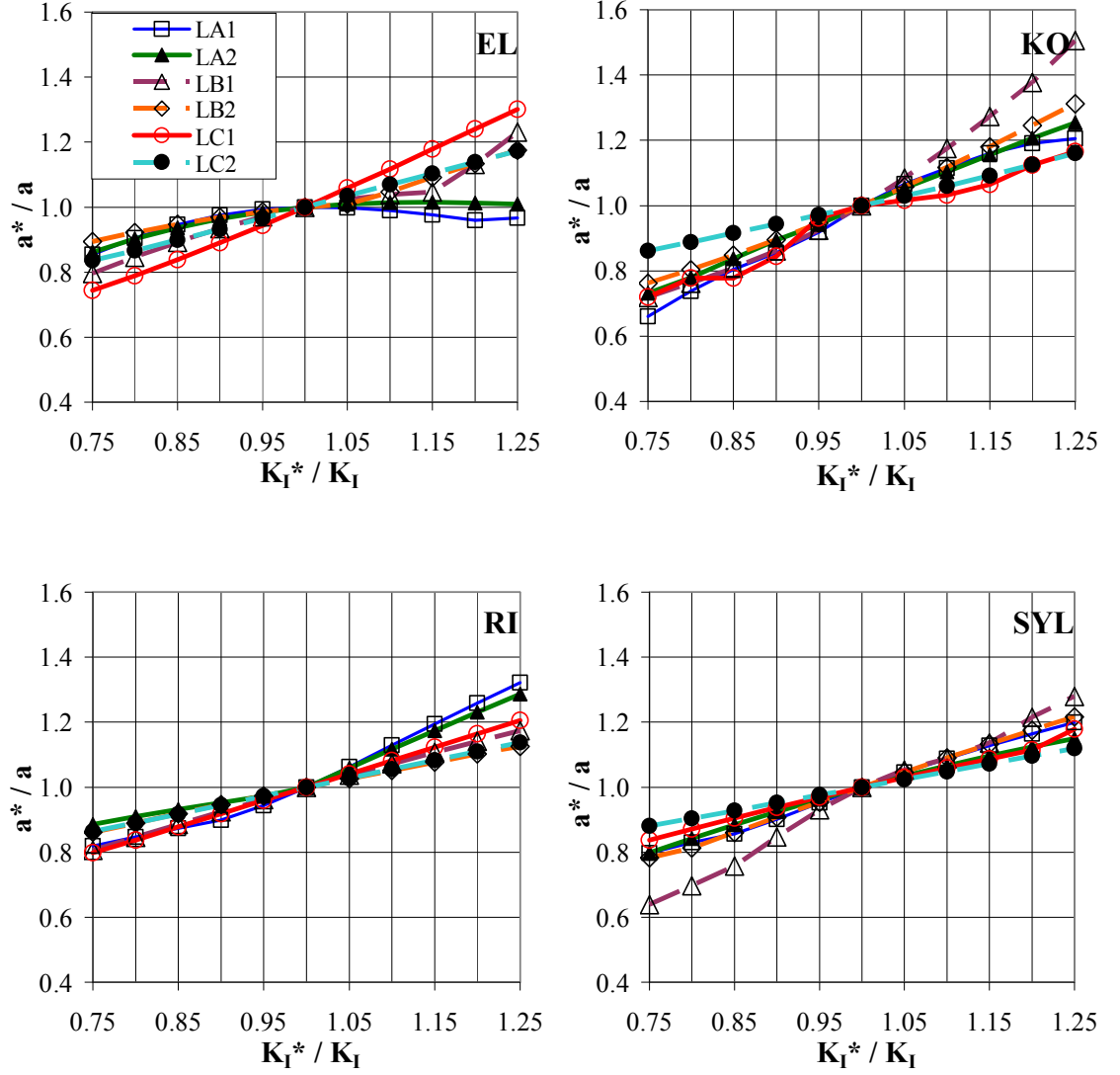
Şekil 4.9: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



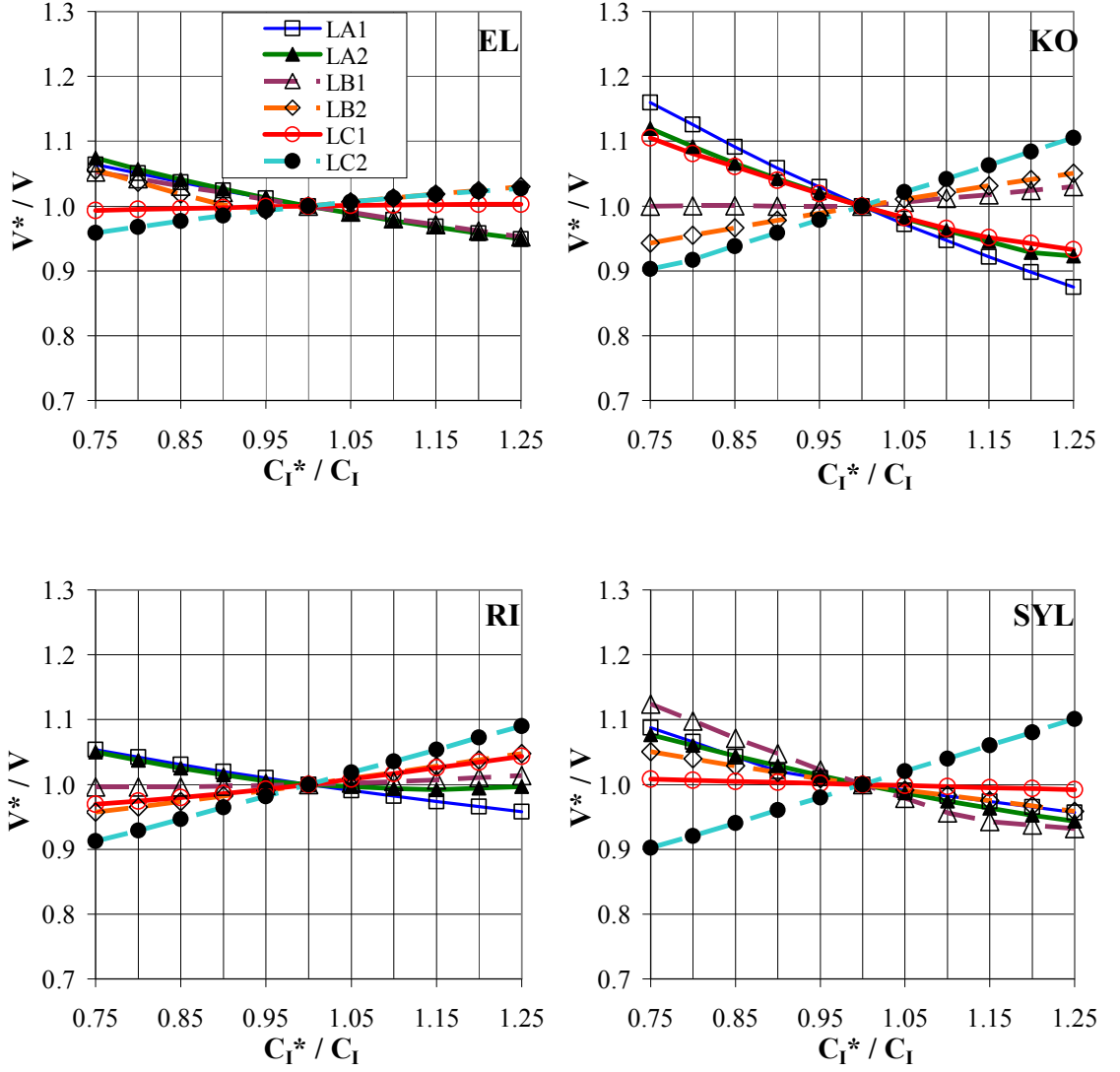
Şekil 4.10: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



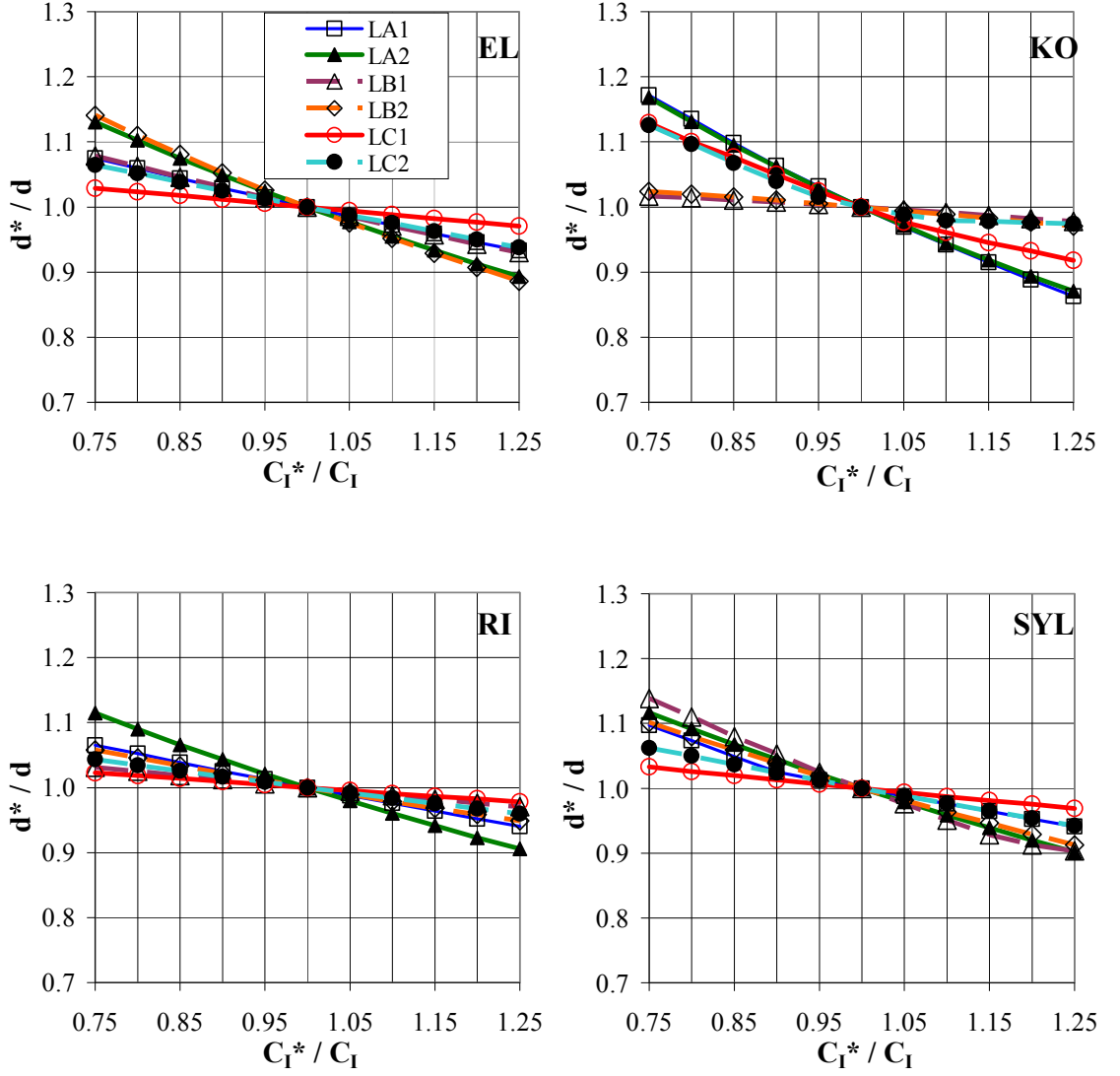
Şekil 4.11: Pik izolasyon sistemi deplasmanının izolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



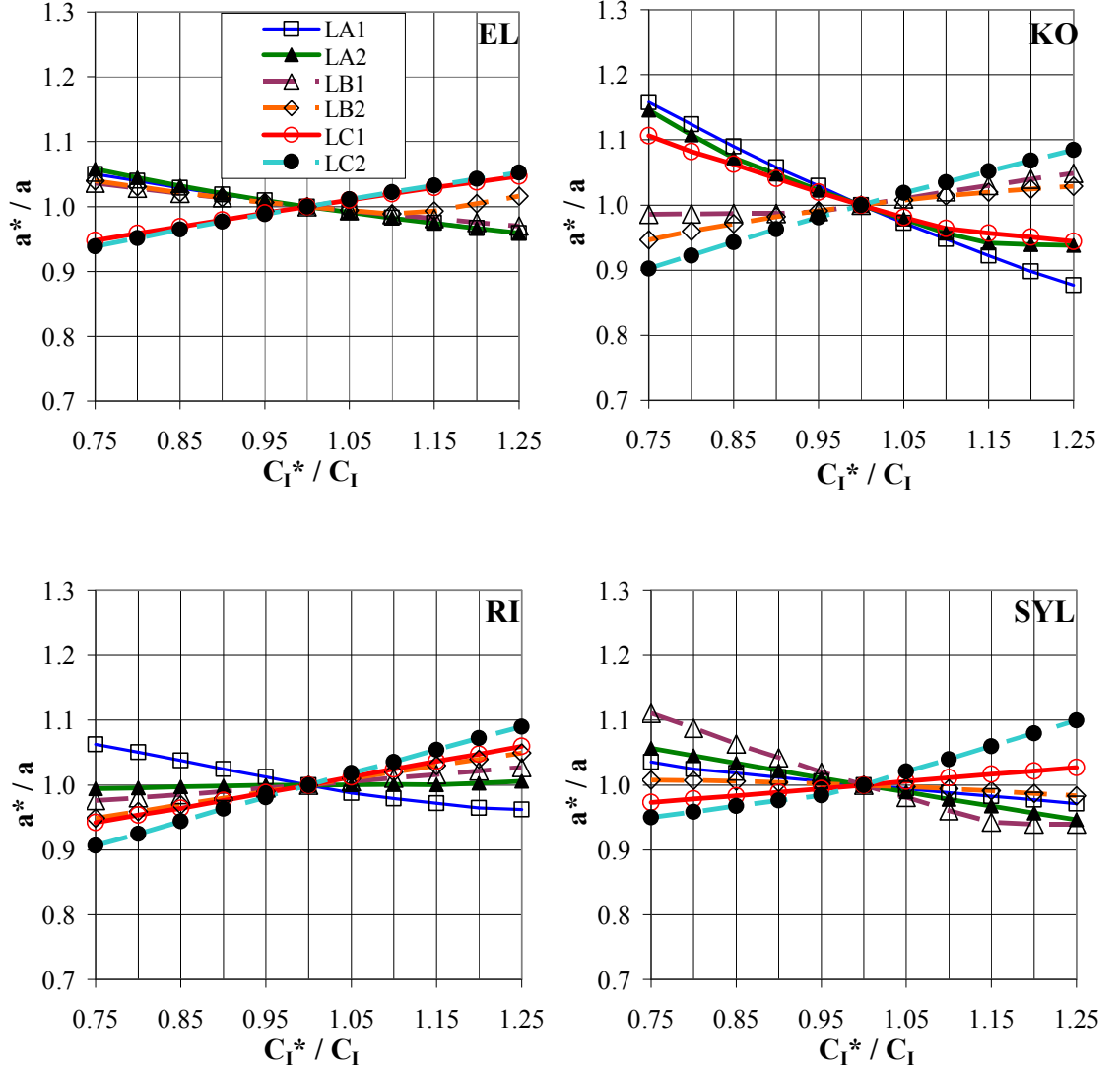
Şekil 4.12: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



Şekil 4.13: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin sönüm katsayısındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



Şekil 4.14: Pik izolasyon sistemi deplasmanının izolasyon sisteminin sönüm katsayısındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.



Şekil 4.15: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin sönüm katsayısındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal izolasyon sistemleri.

## 4.2 LİNEER OLMAYAN İZOLASYON SİSTEMLERİNE AİT BULGULAR

Lineer olmayan izolasyon sistemleri için, nominal yapısal parametreler  $d_y$ ,  $F_y$ ,  $\alpha$ ,  $M_s$ ,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  ile; sapma olan durumlara ait parametreler  $d_y^*$ ,  $F_y^*$ ,  $\alpha^*$ ,  $M_s^*$ ,  $\zeta_s^*$ ,  $K_s^*$  ile gösterilmek üzere,  $d_y^*/d_y$ ,  $F_y^*/F_y$ ,  $\alpha^*/\alpha$ ,  $M_s^*/M_s$ ,  $\zeta_s^*/\zeta_s$ ,  $K_s^*/K_s$  oranlarının 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95, 1.00, 1.05, 1.10, 1.15, 1.20 ve 1.25 olduğu durumlar için ayrı ayrı analizler yapılmış ve elde edilen  $a^*/a$ ,  $d^*/d$  ve  $V^*/V$  değerleri NA1, NA2, NB1, NB2, NC1 ve NC2 olarak isimlendirilmiş olan farklı izolasyon sistemleri için Şekil 4.16 – 4.33'te sunulmuştur.

Lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de verilmiştir. Üst yapı rijitliğindeki herhangi bir sapmanın EL depremi hariç olmak üzere taban kesme kuvvetleri üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. En önemli değişimlerin gözlendiği EL depremi için dahi üst yapı rijitliğinde meydana gelebilecek % 25 kadar bir sapma bile kesme kuvvetinde en fazla %2.5 kadar bir farklılık meydana getirmiştir. İzolasyon sistemi deplasmanları üzerindeki etki incelendiğinde ise (Şekil 4.17), taban kesme kuvvetine benzer bir durum ortaya çıkmıştır. Üst yapı rijitliğindeki sapmalar EL depreminde izolasyon sistemi deplasmanlarını diğer deprem türlerine göre (KO, RI ve SYL) daha fazla etkilemiştir (en büyük sapma EL-NA2 için %7). Diğer deprem türlerindeki etki minimal seviyededir (en fazla SYL-NA2 için %0.77). Üst yapı rijitliğindeki sapmaların en büyük etkisi lineer sistemlerde de olduğu gibi yine bir üst yapı cevap parametresi olan en üst kat ivme değerlerinde ortaya çıkmıştır (Şekil 4.18). Buna göre, en olumsuz durumda EL depremi için üst yapı rijitliğinde meydana gelebilecek %25'lik bir artma NA1 sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinde %22 civarında bir azalmaya, %25'lik bir azalma ise NA1 sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinde %17 civarında bir artmaya sebebiyet vermektedir. Ancak, %5 ~ %10 kadar çok küçük sapmaların ivme değerlerini kabul edilebilir oranda (en fazla %8.7) etkilediği görülmüştür. Ayrıca, deprem türüne göre de hassasiyet değişmektedir. EL depremi ile RI depremi karşılaştırıldığında bu farklılık açıkça görülmektedir. Üst yapı rijitliğindeki sapmalar EL depremi için ivmelerde büyük değişimlere sebep olurken RI depremi için ivmeler neredeyse sabit kalmıştır.

Lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21’de verilmiştir. Şekil 4.19’daki grafikler incelendiğinde, üst yapı kütledeki sapmaların taban kesme kuvvetlerini depreme ve izolasyon çeşidine göre farklı seviyelerde etkilediği görülmüştür. En fazla değişim KO depreminde NB1 tasarım tipinde gözlenmiş ve üst yapı kütledeki %25’lik azalma taban kesme kuvvetinde %27 kadar bir artışa sebep olmuştur. Öte yandan, RI depremi için aynı NB1 tasarım tipinde üst yapı kütledeki %25’lik azalma taban kesme kuvvetinde %8 kadar bir azalmaya sebep olmuştur. %5 ila %10 kadar sapmalarda ise taban kesme kuvvetindeki en büyük değişim %10 civarındadır. Pik izolasyon sistemi deplasmanları incelendiğinde ise (Şekil 4.20), yine en fazla değişim üst yapı kütledeki %25’lik sapmada (azalma) KO depreminde NB1 tasarım tipinde %32.6 (artma) ile gerçekleşmektedir. Üst yapı kütledeki çok ufak (%5 - %10) sapmalarda ise izolasyon sistemi deplasmanındaki değişim en fazla %12 seviyelerinde olmaktadır. Pik en üst kat ivme değerleri incelendiğinde ise (Şekil 4.21), üst yapı kütledeki değişimin üst yapının parametrelerinden biri olan üst kat ivmelerinde çok büyük değişimlere sebep olduğu görülmüştür. En büyük değişim, KO depreminde %25’lik sapmada (azalma) NB1 tasarım tipinde %51.5’lik artış şeklinde meydana getirmiştir. Ufak sapmalarda dahi (%5 - %10) ivmelerde dikkate değer oranlarda değişimler meydana gelmiştir (%16’ya varan oranlarda). Hemen hemen tüm durumlarda üst yapı kütledeki artış en üst kat ivmesinde azalmaya yol açarken kütledeki azalma ise ivmede artmaya sebep olmuştur. Bu durum, azalan kütle dolayısıyla hedeflenen nominal izolasyon periyodunda azalma meydana gelmesi ve bununla spektral ivmelerde artışa sebep olması ile açıklanabilir.

Lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24’te verilmiştir. Şekillerden, üst yapının sönüm oranındaki herhangi bir sapmanın, lineer durumda da olduğu gibi, deprem türü ve tasarım tipinden bağımsız olarak, taban kesme kuvvetleri ve izolasyon deplasmanları üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Üst yapının sönüm oranında meydana gelebilecek % 25’lik bir sapma dahi taban kesme kuvvetinde en fazla %0.74 (EL) kadar ve izolasyon sistemi deplasmanında en fazla %2

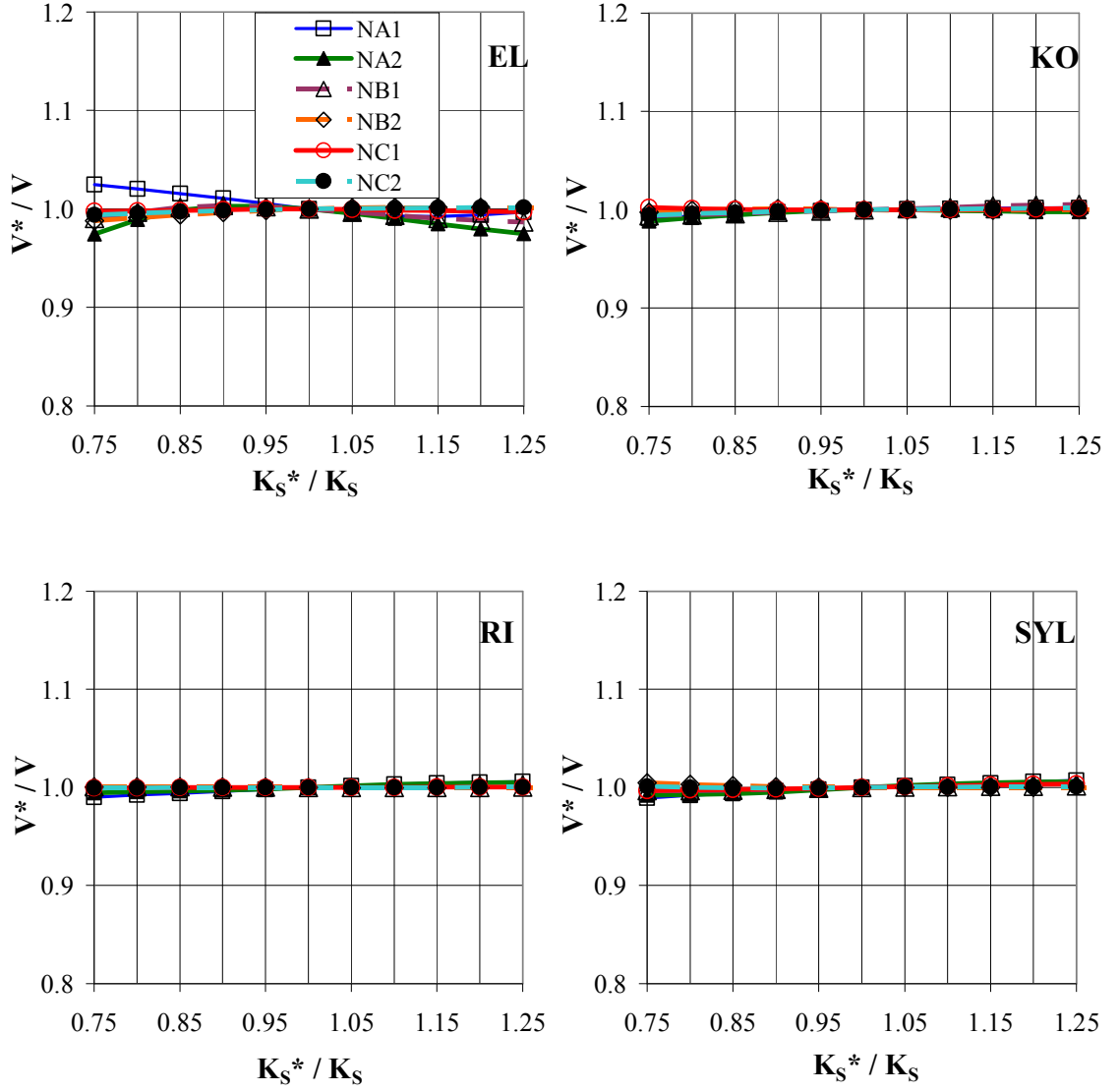
(EL) kadar bir farklılık meydana getirmiştir. Üst yapının sönüm oranındaki sapmaların en büyük etkisi, lineer sistemlerde olduğu gibi, en üst kat ivme değerlerinde ortaya çıkmıştır (Şekil 4.24). Ancak bu etki de sınırlı denebilecek seviyededir. En olumsuz durum için, üst yapı sönüm oranında meydana gelebilecek %25'lik bir azalma EL depremi altında NC1 sistemine sahip yapının pik en üst kat ivmesinde sadece %8 civarında bir artışa sebebiyet vermektedir. Öte yandan, %5 ~ %10 kadar çok küçük sapmaların ivme değerlerini yok denecek kadar az (en fazla %3) etkilediği görülmüştür. Bazı depremler altında tasarım tiplerinin bazılarında, üst yapı sönüm oranındaki sapmanın hiç değişime sebep olmadığı görülmüştür (ör: KO-NA1).

Lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin akma deplasmanındaki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27'de verilmiştir. Şekil 4.25 incelendiğinde, lineer olmayan izolasyon sisteminin bir parametresi olan akma deplasmanındaki sapmaların, pik taban kesme kuvvetlerinde özellikle KO depreminde önemli değişimlere sebep oldukları görülmüştür. KO depremi, NB1 tasarım tipi için, %25'lik sapmada (azalma) %80'lik artış ile en yüksek seviyeye ulaşılmıştır. %10 kadar ufak sapmalarda bile taban kesme kuvvetlerinde %18'e varan değişimler gözlenmektedir. İzolasyon sistemi deplasmanları açısından da durum benzerdir (Şekil 4.26). KO depreminde %25'lik azalma şeklindeki sapmada, NB1 tasarım tipinde yaklaşık %47'lik değişime (artma) neden olmuştur. %10 kadar ufak sapmalar için ise en fazla %10 kadar bir değişim söz konusudur. En üst kat ivmeleri açısından durum incelendiğinde (Şekil 4.27), en büyük değişim KO depreminde NB1 tasarım tipi için %25'lik sapmada (azalma) ortaya çıkan %74'lük artıştır. Çok ufak sapmalarda (%5) en üst kat ivmelerindeki değişim %10 veya daha az olarak gözlenmiştir.

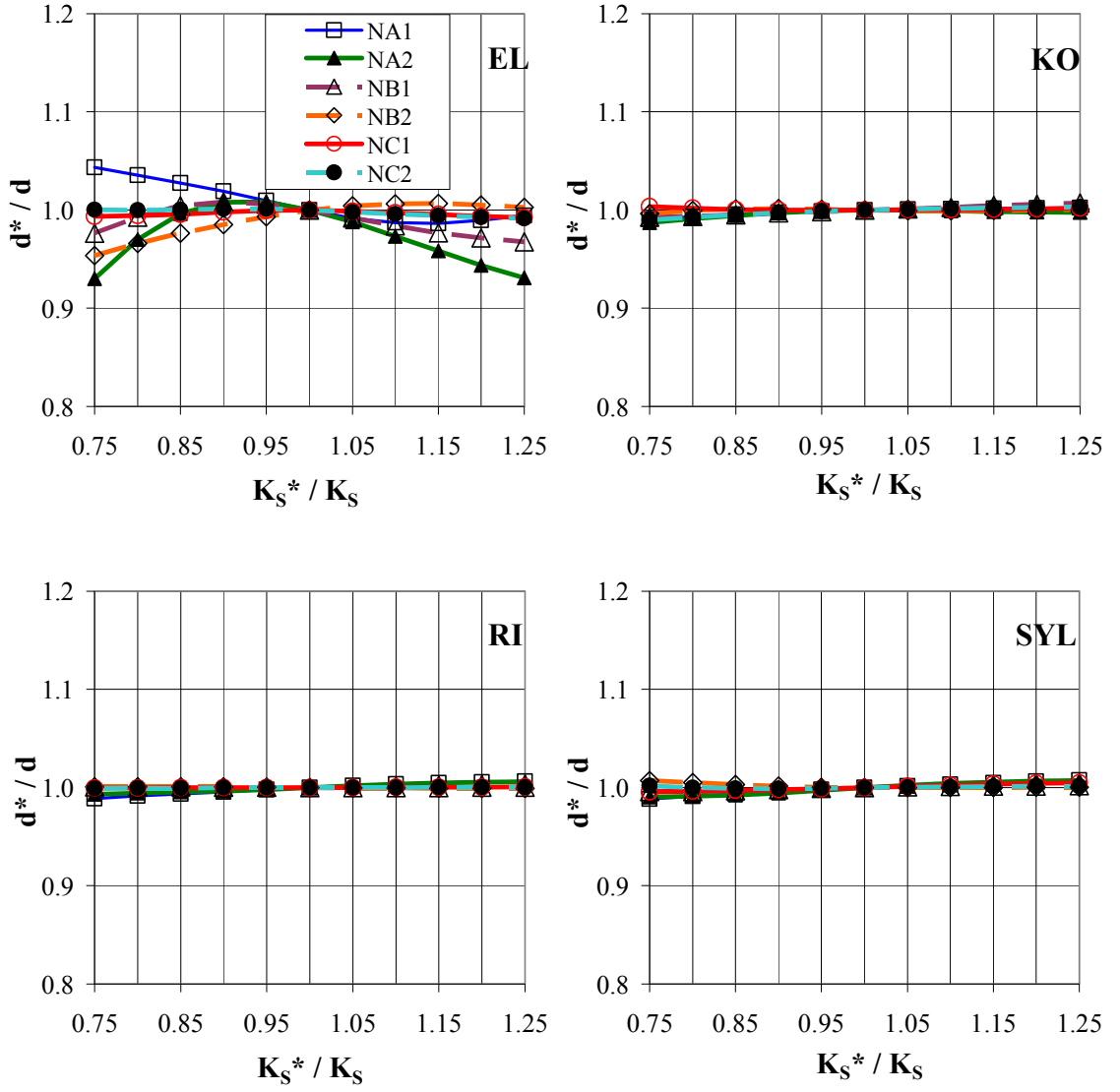
Lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine olan oranındaki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir. Pik taban kesme kuvvetlerindeki değişim incelendiğinde, EL depremi dışındaki depremlerde, izolasyon sisteminin akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine olan oranındaki sapmaların taban kesme kuvvetlerinde çok büyük değişimlere sebep oldukları, KO depreminde NB1 tasarım tipi

için %25'lik bir sapmaya (artış) karşılık taban kesme kuvvetinde yaklaşık %53'lük artış ile en yüksek değişim seviyesine ulaşılmıştır. Öte yandan, çok az değişimin gözlemlendiği EL depreminde ise, en olumsuz durumda, NB1 tasarım tipi için %25 'lik sapmaya (azalma) karşılık, taban kesme kuvvetinde ancak %7'lik bir değişim (azalma) olmuştur. Pik izolasyon deplasmanları incelendiğinde (Şekil 4.29), hassasiyetin deprem türüne göre önemli farklılıklar gösterdiği anlaşılmaktadır. En olumsuz durumda, KO depreminde NA1 tasarım tipi için %25'lik sapmada (azalma) %32.8'lik değişim (azalma) meydana gelmiştir. %5 - %10 arasındaki sapmalarda ise bu değişim değerlerinin en olumsuz durumda bile (KO depreminde) en fazla %8 civarında kaldığı görülmüştür. Pik en üst kat ivme değerlerine bakıldığında ise (Şekil 4.30), diğer depremlere göre EL depremini çok daha az etkilediği görülmüştür (en fazla %3.7). En olumsuz durum, KO depremi NA1 tasarım tipi için gözlenmiş, %25'lik sapmada (azalma) %48 civarında değişime (azalma) neden olmuştur.

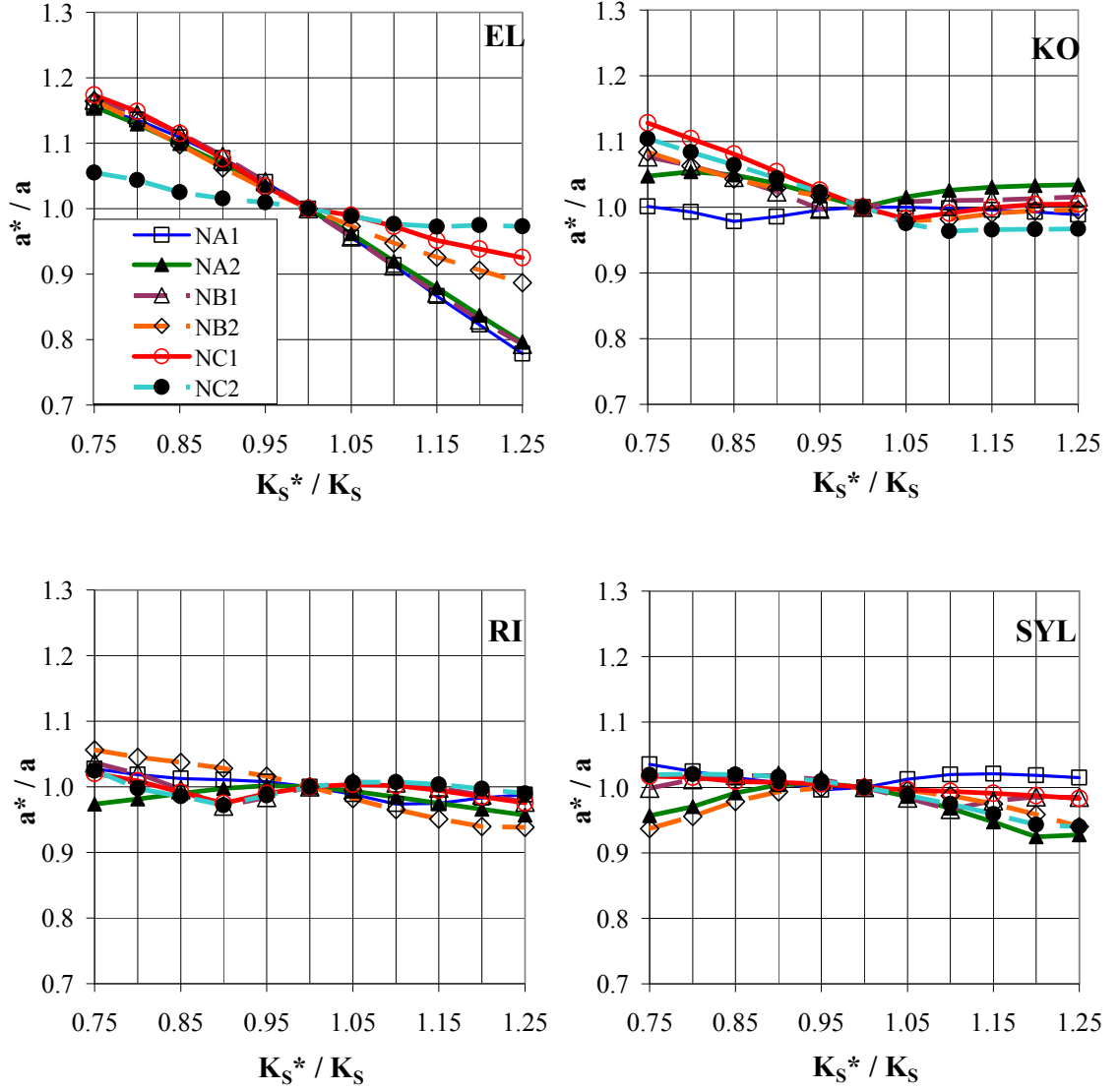
Lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip yapıya ait pik taban kesme kuvvetinin, pik izolasyon sistemi deplasmanının ve pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin akma dayanımındaki sapmalara olan duyarlılığı sırasıyla Şekil 4.31, 4.32 ve 4.33'de verilmiştir. Pik taban kesme kuvvetlerindeki değişimler incelendiğinde tüm depremlerde ve tasarım tipleri için önemli değişimlerin olduğu görülmüştür. En olumsuz durumda, KO depreminde NB1 tasarım tipi için, %25'lik sapmaya (artış) karşılık %56.8 civarında kadar bir artış meydana gelmiştir. %5 - %10 arasındaki çok ufak sapmalarda dahi en olumsuz durumda değişim %18 civarındadır (NB1-KO). Pik izolasyon deplasmanı değerlerindeki değişime bakıldığında ise (Şekil 4.32), en fazla EL depreminde %25'lik sapma (azalma) NA1 tasarım tipinde %43'lük değişime (artış) sebep olmaktadır. %5 kadar çok ufak sapmada bile, aynı deprem altındaki aynı izolasyon sisteminin deplasmanı %7 kadar değişime uğramıştır. Pik en üst kat ivmesindeki değişimler incelendiğinde (Şekil 4.33), KO depremi NA1 tasarım tipinde %25'lik sapmada (artış) %54'lük değişime (artış) neden olarak tüm depremler arasında en yüksek değere ulaşılmıştır. Diğer depremler için de eğilim benzerdir, sapmalar ivmelerde büyük değişimlere sebep olmaktadır. %5 kadar çok ufak sapma durumlarında dahi %8'e varan değişimler gözlenmiştir.



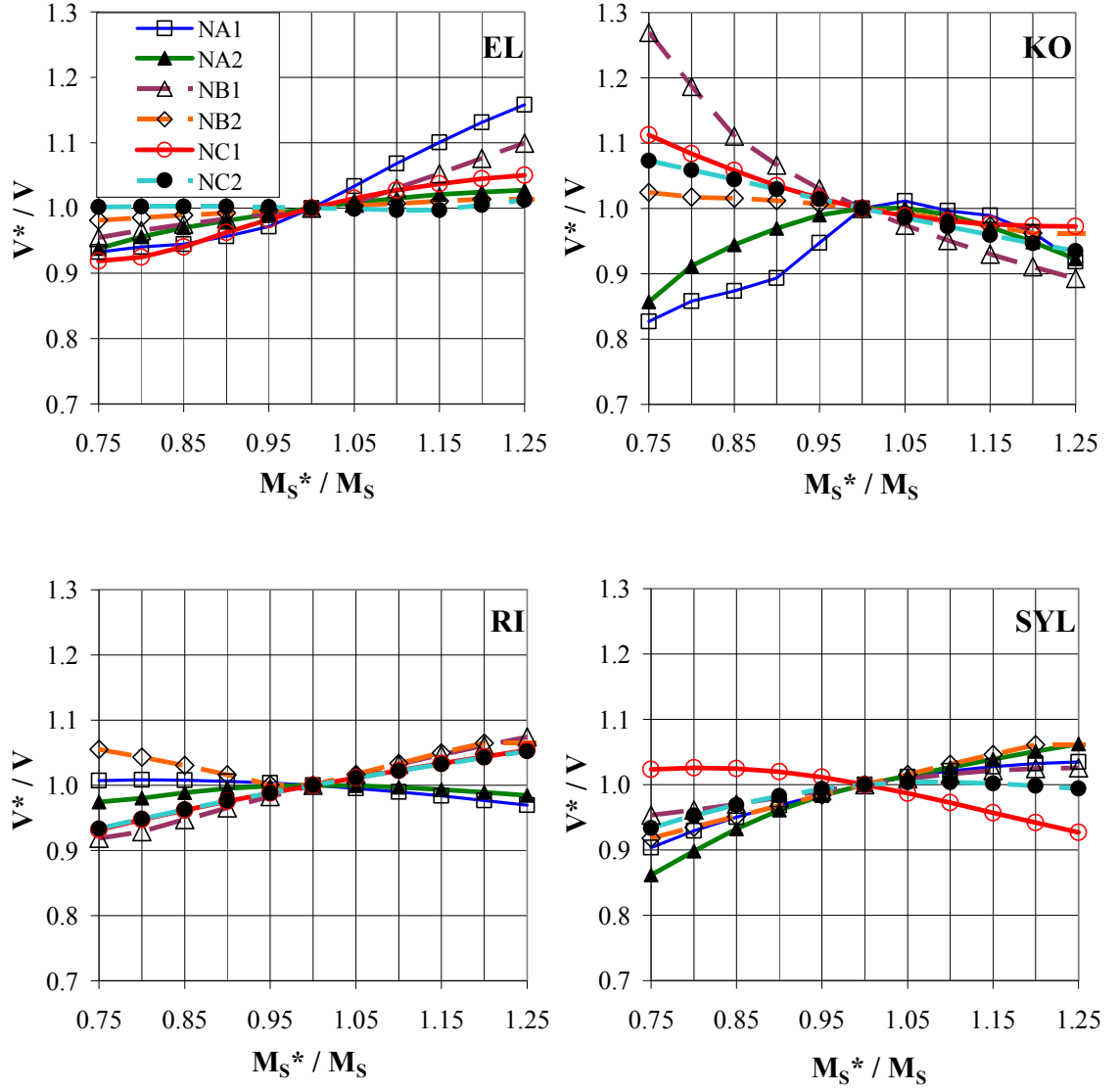
Şekil 4.16: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



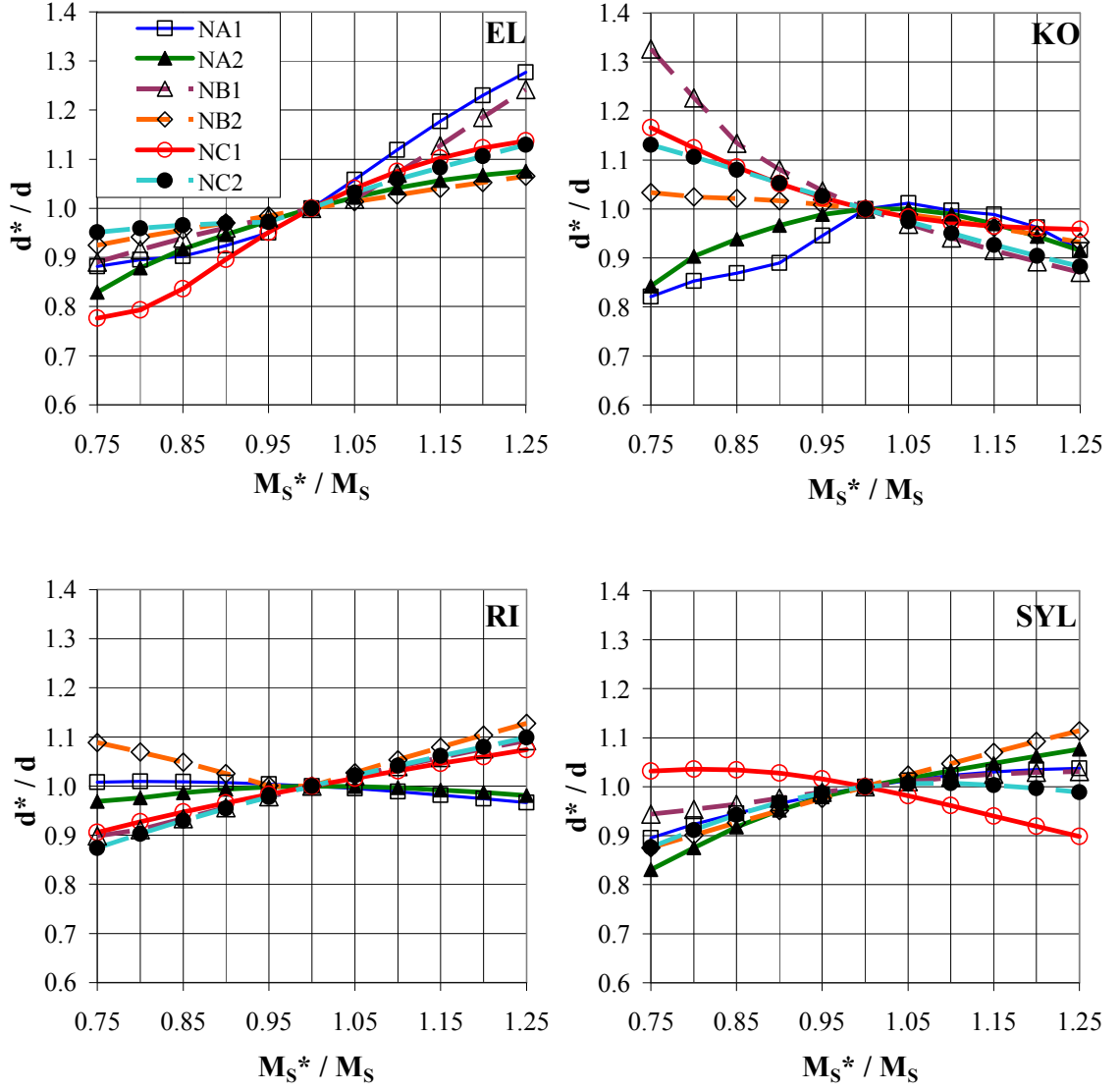
Şekil 4.17: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



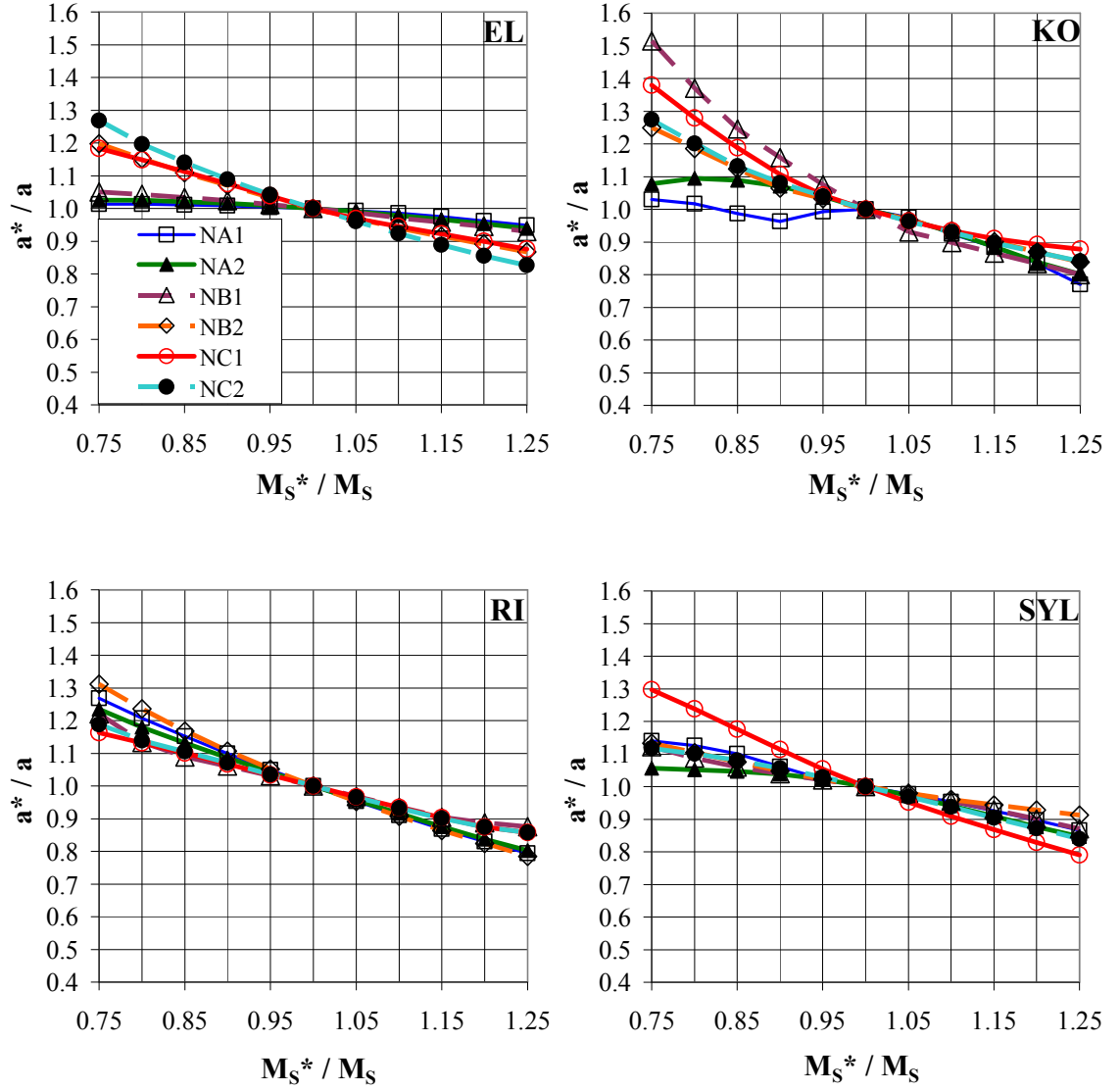
Şekil 4.18: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının rijitliğindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



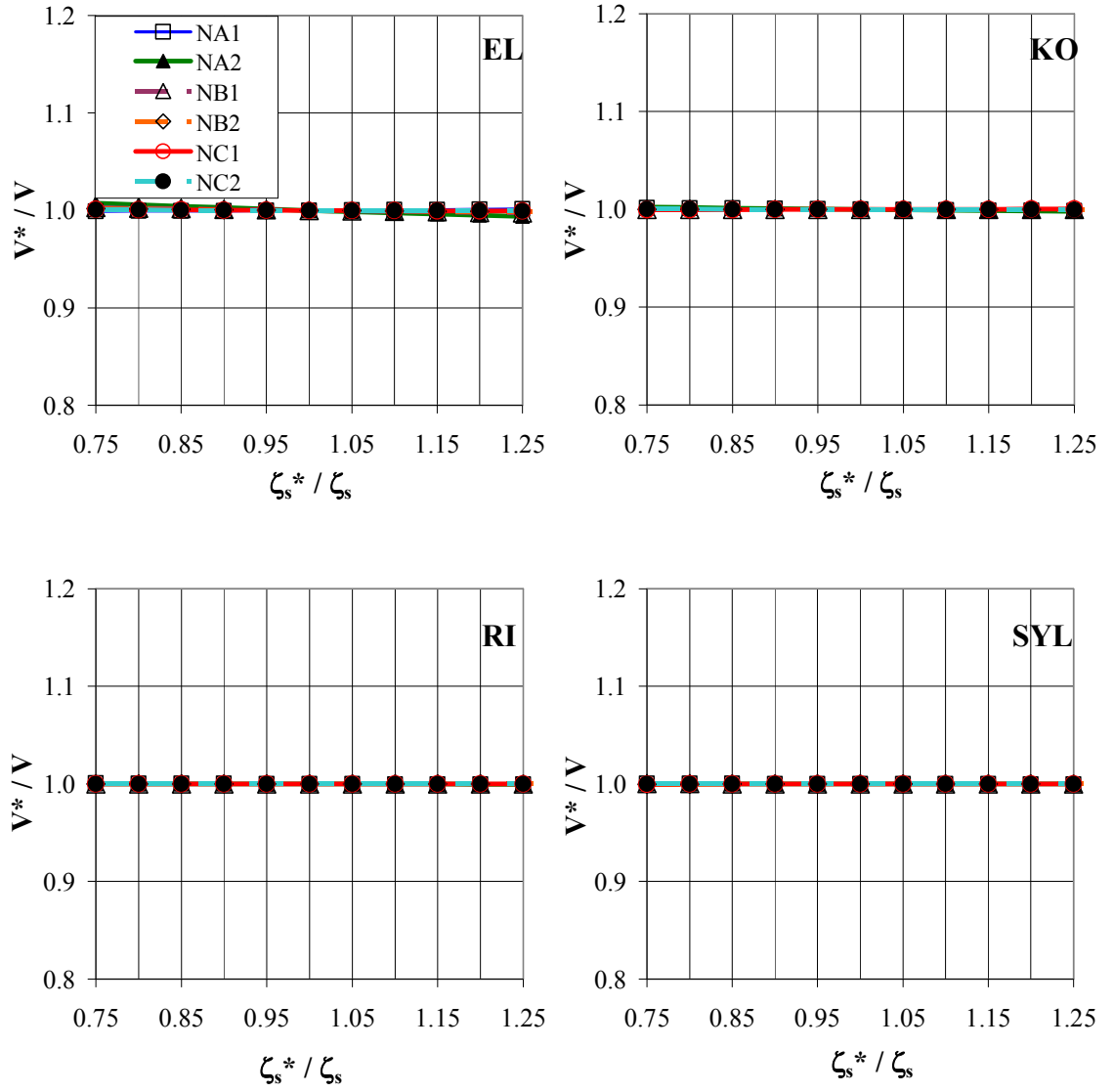
Şekil 4.19: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının kütleindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



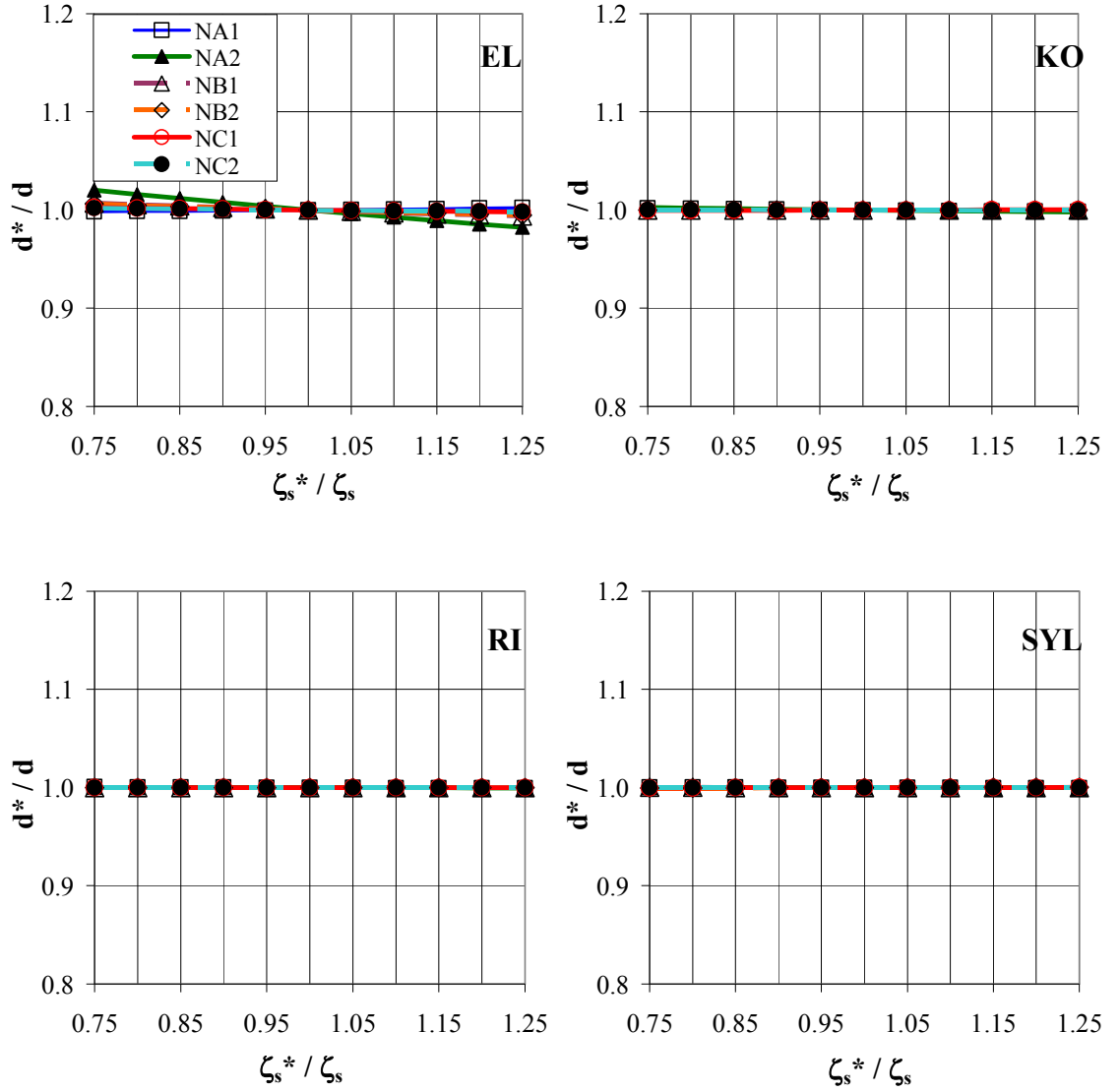
Şekil 4.20: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının kütledeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



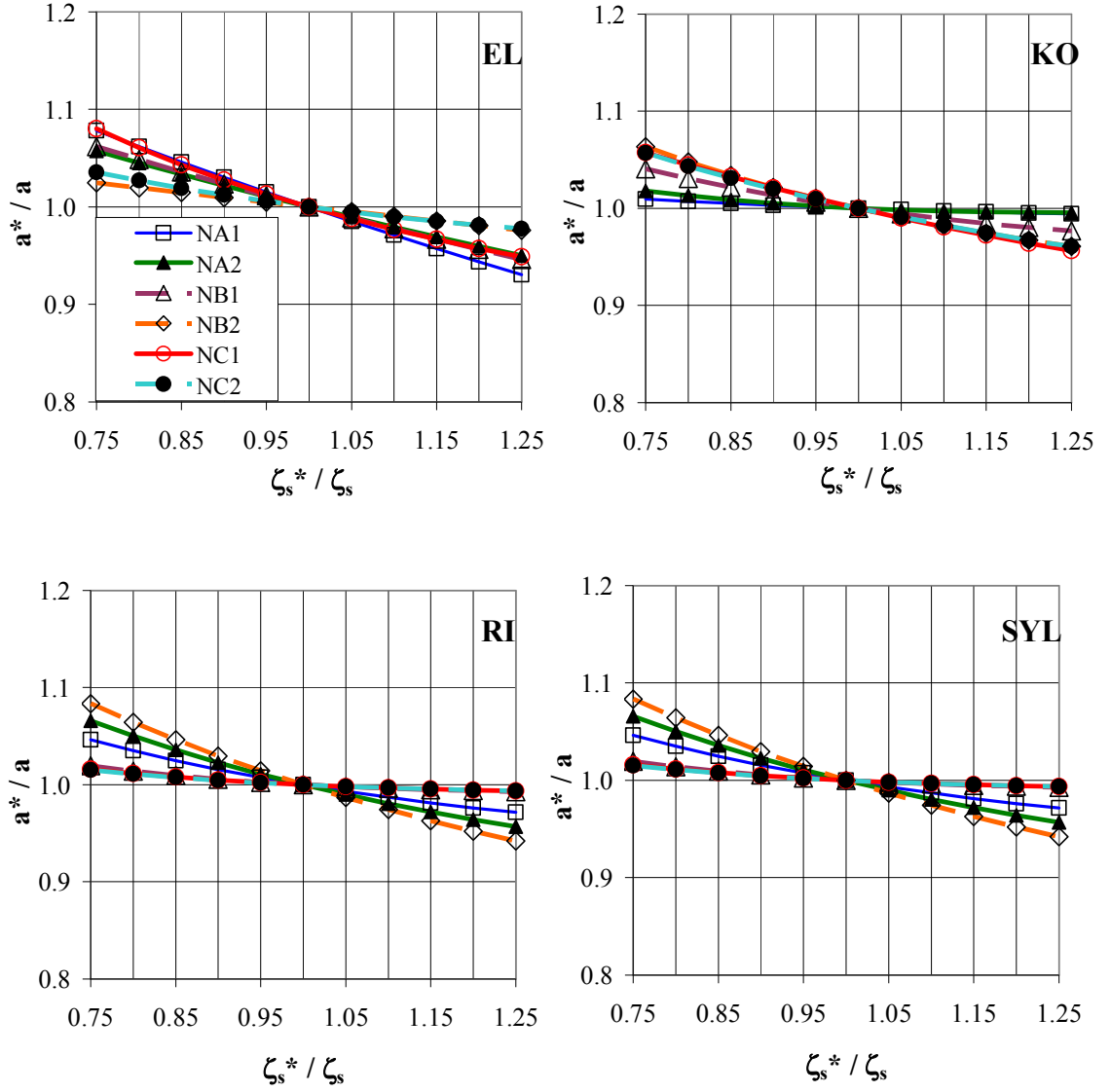
Şekil 4.21: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının kütlesindeki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



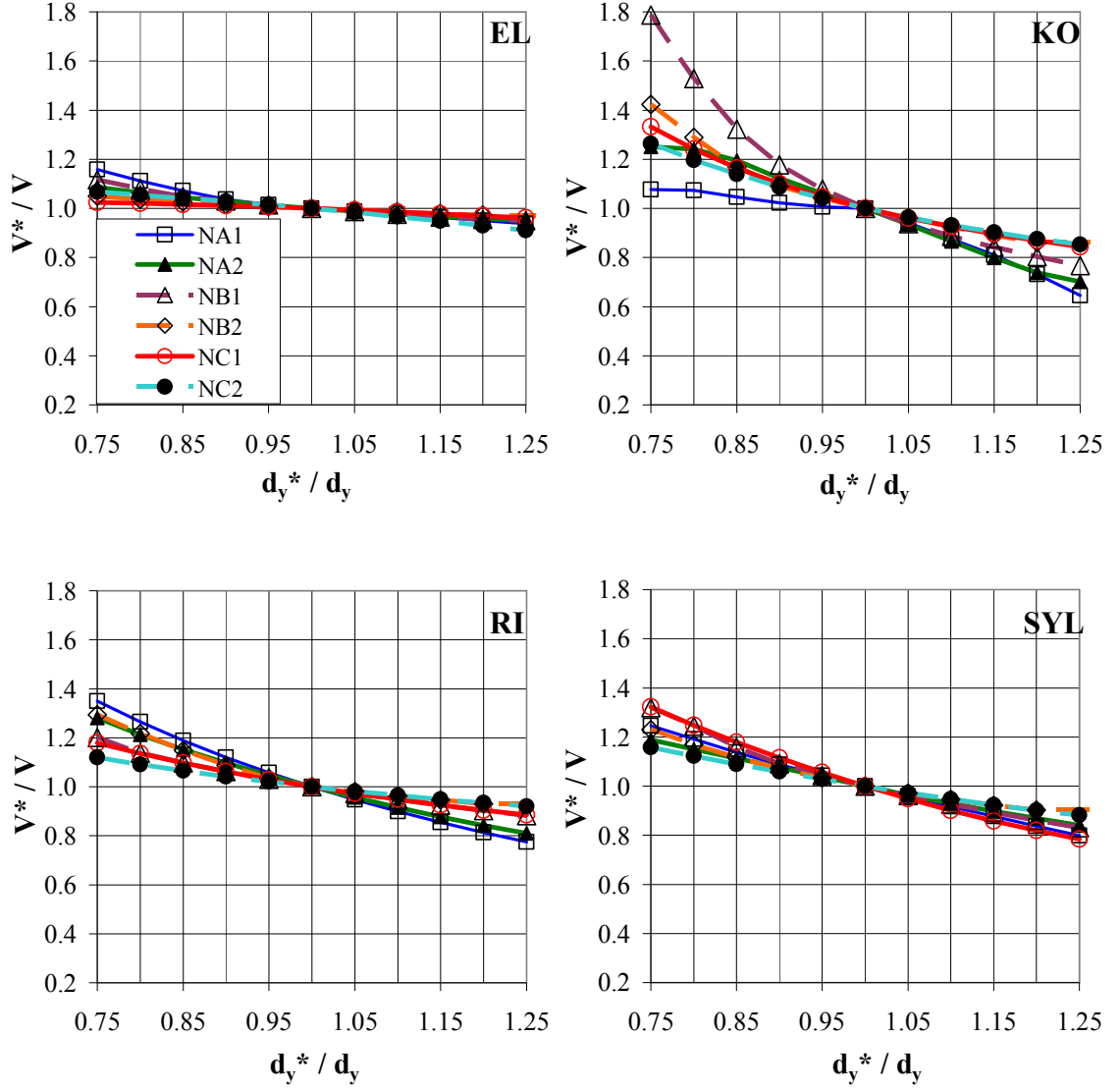
Şekil 4.22: Pik taban kesme kuvvetinin üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



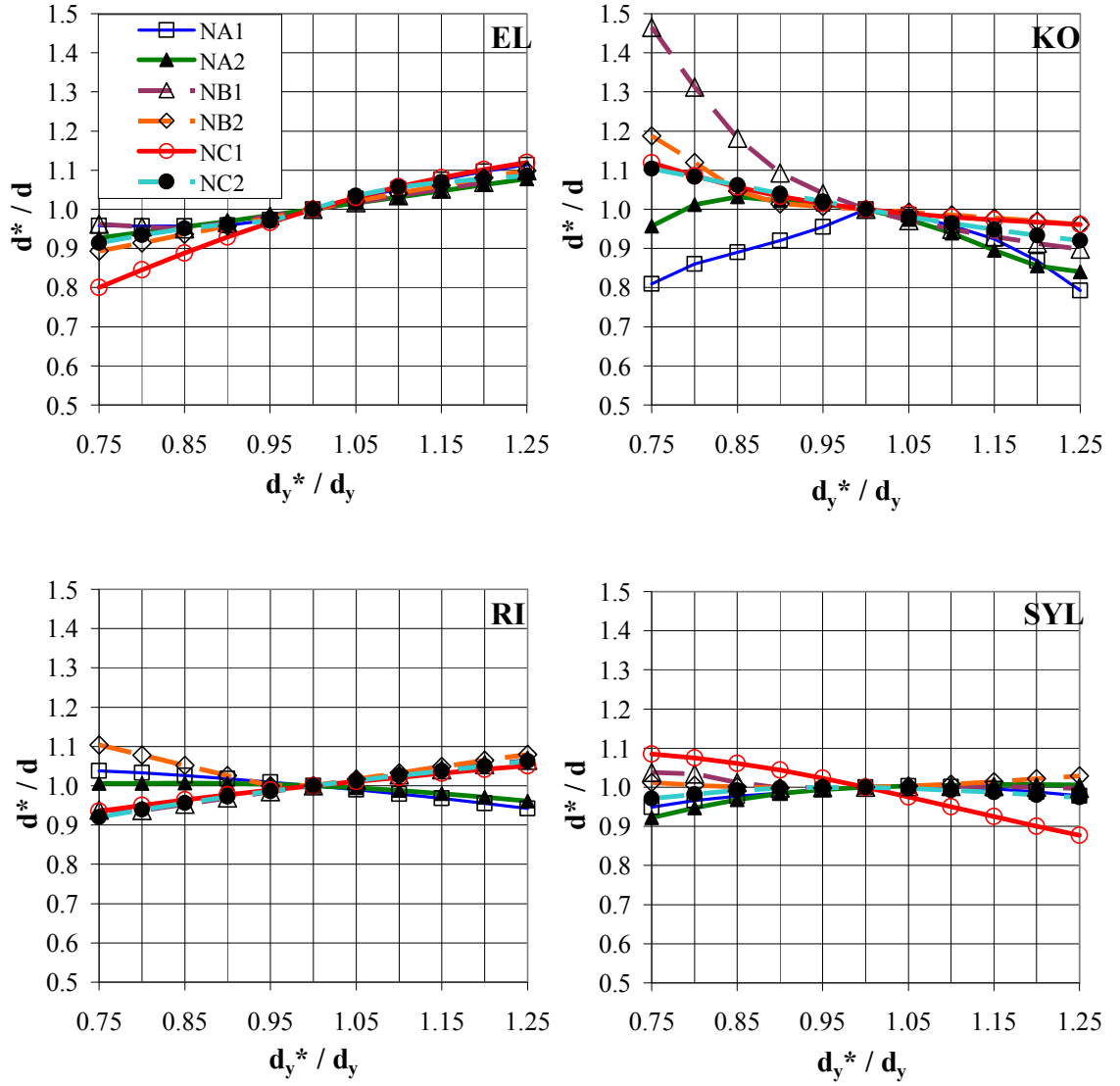
Şekil 4.23: Pik izolasyon sistemi deplasmanının üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



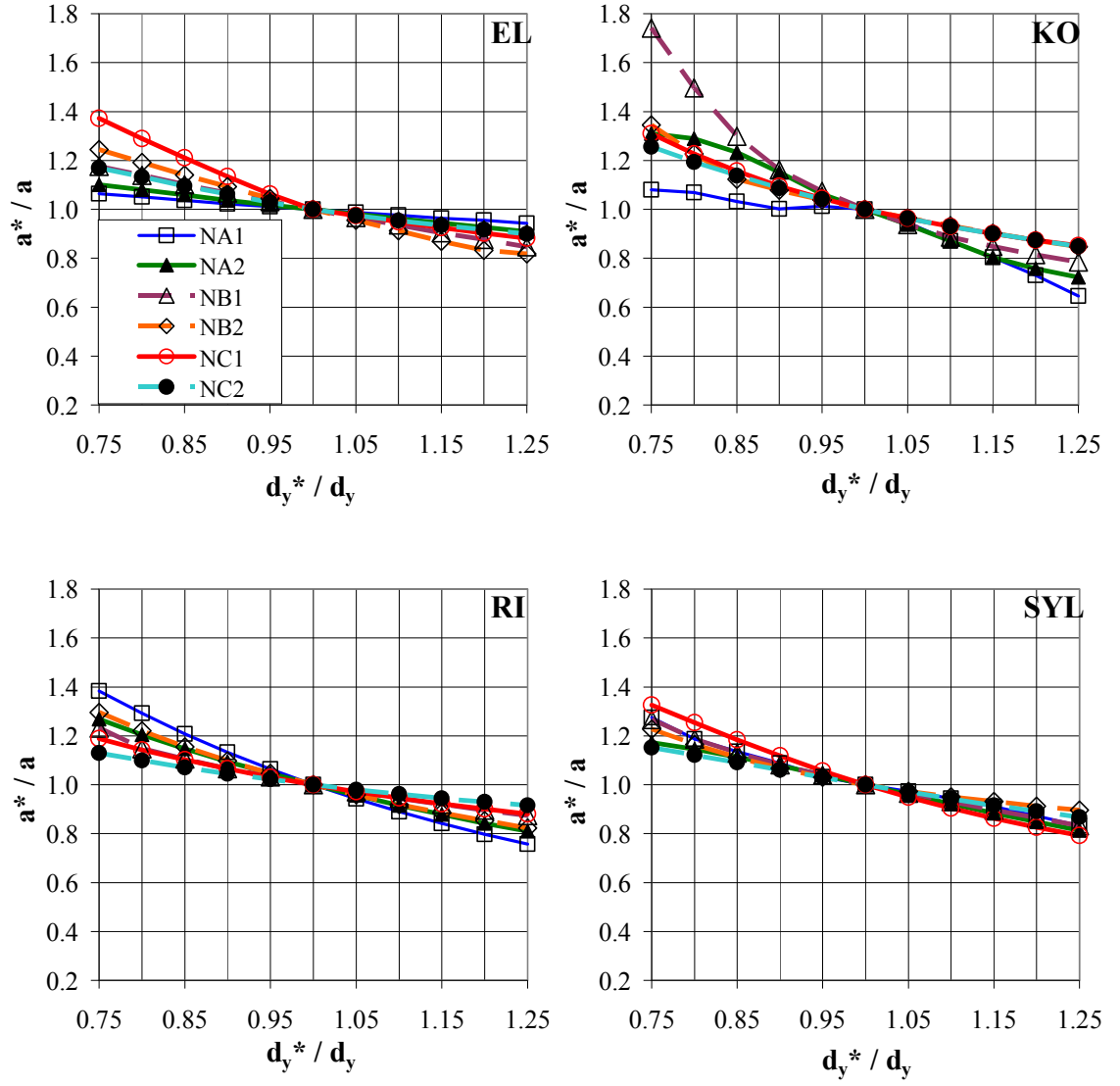
Şekil 4.24: Pik en üst kat ivmesinin üst yapının sönüm oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



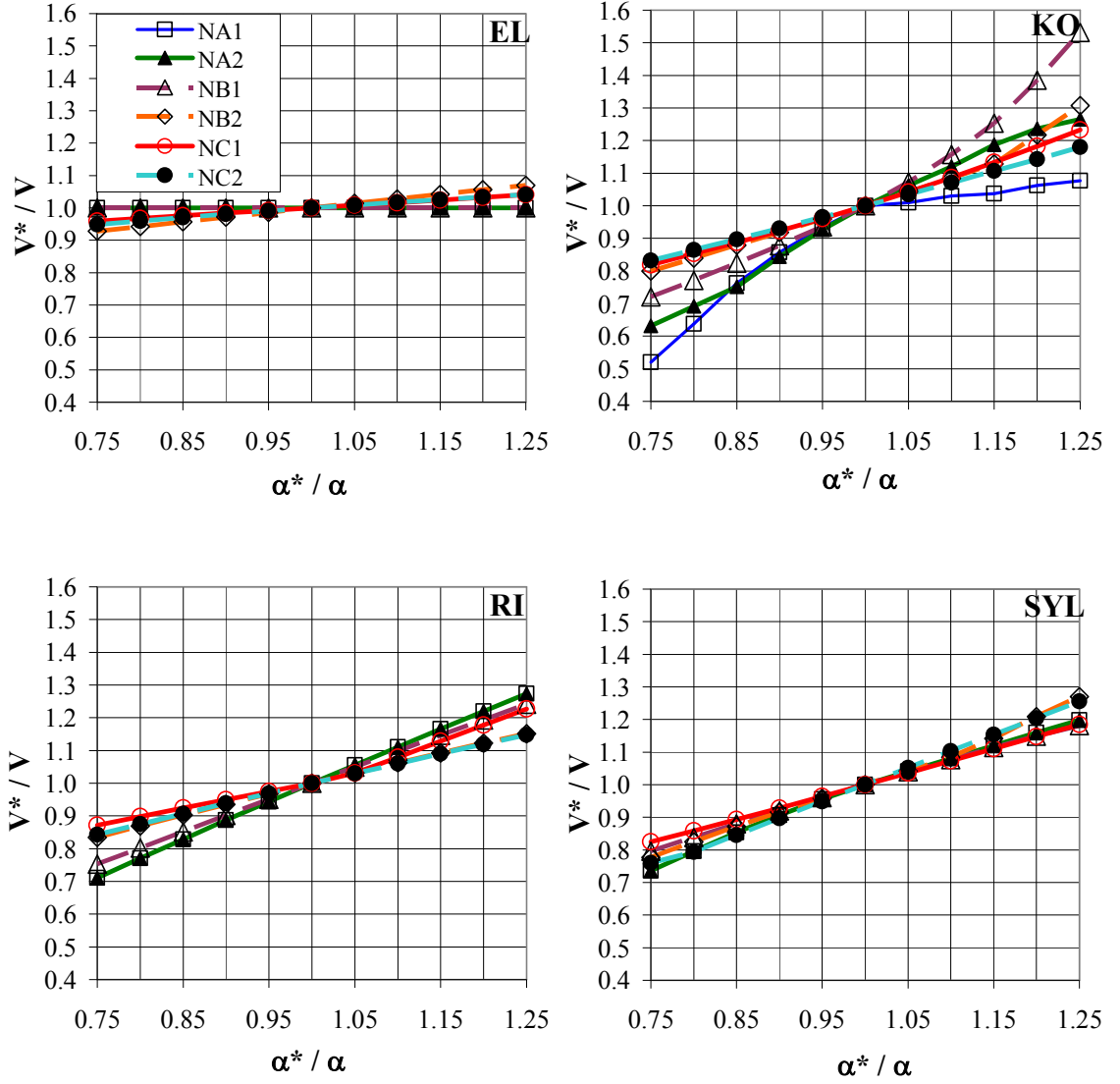
Şekil 4.25: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin akma deplasmanındaki saptamalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



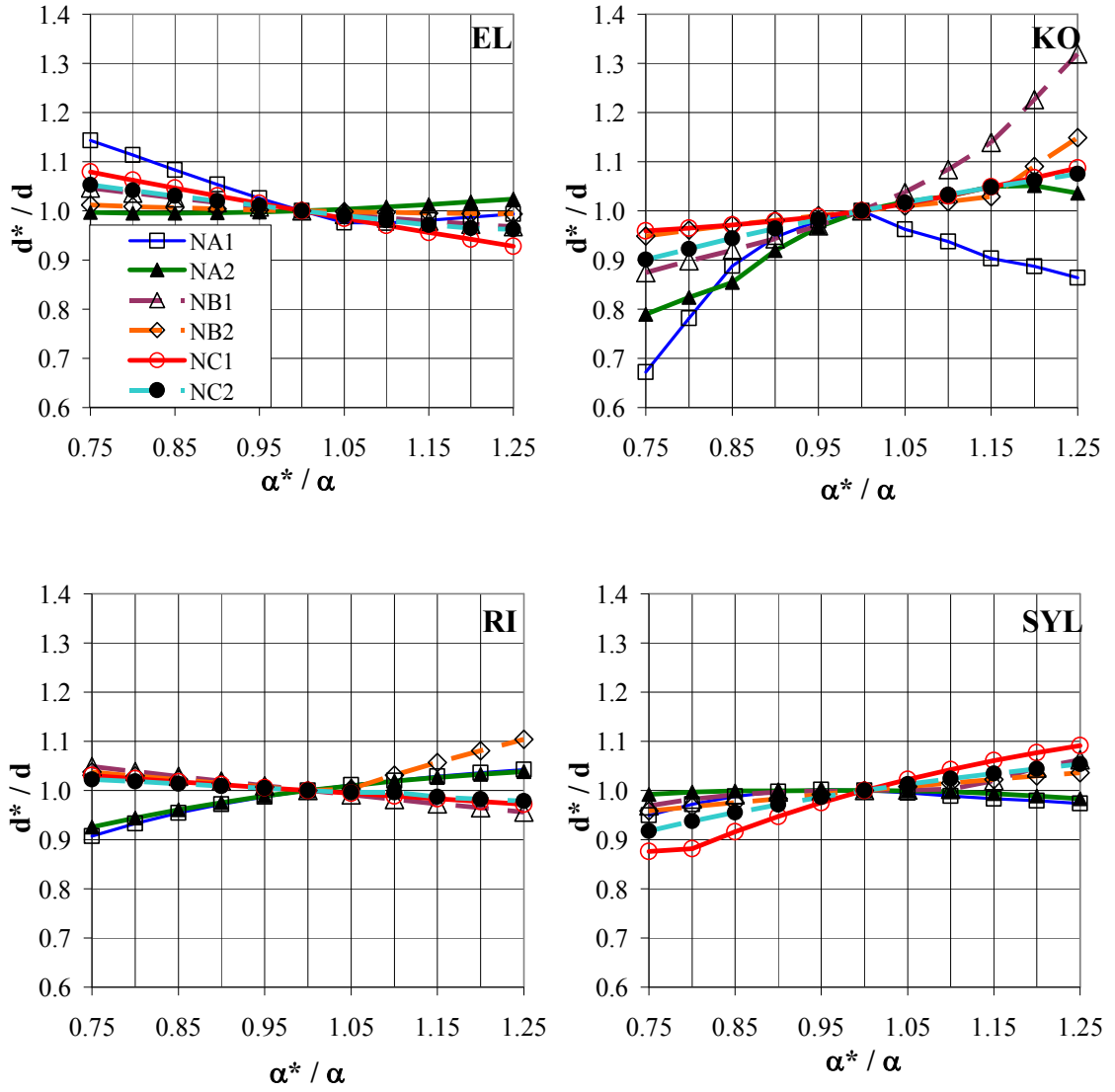
Şekil 4.26: Pik izolasyon sistemi deplasmanının izolasyon sisteminin akma deplasmanındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



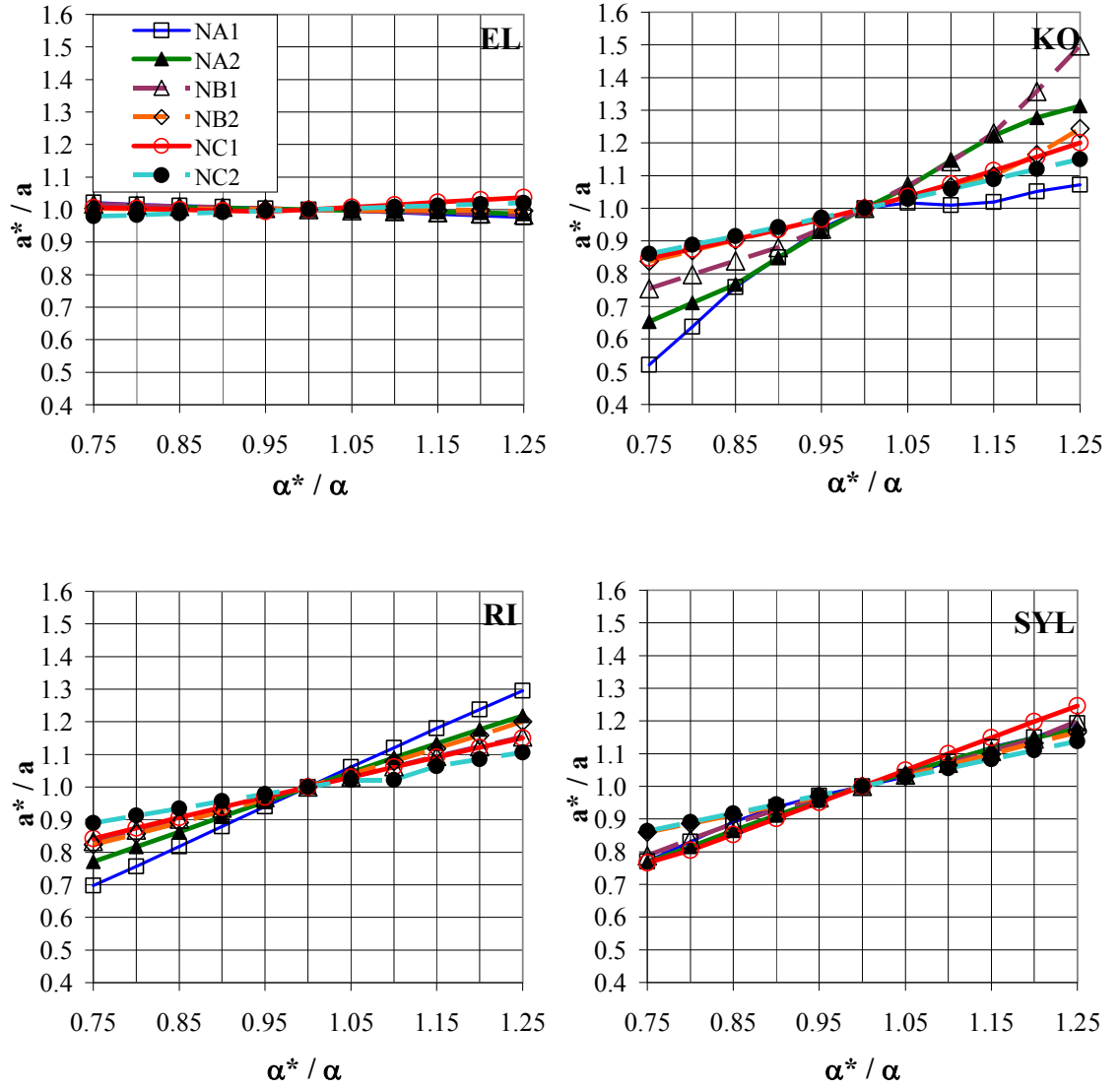
Şekil 4.27: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin akma deplasmanındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



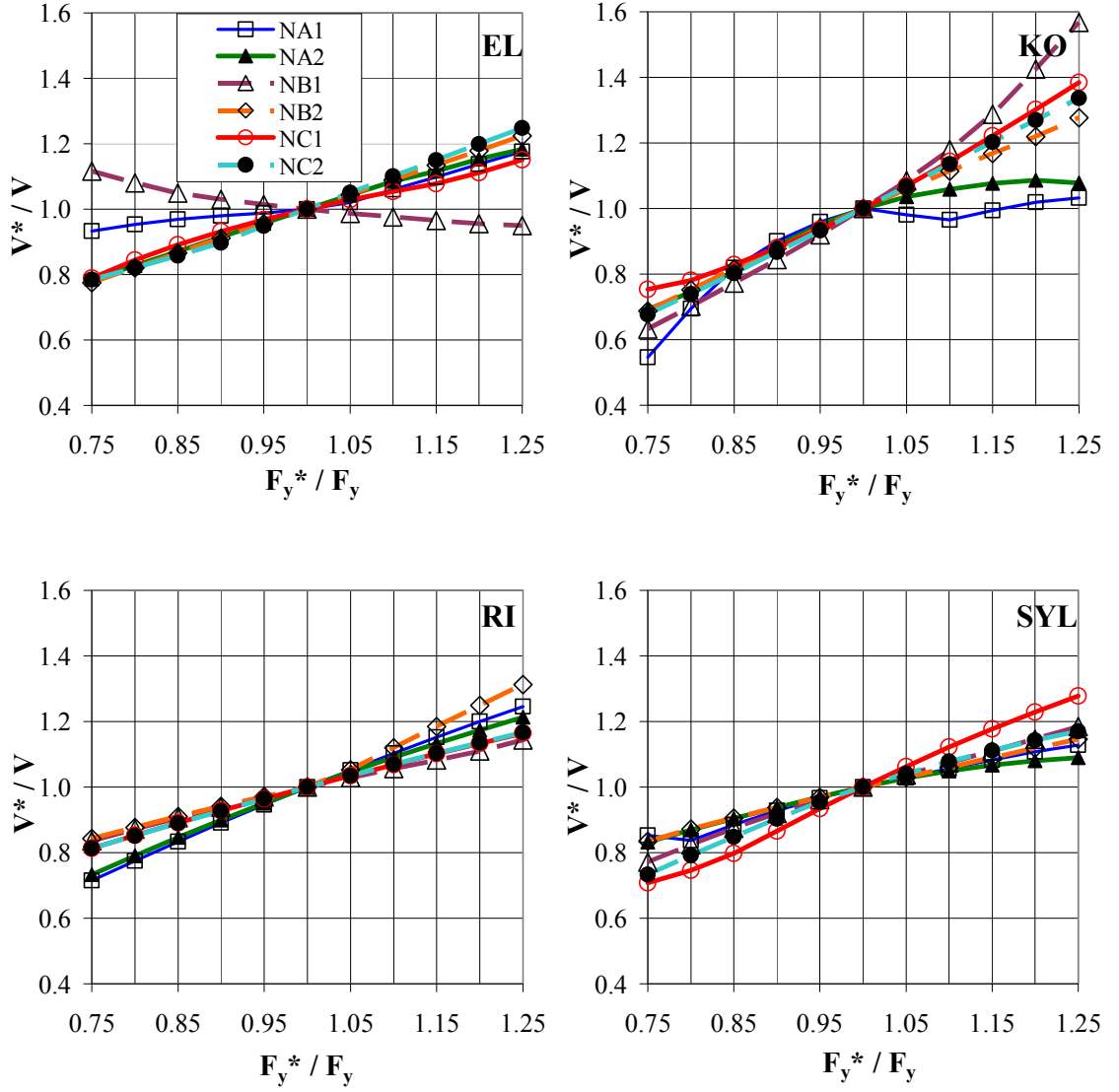
Şekil 4.28: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine olan oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



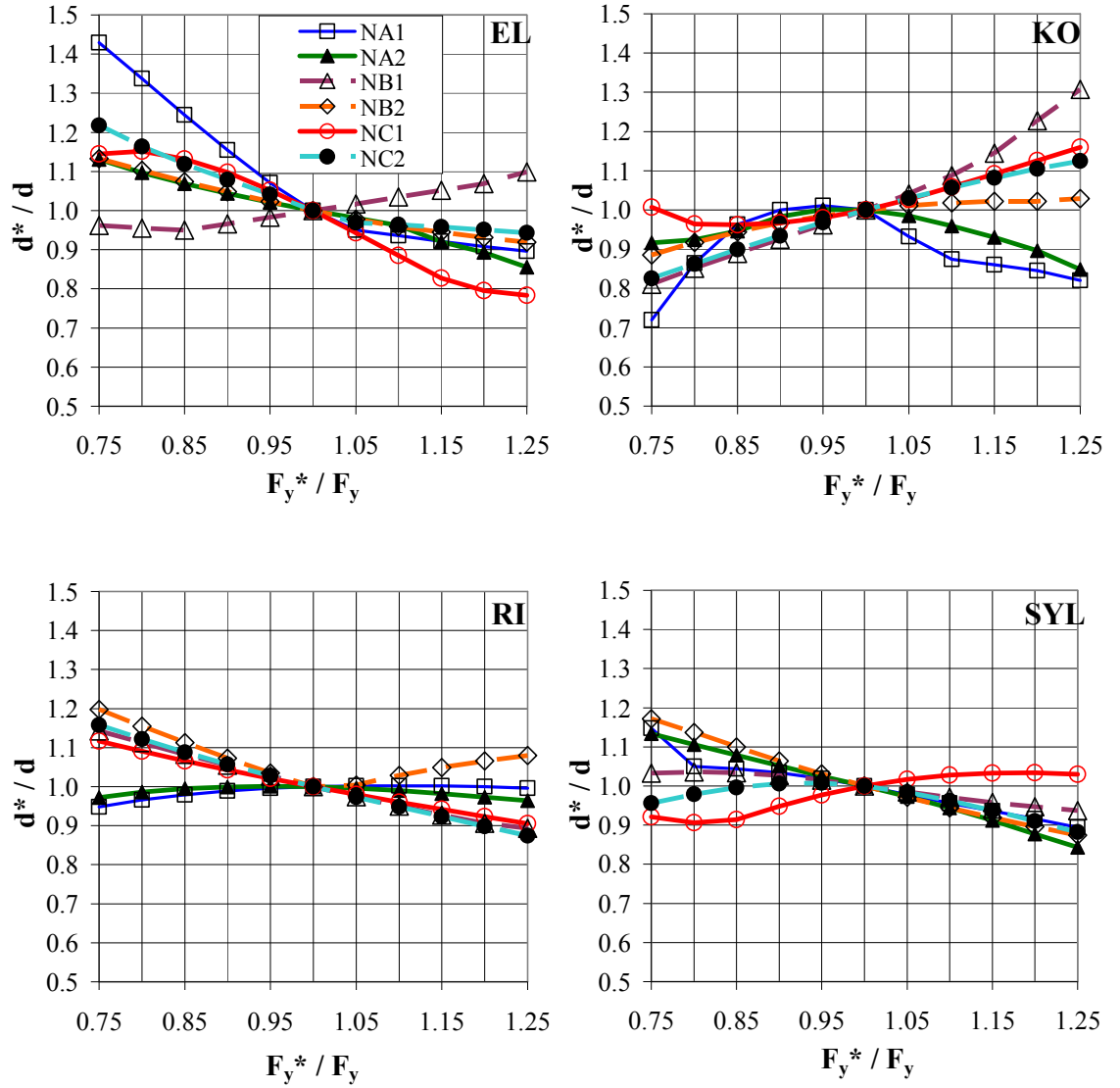
Şekil 4.29: Pik izolasyon sistemi deplasmanının izolasyon sisteminin akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine olan oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



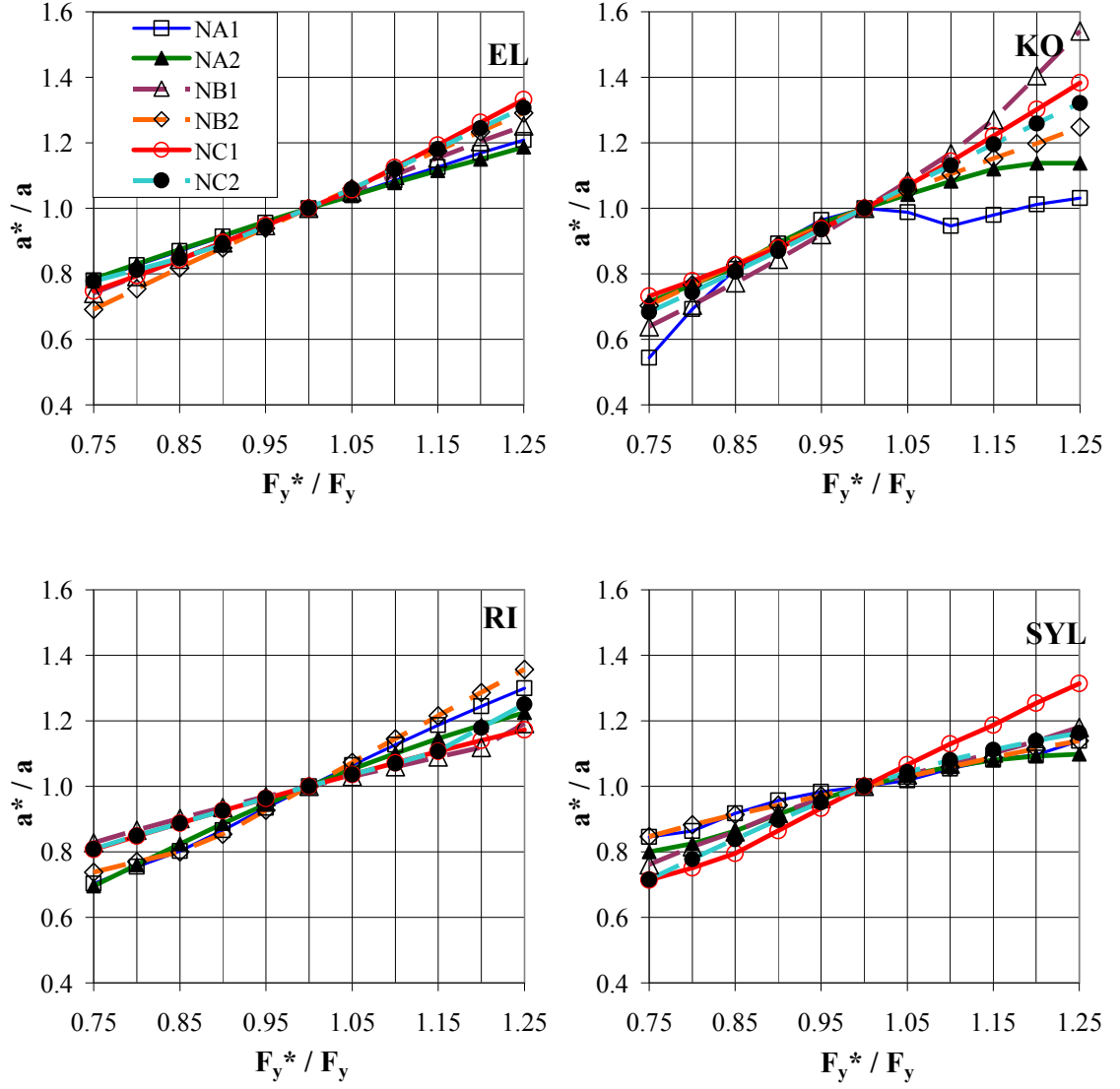
Şekil 4.30: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine olan oranındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



Şekil 4.31: Pik taban kesme kuvvetinin izolasyon sisteminin akma dayanımındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



Şekil 4.32: Pik izolasyon sistemi deplasmanının izolasyon sisteminin akma dayanımındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.



Şekil 4.33: Pik en üst kat ivmesinin izolasyon sisteminin akma dayanımındaki sapmalara olan duyarlılığı – doğrusal olmayan izolasyon sistemleri.

### 4.3 GENEL DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, EL, KO, RI ve SYL depremleri için farklı sistemlere ait mekanik özelliklerdeki yani lineer sistemlerde  $K_I$ ,  $C_I$ ,  $M_s$ ,  $\zeta_s$  ve  $K_s$ , lineer olmayan sistemlerde ise  $d_y$ ,  $F_y$ ,  $\alpha$ ,  $M_s$ ,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerindeki sapmalara bağlı olarak, pik izolasyon sistemi deplasmanında, pik en üst kat ivmesinde ve pik taban kesme kuvvetinde meydana gelen hataların mutlak değerlerinin ortalamaları ve maksimumları elde edilmiştir. Önce, hataların ortalamaları ve maksimum değerleri tüm izolasyon sistemlerini kapsayacak şekilde her deprem için ayrı ayrı kendi içinde hesaplanmış ve sunulmuştur. Daha sonra, tüm depremleri ve izolasyon sistemlerini içeren hata ortalamaları ve maksimum değerleri elde edilmiştir.

Her bir deprem için, yukarıda belirtilen mekanik parametrelerdeki her bir  $\pm\%$  sapma miktarı için sapmanın olmadığı nominal duruma göre pik yapısal cevaplardaki  $\pm\%$  hata miktarları *tüm izolasyon sistemleri* için mutlak değerce hesaplanarak bunların ortalamaları ve maksimumları elde edilmiştir. Bu şekilde hesaplanan pik izolasyon sistemi deplasmanındaki, pik en üst kat ivmesindeki ve pik taban kesme kuvvetindeki hataların ortalamaları sırasıyla ort  $e_d$ , ort  $e_a$  ve ort  $e_v$  olarak ve maksimumları ise sırasıyla max  $e_d$ , max  $e_a$  ve max  $e_v$  olarak rapor edilmiştir. Her bir deprem için hesaplanan bu değerler *tüm depremlerin* ortalamaları (ort\*  $e_d$ , ort\*  $e_a$  ve ort\*  $e_v$ ) ve maksimumları (max\*  $e_d$ , max\*  $e_a$  ve max\*  $e_v$ ) olarak ayrıca sunulmuştur.

#### 4.3.1 Lineer İzolasyon Sistemlerine Ait Değerlendirmeler

##### 4.3.1.1. Her Bir Deprem İçin Tüm İzolasyon Sistemlerinin Hata Ortalamaları

Lineer sistemlere ait mekanik özelliklerde ( $K_I$ ,  $C_I$ ,  $M_s$ ,  $\zeta_s$ ,  $K_s$ ) meydana gelen sapmalara ( $\pm\%5$ ,  $\pm\%10$ ,  $\pm\%15$ ,  $\pm\%20$ ,  $\pm\%25$ ) bağlı olarak ortaya çıkan pik yapısal cevaplardaki mutlak değerce hata ortalamalarına (ort  $e_d$ , ort  $e_a$ , ort  $e_v$ ) ait karşılaştırmalı grafikler EL, KO, RI ve SYL depremleri için sırasıyla Şekil 4.34 - 4.37'de sunulmuştur.

EL depremi altında hata ortalamalarına ait grafiklerin sunulduğu Şekil 4.34 incelendiğinde, üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranında meydana gelen  $\%25$ 'lik büyük sapmaların dahi izolasyon sistemi deplasmanı üzerinde herhangi etkisinin olmadığı (ort  $e_d$   $\%1$ 'in altında) görülmüştür (Şekil 4.34a). İzolasyon sistemi

deplasmanını en fazla etkileyen parametrelerin, izolasyon sistemi sönüm oranı, izolasyon sistemi rijitliği ve yapı kütlesi olduğu görülmekle beraber, bu özelliklerde çok büyük sapmaların dahi ancak ortalama %10 civarında bir değişime sebep olduğu anlaşılmıştır.  $K_I$ 'deki %5'lik sapmalarda izolasyon sistemi deplasmanında ortalama %2.44 hata ve  $M_s$ 'deki %5'lik sapmalarda ise ortalama %2.78 hata ortaya çıkmıştır. Şekil 4.34b incelendiğinde, en üst kat ivmesini en fazla üst yapı kütlesi ve izolasyon sistemi rijitliğinin etkilediğini, bunu sırasıyla izolasyon sistemi sönümü ile üst yapı sönüm oranı ve rijitliğinin takip ettiği görülmüştür. Birer üst yapı parametresi olmalarına karşın, üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranının %25'lik büyük sapmalarda dahi en üst kat ivmesinde ancak sırasıyla ortalama %1.14 ve %1.30 kadar bir değişime sebep olmaktadır. Öte yandan,  $K_I$  ve  $M_s$  deki %25'lik sapmalarda en üst kat ivme değerlerindeki hataların ortalamaları sırasıyla %16.16 ve %13.94'e ulaşmıştır. Şekil 4.34c incelendiğinde ise  $\zeta_s$  ve  $K_s$ 'deki %5 ~ %10'luk sapmalarda taban kesme kuvvetlerindeki ortalama hatanın sıfıra yakın olduğu görülmüştür. Bu aralıkta, taban kesme kuvvetlerindeki en büyük ortalama hata %7.36 ile  $K_I$ 'ya bağlı sapmalarda ortaya çıkmıştır. %25'lik sapmalarda ise yine  $\zeta_s$  ve  $K_s$ 'e bağlı sapmalar sıfır hataya yakın (%0.5in altında) olup ve en fazla ortalama hata %20.94 ile yine  $K_I$ 'ya bağlı sapmalarda ortaya çıkmıştır. Bunu takip eden etkili parametre ise üst yapı kütlesidir ve %25'lik sapma ortalama % 10 kadar bir hataya sebep olmuştur.

KO depremi altında hata ortalamalarına ait grafiklerin sunulduğu Şekil 4.35 incelendiğinde EL depremindekine benzer eğilimler ortaya çıkmıştır. Üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranında meydana gelen %25'lik büyük sapmalar dahi incelenen yapısal cevap parametrelerinde kayda değer bir değişime sebep olmamıştır. En büyük etkileri en üst kat ivmelerinde çıkan bu parametrelerde meydana gelebilecek %25 kadar bir sapma bile ivmede ortalama en fazla %1.34 kadar bir değişime sebep olmuştur. Diğer parametreler ( $K_I$ ,  $C_I$  ve  $M_s$ ) izolasyon sistemi deplasmanları üzerinde yaklaşık aynı etkinliği göstermiş %15 kadar bir sapma için yaklaşık %5, % 25 kadar bir sapma için ise yaklaşık %8.5 hataya sebep olmuşlardır (Şekil 4.35a). Şekil 4.35b incelendiğinde, EL depreminde olduğu gibi en üst kat ivmesini en fazla üst yapı kütlesi ve izolasyon sistemi rijitliğinin etkilediği görülmektedir. Bu parametrelerdeki %5 kadar çok küçük sapmalarda ivmedeki ortalama değişim en fazla %5 civarındadır. Sapma miktarı %25'e çıktığında ivmedeki sapma da  $M_s$  ve  $K_I$  için sırasıyla %18.42 ve

%26.22'ye çıkmaktadır. Şekil 4.35c'de taban kesme kuvvetleri ile ilgili grafik sunulmuştur. EL depreminde olduğu gibi en etkin parametre bariz bir şekilde izolasyon sistemi rijitliği olmuştur.  $K_I$  değerlerinde % 25'lik sapmada taban kesme kuvvetinde %26.54 ortalama hata ortaya çıkmaktadır. Öte yandan üst yapı kütlesi ve izolasyon sistemi sönümünde meydana gelecek aynı orandaki sapma taban kesme kuvvetinde %10'u dahi bulmayan sapmaya sebep olmuştur.

RI depremi altında hata ortalamalarına ait grafiklerin sunulduğu Şekil 4.36 incelendiğinde EL ve KO depremindekine benzer eğilimler ortaya çıkmıştır. Üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranında meydana gelen %25'lik büyük sapsmalar dahi incelenen yapısal cevap parametrelerinde kayda değer bir değişime sebep olmamıştır. Gözlenen bir farklı durum, üst yapı rijitliğindeki değişimin en üst kat ivmesinde çok küçük de olsa bazı değişimlere (%25 sapma için %3 civarında) sebep olmasıdır. Şekil 4.36a incelendiğinde, izolasyon sistemi deplasmanındaki ortalama hataların düşük değerlerde olduğu ve mekanik özelliklerin tümünde meydana gelecek %5'lik sapsmalarda en fazla  $C_I$  için %1.05 ortalama hata değerine, %25'lik sapsmalarda ise en fazla yine  $C_I$  için %5.26 ortalama hata değerine ulaşılmıştır. Şekil 4.36b incelendiğinde, EL ve KO depremlerinde olduğu gibi en üst kat ivmesini en fazla üst yapı kütlesi ve izolasyon sistemi rijitliğinin etkilediği görülmektedir. Bu parametrelerdeki %5 kadar çok küçük sapsmalarda ivmedeki ortalama değişim %5' in altındadır. Sapma miktarı %25'e çıktığında ise ivmedeki sapma da  $M_s$  ve  $K_I$  için sırasıyla %17.88 ve %18.47'ye çıkmaktadır. Şekil 4.36c'de sunulan grafikten, taban kesme kuvveti değerlerindeki hatalar üzerinde  $K_I$  dışındaki mekanik özelliklerdeki sapsmalarında ciddi hatalara sebep olmadığı, %5 ~ %10'luk aralıkta  $K_I$  haricinde en fazla  $C_I$  değerinde %1.71 ve %25'lik sapsmada yine  $K_I$  haricinde en fazla  $C_I$  değerinde % 4.24 hata oranına ulaşılmıştır. Diğer parametrelerden farklı olarak,  $K_I$  değerlerindeki sapsmaların kesme kuvvetinde ciddi hatalara; %25'lik sapsmada %19.70 hataya sebep olduğu görülmüştür.

SYL depremi altında lineer izolasyon sistemlerin için mekanik özelliklerdeki sapsmalara bağlı olarak, izolasyon sistemi deplasmanında, en üst kat ivmesinde, taban kesme kuvvetinde meydana gelen hataların ortalamaları sırasıyla Şekil 4.37a-4.37c grafiklerinde verilmiştir. Şekil 4.37a grafiğinden izolasyon sistemi deplasmanı değerlerindeki hatalar incelendiğinde, mekanik özelliklerdeki sapsmaların %5 ~ %10'luk

aralıkta deplasman değerlerinde oldukça küçük hatalara sebep oldukları görülmüş, %10 sapmada en fazla ortalama hata  $C_1$  değerindeki sapmaya bağlı % 3.21 olarak ortaya çıkmıştır. Üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranındaki çok büyük sapmalarda dahi ise izolasyon sistemi deplasmanında bir değişime sebep olmamıştır. En fazla ortalama hata ise  $C_1$  değerindeki %25'lik sapmaya bağlı ve %8.15 olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 4.37b grafiğinden en üst kat ivme değerlerindeki hatalar incelendiğinde izolasyon deplasmanı değerlerindeki hata oranlarına kıyasla daha büyük hata oranlarına ulaşıldığı görülmüştür.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerinde %5 ~ %10'luk sapmalar için ivmede çok küçük hatalar olduğu, sırasıyla %0.32 ve %1.16 değerlerinde kaldığı görülmüştür. Bu sapma aralığında ivmedeki en büyük ortalama hata değeri %8.06 ile  $K_1$ 'daki sapmalara bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Diğer depremlerden farklı olarak,  $K_s$  değerlerinde meydana gelecek sapmaların ivmede meydana getireceği hataların kayda değer miktarlara ulaştığı söylenebilir (%25 sapma için yaklaşık %10 hata). Grafikte görülen en büyük ortalama hata ise  $K_1$ 'daki %25'lik sapmayla oluşan %20.06'dır. Şekil 4.35c'de taban kesme kuvvetleri ile ilgili grafik sunulmuştur. Diğer tüm depremlerde olduğu gibi en etkin parametre bariz bir şekilde izolasyon sistemi rijitliği olmuştur.  $K_1$  değerlerinde % 25'lik sapmada taban kesme kuvvetinde %22.84 ortalama hata ortaya çıkmaktadır. Öte yandan üst yapı kütlesi ve izolasyon sistemi sönümünde meydana gelecek aynı orandaki sapma taban kesme kuvvetinde %10 civarında sapmaya sebep olmuştur.

#### 4.3.1.2. Her Bir Deprem İçin Tüm İzolasyon Sistemleri Arasındaki En Büyük Hatalar

Lineer sistemlere ait mekanik özelliklerde ( $K_I$ ,  $C_I$ ,  $M_s$ ,  $\zeta_s$ ,  $K_s$ ) meydana gelen sapmalara ( $\pm\%5$ ,  $\pm\%10$ ,  $\pm\%15$ ,  $\pm\%20$ ,  $\pm\%25$ ) bağlı olarak ortaya çıkan pik yapısal cevaplardaki mutlak değerce hataların tüm izolasyon sistemleri arasındaki en büyük değerleri ( $\max e_d$ ,  $\max e_a$ ,  $\max e_v$ ) karşılaştırmalı grafikler olarak EL, KO, RI ve SYL depremleri için sırasıyla Şekil 4.38 - 4.41'de sunulmuştur. Bu grafiklerin verilmesinin amacı, yukarıda detaylı bir şekilde tartışılan ortalama değerlerin -izolasyon sistemi tipine bağlı olarak- ne kadar üzerine çıkılabileceğini görmek ve pik yapısal cevaplarda ortaya çıkabilecek en büyük hata oranlarını ortaya koymaktır.

EL depremi için sunulan Şekil 4.38 incelendiğinde, üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranında meydana gelen sapmaların izolasyon sistemi deplasmanı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. %25'lik sapmalar için dahi üst yapı sönüm oranındaki sapmaların izolasyon sistemi deplasmanını etkilemediği üst yapı rijitliğindeki

sapmaların ise en fazla %0.50 etkilediği görülmüştür (Şekil 4.38a). Buna karşın, izolasyon sistemi sönümü, izolasyon sistemi rijitliği ve yapı kütleindeki sapmaların ise izolasyon sistemi deplasmanını etkilediği görülmüştür. Özellikle de yapı kütlesi ( $M_s$ ) ve izolasyon sistemi rijitliğindeki ( $K_I$ ) sapmaların izolasyon deplasmanını en fazla etkiledikleri görülmüştür. En büyük hata oranı  $K_I$ 'deki %5'lik sapmalarda %5.07 ve  $M_s$ 'deki %5'lik sapmalarda %5.34 iken %25'lik sapmalarda sırasıyla %18.80 ve %26.32 olmuştur. Şekil 4.38b incelendiğinde en üst kat ivmesin en fazla üst yapı kütlesi ve izolasyon sistemi rijitliğinden etkilendiği,  $K_I$  ve  $M_s$  deki %25'lik sapmalarda en üst kat ivme değerlerindeki hataların en büyük değerlerinin sırasıyla %30.14 ve %32.55'e ulaştığı görülmektedir. Şekil 4.38c grafiğinden  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerinde meydana gelen sapmaların taban kesme kuvvetinde sıfıra yakın hata oluşturduğu görülmüştür. En büyük etkiye sahip parametreler sırasıyla  $K_I$  ve  $M_s$  olmuştur. %25'lik sapmalarda en fazla hata %36.13 ve %26.28 değerleri ile  $K_I$  ve  $M_s$ 'e bağlı olarak ortaya çıkmıştır.

KO depremi altında lineer izolasyon sistemlerinde mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı olarak, izolasyon sistemi deplasmanında, en üst kat ivmesinde, taban kesme kuvvetinde meydana gelen hataların en büyük değerleri sırasıyla Şekil 4.39a-4.39c grafiklerinde verilmiştir. Şekil 4.39a incelendiğinde, izolasyon sistemi deplasman değerlerinde EL depreminde elde edilen en büyük hatalardan nispeten daha küçük hatalar elde edildiği anlaşılmıştır.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmalar sonucu en küçük hatalar oluşmuş ve %25'lik sapmalarda bile %0.61 ( $K_s$ ) hata oluştuğu görülmüştür. %5 ~ %10'luk sapmalarda ise en fazla  $M_s$ 'e bağlı sapma sonucu hata oluşmuş ve %7.25 kadar olduğu görülmüştür. En büyük hatalar  $K_I$  ve  $M_s$  değerlerindeki sapmalar sonucu ortaya çıkmıştır. %25 sapmada sırasıyla izolasyon sistemi deplasmanında %24.35 ve %19.76 hata oluştuğu görülmüştür. Şekil 4.39b grafiğinden en üst kat ivme değerlerindeki hatalar incelendiğinde  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmalarda izolasyon sistemi deplasmanı değerlerine göre hataların daha belirgin olduğu görülmüştür.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerindeki %25'lik sapmalarda sırasıyla %1.60 ve %3.46 hata değerlerine ulaşmıştır. En üst kat ivmesindeki hataların en büyük değerleri  $M_s$  ve  $K_I$  parametrelerindeki sapmalara bağlı olarak ortaya çıkmıştır.  $M_s$  ve  $K_I$ 'daki %25 sapmalar sırasıyla %48.29 ve %50.55'lik hataya sebep olmuştur. Şekil 4.39c'den taban kesme kuvveti değerlerindeki hatalar incelendiğinde; yine  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmaların taban kesme kuvvetlerinde oluşturduğu hatalar %25'lik sapmada bile en fazla %0.77

değerinde kalmaktadır. En büyük hata ise  $K_I$  değerlerindeki % 25'lik sapmada meydana gelen %53.09 hatadır.

RI depremi altındaki durum incelendiğinde (Şekil 4.40), Şekil 4.40a grafiğinden izolasyon sistemi deplasmanlarındaki en büyük hataların, %25 kadar büyük sapma durumlarında bile sınırlı kaldığı ve en hassas parametre için dahi ( $C_I$ ) %11.45 olarak ortaya çıktığı görülmüştür.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerinin etkisinin neredeyse hiç olmadığı anlaşılmıştır. Şekil 4.40b grafiğinden en üst kat ivme değerlerindeki hatalar incelendiğinde, izolasyon sistemi deplasmanındaki hata oranlarına göre daha yüksek değerlere ulaşıldığı görülmüştür. Ancak, %5 ~ %10'luk sapma aralıklarında en büyük hata oranlarının  $\zeta_s$  ve  $K_s$  için sırasıyla en fazla %0.39 ve %1.63 gibi küçük değerlerde kaldığı görülmüştür. Buna karşılık en büyük hatalara  $M_s$  ve  $K_I$  değerlerindeki sapmalara bağlı ortaya çıktığı anlaşılmıştır.  $M_s$  ve  $K_I$  değerlerindeki %25'lik sapmada %32.18 ve %30.0 hata oranları görülmüştür. Şekil 4.40c'den taban kesme kuvveti değerlerindeki hatalar incelendiğinde;  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmaların kesme kuvveti üzerinde ciddi etkisinin olmadığı ve ayrıca  $K_I$ 'daki sapmaların kesme kuvveti değerleri üzerinde en ciddi hataya (%25'lik sapmada %30.42'lik hataya) sebep olduğu görülmüştür.  $K_I$  haricinde en fazla  $C_I$  değerinde %25'lik sapmada % 9.01 hata oranına ulaşılmıştır.

SYL depremi altında (Şekil 4.41) incelendiğinde, mekanik özelliklerdeki %10 kadar küçük sapmaların deplasman değerlerinde en fazla % 8.10 kadar hata oluşturduğu ( $K_I$ 'daki sapmaya bağlı olarak) görülmüştür (Şekil 4.41a). Daha büyük sapmalarda ise (%25 sapma) en büyük hata oranları  $K_I$  ve  $C_I$  değerlerine bağlı olarak ortaya çıkmış ve sırasıyla %14.13 ve %13.85 oranlarına ulaşılmıştır. Üst yapı rijitliği veya üst yapı sönüm oranının izolasyon sistemi deplasmanlarını etkilemediği görülmüştür. Öte yandan, Şekil 4.41b incelendiğinde,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerinin en üst kat ivmeleri üzerindeki etkilerinin görece olarak daha büyük olduğu, %10'luk küçük sapmada sırasıyla en fazla %0.74 ve %3.05 ve %25'lik sapmada sırasıyla en fazla %1.98 ve %11.2 hataya ulaşılmıştır. İvme üzerindeki en etkin parametreler olarak  $K_I$  ve sonrasında  $M_s$  görülmüştür.  $K_I$ 'daki %10 kadar sapmada %15.29 hata değeri oluşmuş, %25'lik sapmada ise %36.20 en büyük hata oranına ulaşılmıştır. Şekil 4.40c taban kesme kuvveti ile ilgili sonuçları göstermektedir.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerinin hemen hiç

etkisinin olmadığı görülürken  $K_I$ 'daki sapmaların taban kesme kuvvetlerini en fazla etkilediği, %10 kadar sapma için %15.96'lık ve %25 kadar sapma için %22.48'lik bir hata oluşturduğu görülmüştür.

#### 4.3.1.3. Tüm Depremler ve Tüm İzolasyon Sistemleri İçin Hata Ortalamaları

Her bir deprem için yukarıda ayrı ayrı rapor edilen tüm lineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamalarının ortalamaları (tüm depremler üzerinden ortalamalar) bu kısımda sunulmuştur. Bu şekilde hesaplanan pik izolasyon sistemi deplasmanındaki, pik en üst kat ivmesindeki ve pik taban kesme kuvvetindeki tüm depremler ve tüm izolasyon sistemleri için hata ortalamaları sırasıyla  $ort^* e_d$ ,  $ort^* e_a$  ve  $ort^* e_v$  ile temsil edilmiş ve karşılaştırmalı olarak Şekil 4.42'de sunulmuştur.

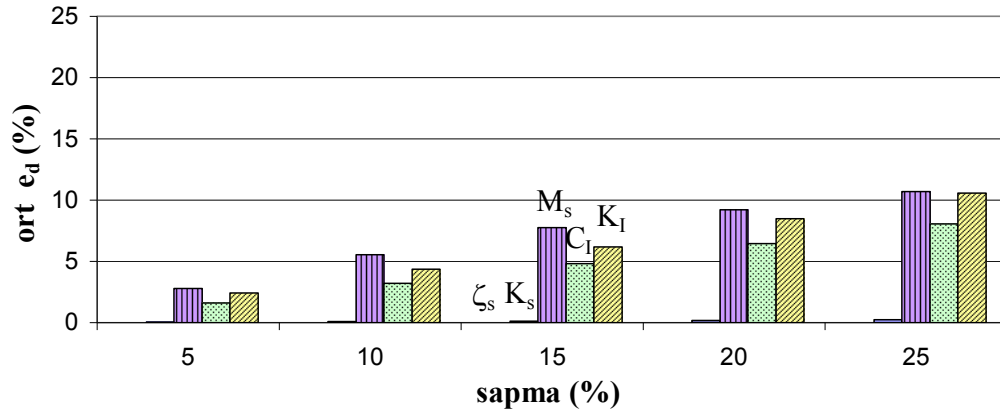
Pik izolasyon sistemi deplasmanı ile ilgili durum incelendiğinde (Şekil 4.42a), tüm sapma oranları için geçerli olmak üzere,  $K_I$ ,  $C_I$  ve  $M_s$  parametrelerinin etkinliğinin yaklaşık aynı ve sınırlı olduğu,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerinin etkisinin ise, çok büyük sapsmalarda dahi, yok denecek kadar az olduğu (%1 civarında) görülmüştür.  $K_I$ ,  $C_I$  ve  $M_s$  parametrelerinde meydana gelebilecek çok küçük düzeyde (%5) bir sapma pik izolasyon sistemi deplasmanının yaklaşık %2, orta düzeyde (%15) bir sapma yaklaşık %5 ve büyük düzeyde bir sapma (%25) yaklaşık %7 ( $K_I$ ,  $C_I$  ve  $M_s$  için sırasıyla %6.96, %7.58 ve %6.91) sapsmaya sebep olmuştur. Pik en üst kat ivmeleri açısından (Şekil 4.42b) ise durum biraz daha farklıdır. En etkin parametreler sırasıyla  $K_I$  ve  $M_s$  olurken, bunu  $C_I$  takip etmiştir.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerinin etkisi ancak %25 kadar çok büyük sapsmalarda bir miktar ( $\zeta_s$  ve  $K_s$  için sırasıyla %0.74 ve %2.07) ortaya çıkmıştır. En etkin parametre olan  $K_I$ 'da meydana gelebilecek %5 kadar çok küçük sapsmalarda pik en üst kat ivmelerinde %3.94 kadar hata ortaya çıkarken, %25'lik sapsmalarda %20.23 kadar bir hata oluşmuştur. Bunu takip eden durumlar için,  $M_s$  değerlerindeki %25 sapma %16.05 hataya ve  $C_I$  değerlerindeki %25 sapma ise ancak %5.5 hataya sebep olmuştur. Şekil 4.42c'de pik taban kesme kuvvetlerinin mekanik parametrelerdeki sapsmalara olan duyarlılığı sunulmuştur.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerini taban kesme kuvvetlerini hemen hemen hiç etkilemediği,  $K_I$ 'daki sapsmaların ise diğer parametrelere göre bariz bir şekilde daha fazla etkili olduğu görülmüştür.  $K_I$ 'daki %5'lik çok küçük sapsmalarda meydana gelen hata oranı yaklaşık %5 ve %25'lik büyük sapsmalarda ise

%22.42 olmuştur.  $M_s$  ve  $C_I$  ise yaklaşık aynı etkiye sahiptir ve bu etki sınırlı düzeydedir. %25 kadar büyük sapmalarda dahi hata oranı %7 seviyelerini aşmamıştır.

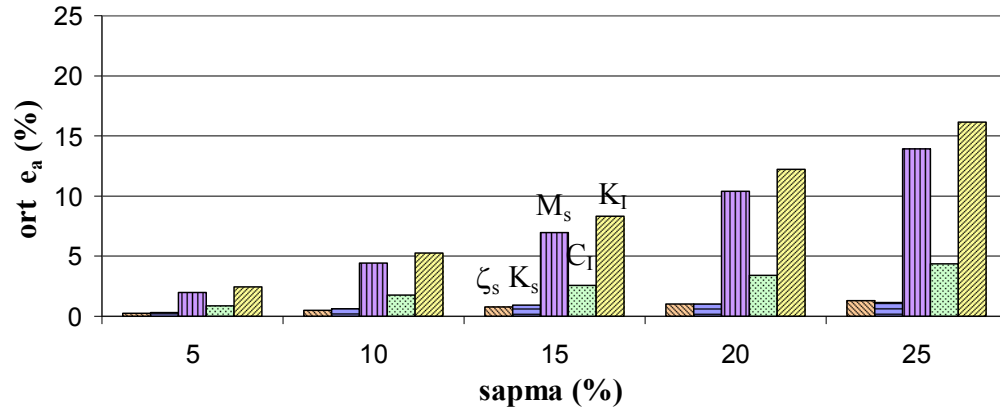
#### 4.3.1.4. Tüm Depremler ve Tüm İzolasyon Sistemleri Arasındaki En Büyük Hatalar

Her bir deprem için yukarıda ayrı ayrı rapor edilen tüm lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hataların en büyük değerleri (tüm depremler arasındaki en büyük hatalar) bu kısımda sunulmuştur. Bu şekilde hesaplanan pik izolasyon sistemi deplasmanındaki, pik en üst kat ivmesindeki ve pik taban kesme kuvvetindeki tüm depremler ve tüm izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar sırasıyla  $\max^* e_d$ ,  $\max^* e_a$  ve  $\max^* e_v$  ile temsil edilmiş ve karşılaştırmalı olarak Şekil 4.43'te sunulmuştur.

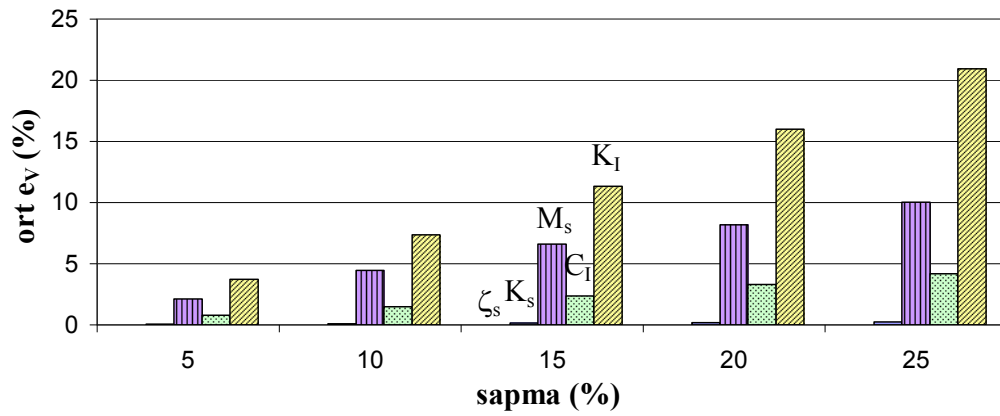
Pik izolasyon sistemi deplasmanı ile ilgili durum Şekil 4.43a'da sunulmuştur.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerindeki sapmaların oluşturabileceği en büyük etki %1'i (0.78) geçmemektedir (%25 sapma için). En büyük hata değerlerinin  $M_s$ ,  $K_I$  ve  $C_I$ 'de %25 sapmaların olması durumunda sırasıyla %26.32, %24.35 ve %17.16'ya çıkabileceği görülmüştür. Aynı parametrelerde %5 ila %10 arasındaki sapmalarda en büyük hata oranları yaklaşık %5 ila %10 arasında olmuştur. Pik en üst kat ivmelerinde (Şekil 4.43b) meydana gelebilecek en büyük hatalar, özellikle  $M_s$  ve  $K_I$ 'daki sapmalar için oldukça büyük olmuştur.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmaların meydana getirdiği en büyük hata oranlarının %10 sapma için sırasıyla %0.81 ve % 3.05 ve %25 sapma için ise sırasıyla %2.20 ve %11.20 belirgin değerlerine ulaştığı görülmüştür.  $M_s$  ve  $K_I$ 'daki orta seviyedeki (%15) sapmalar %25'i geçen hatalara sebep olurken, %25'lik sapmalarda ulaşılan en büyük hata oranları sırasıyla %48.29 ve %50.55 olmuştur. Taban kesme kuvveti ile ilgili grafikler (Şekil 4.43c) incelendiğinde,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerinin taban kesme kuvvetlerini hemen hemen hiç etkilemediği (en fazla %0.85) görülmüştür. Buna karşılık en büyük hatanın ise en etkin parametreler olan  $K_I$  ve  $M_s$ 'deki %25'lik sapma sonucu meydana gelen %53.09 ve %26.28 hata değerleri olduğu görülmüştür.  $K_I$ 'da meydana gelebilecek %5 kadar çok küçük sapma bile %10'a varan hataya sebep olmaktadır.



(a)

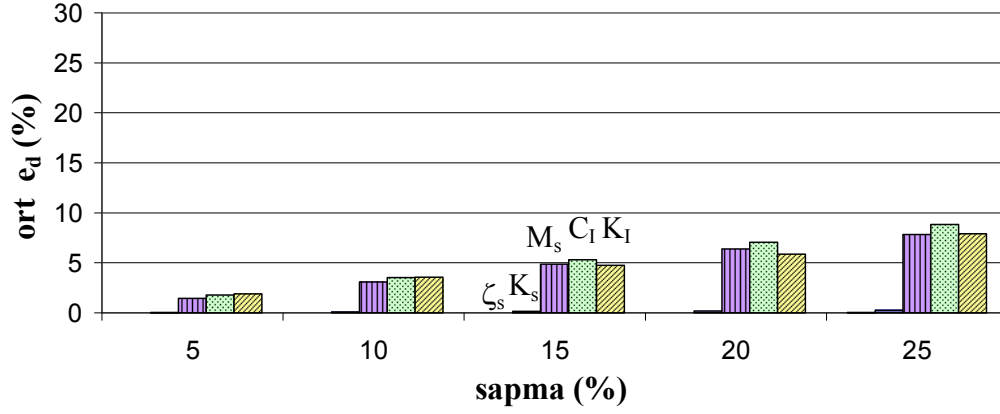


(b)

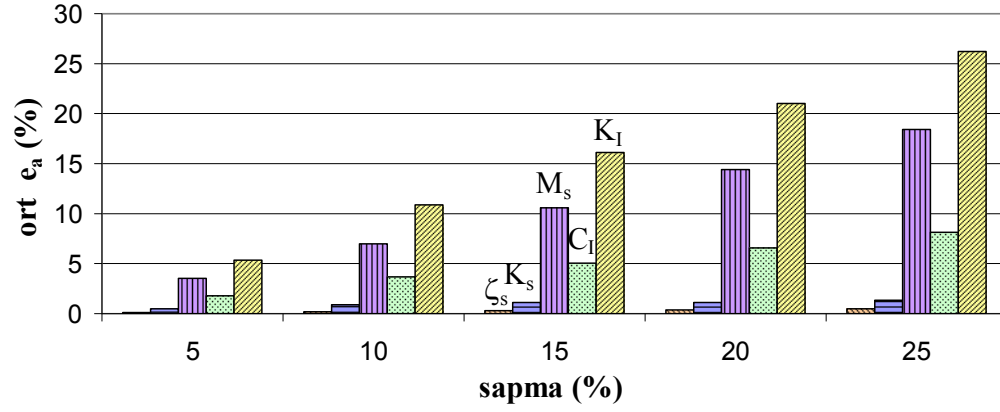


(c)

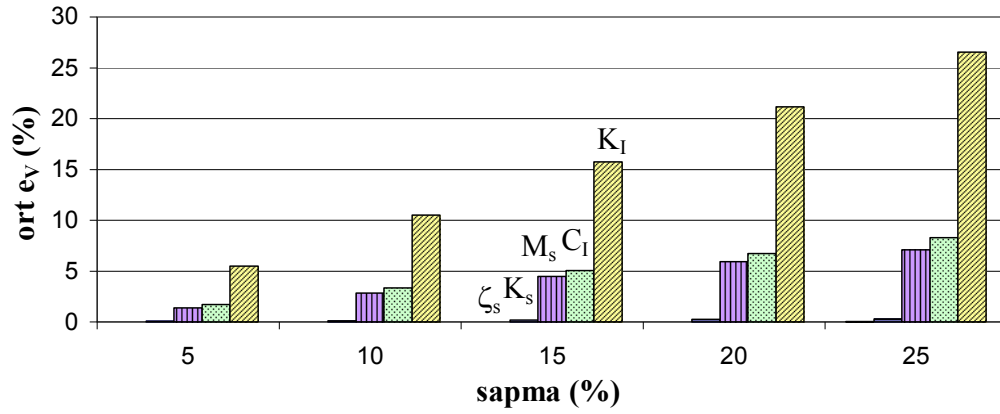
Şekil 4.34: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – EL depremi altında lineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.



(a)

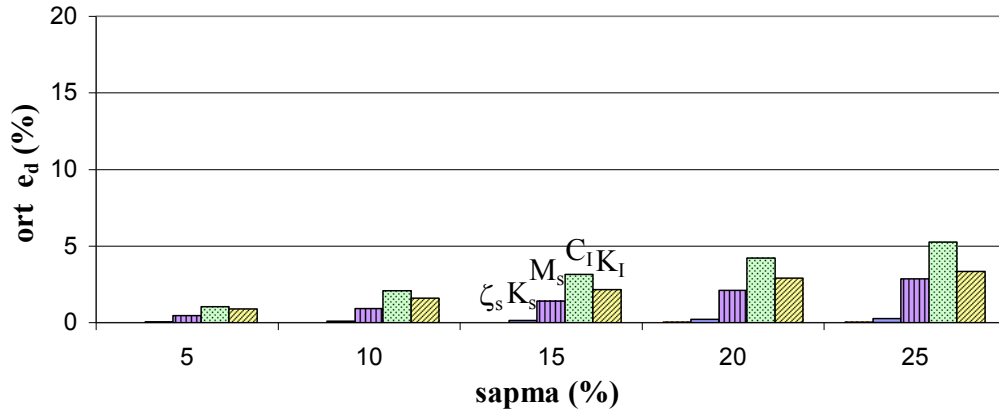


(b)

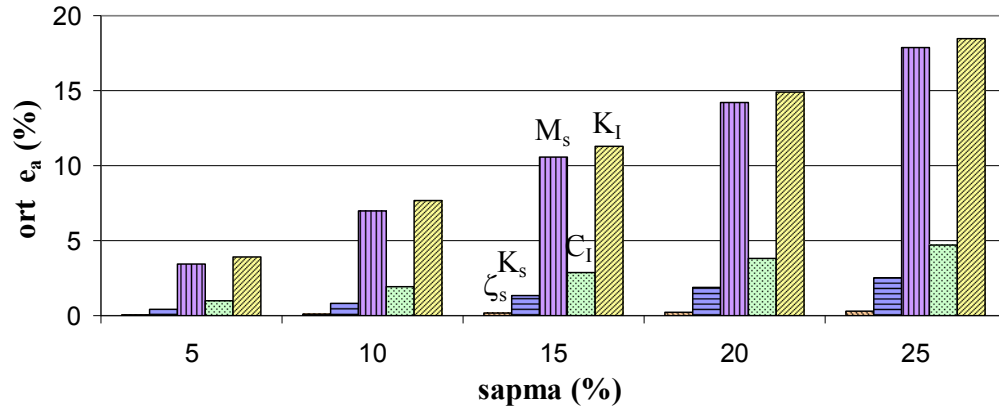


(c)

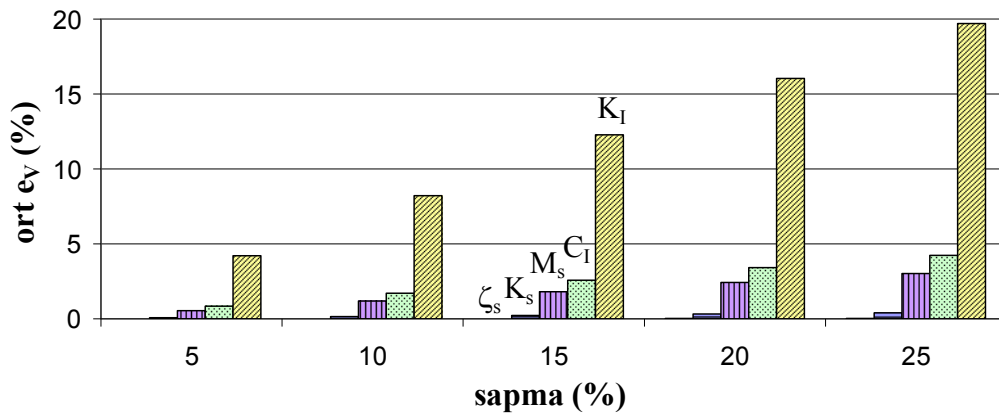
Şekil 4.35: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – KO depremi altında lineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.



(a)

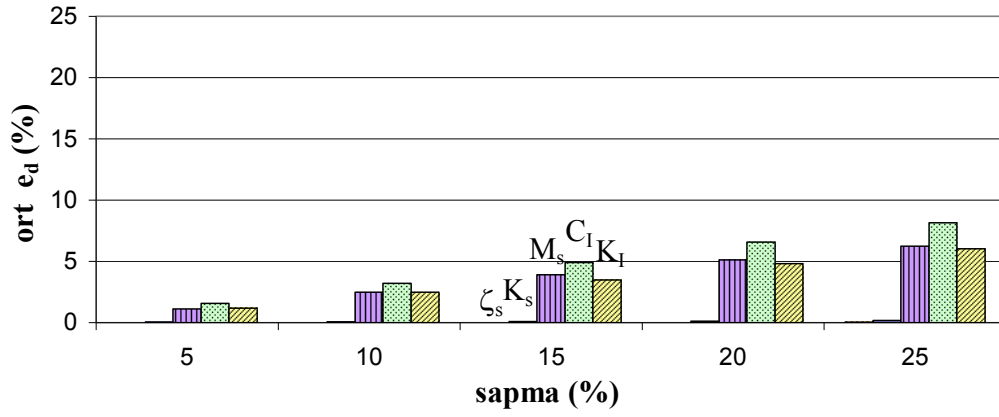


(b)

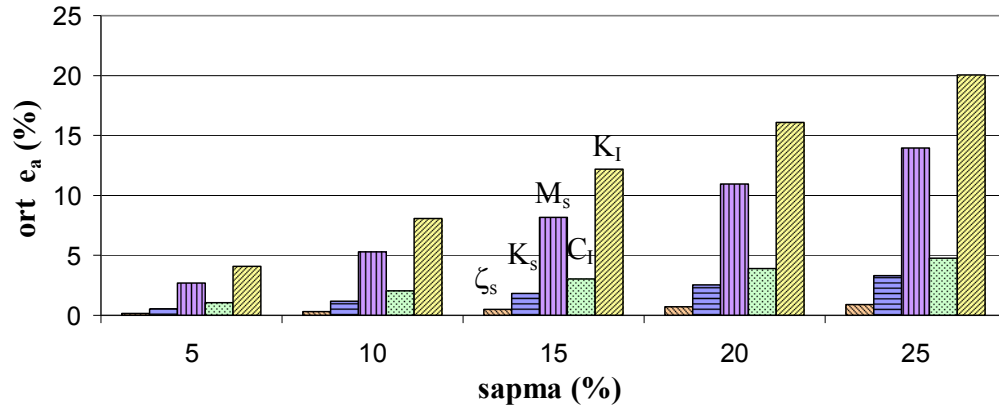


(c)

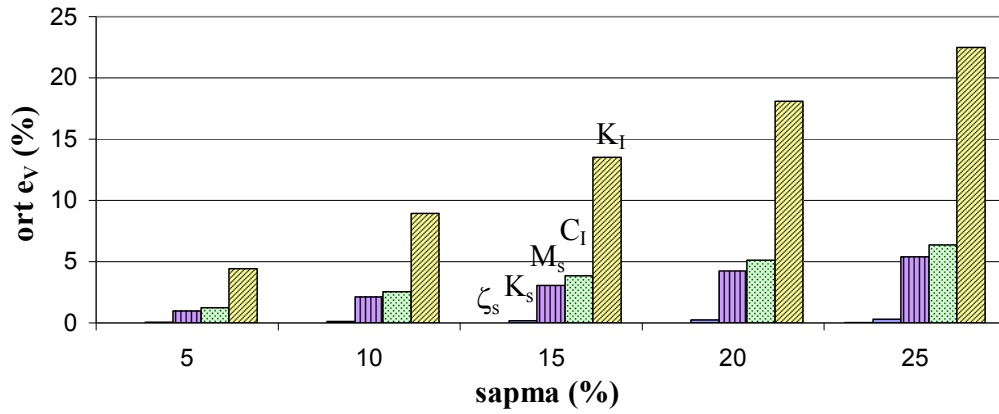
Şekil 4.36: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – RI depremi altında lineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.



(a)

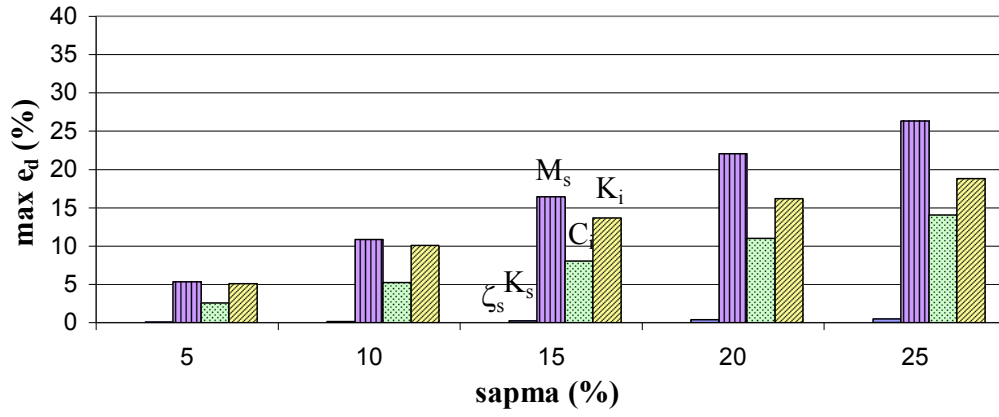


(b)

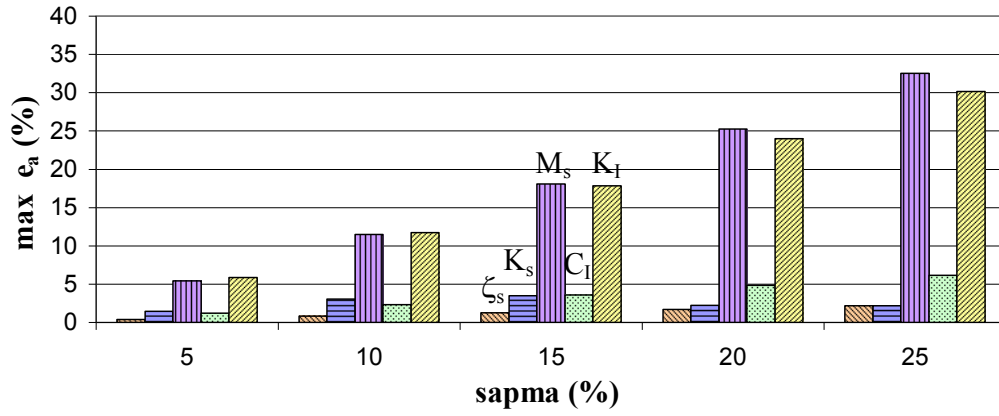


(c)

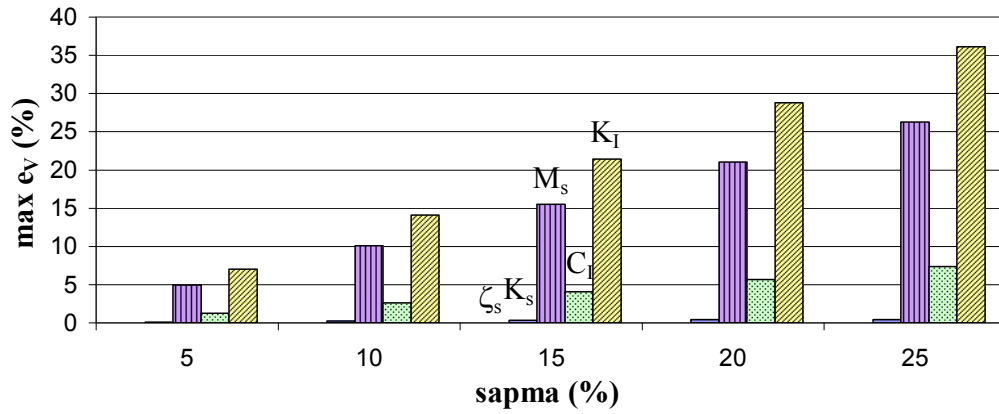
Şekil 4.37: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – SYL depremi altında lineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.



(a)

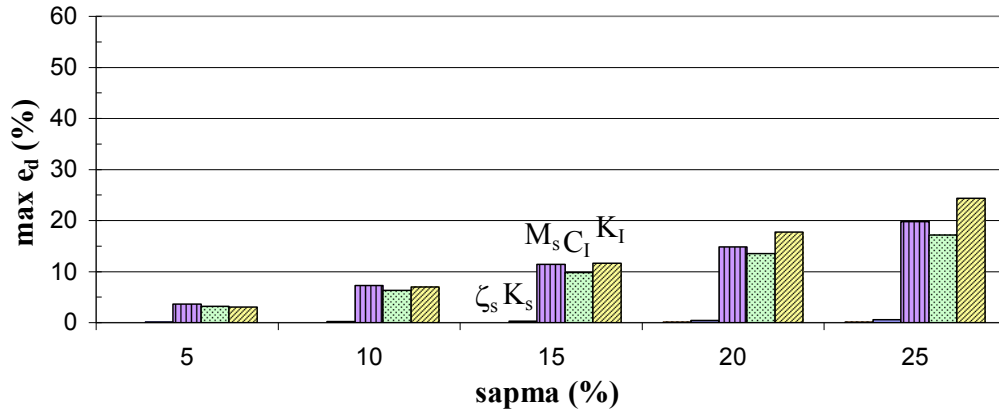


(b)

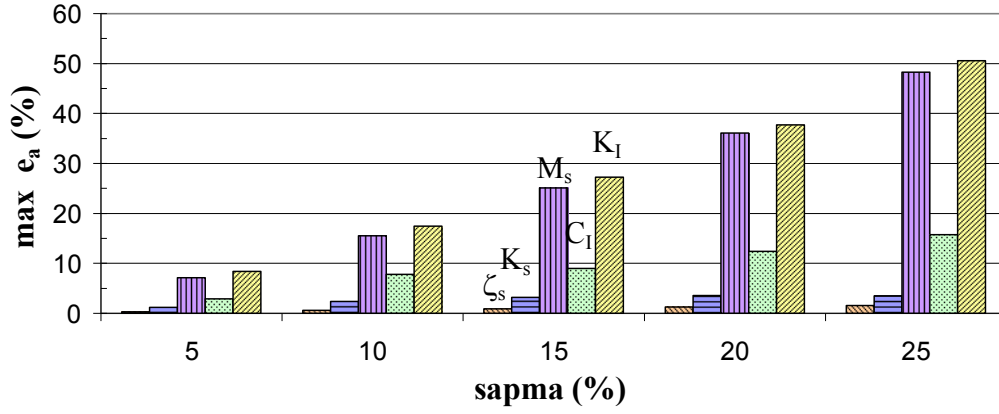


(c)

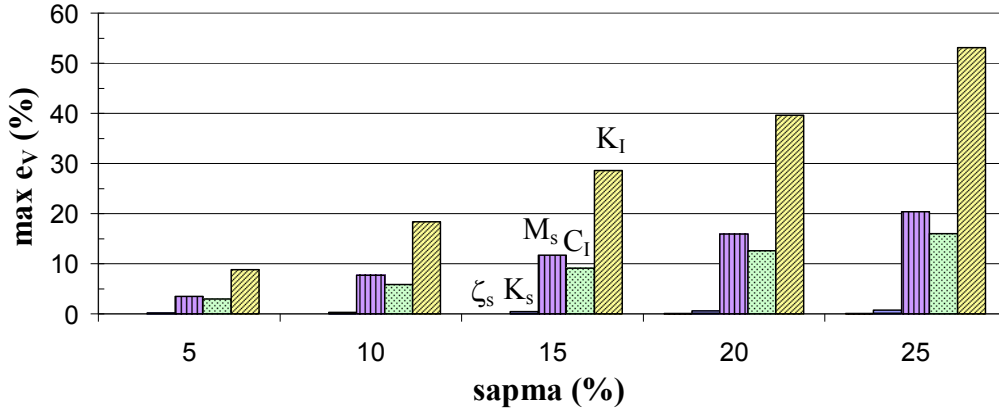
Şekil 4.38: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – EL depremi altında lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.



(a)

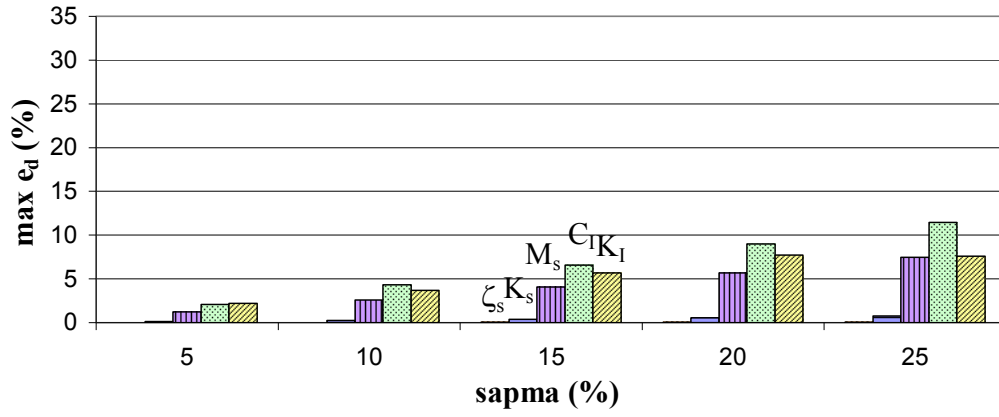


(b)

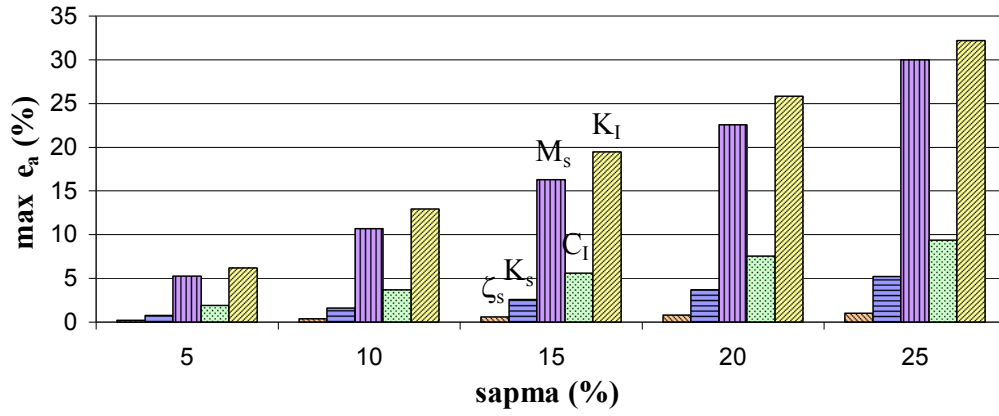


(c)

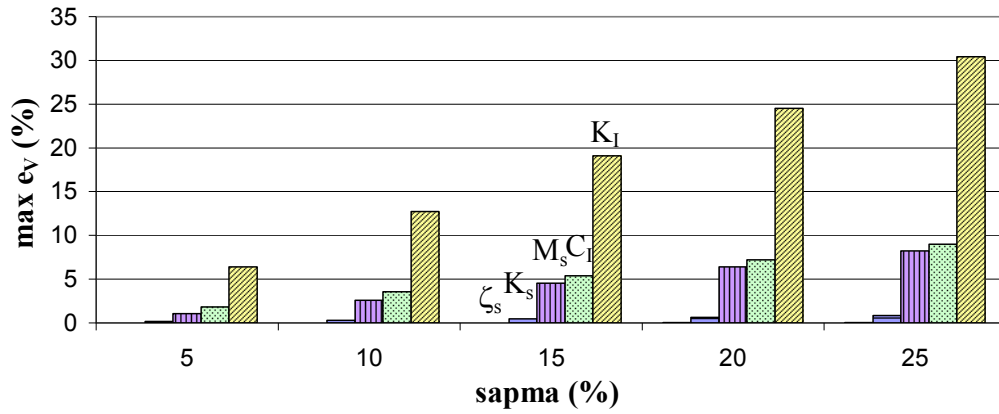
Şekil 4.39: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – KO depremi altında lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.



(a)

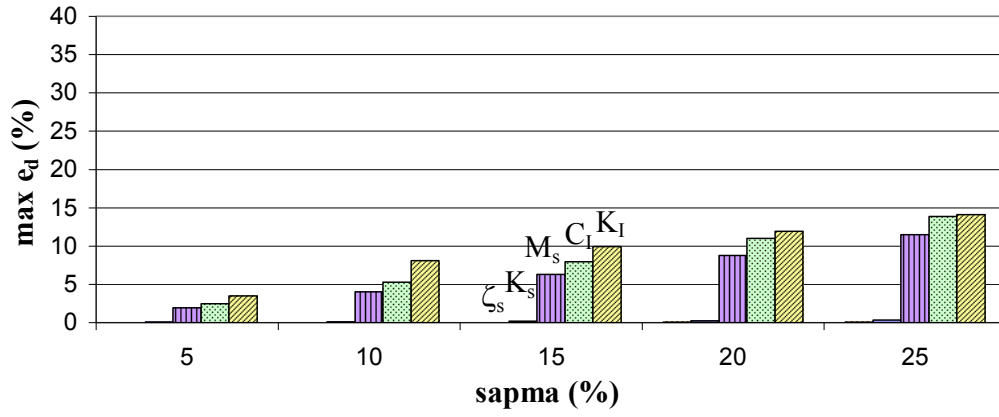


(b)

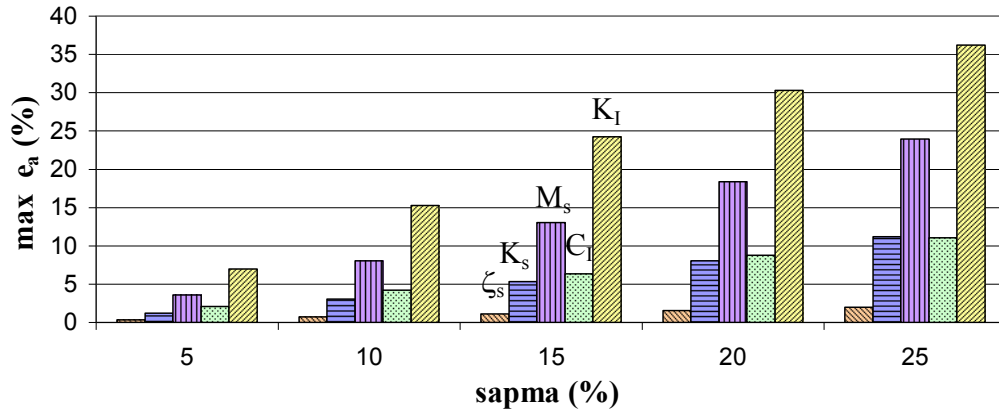


(c)

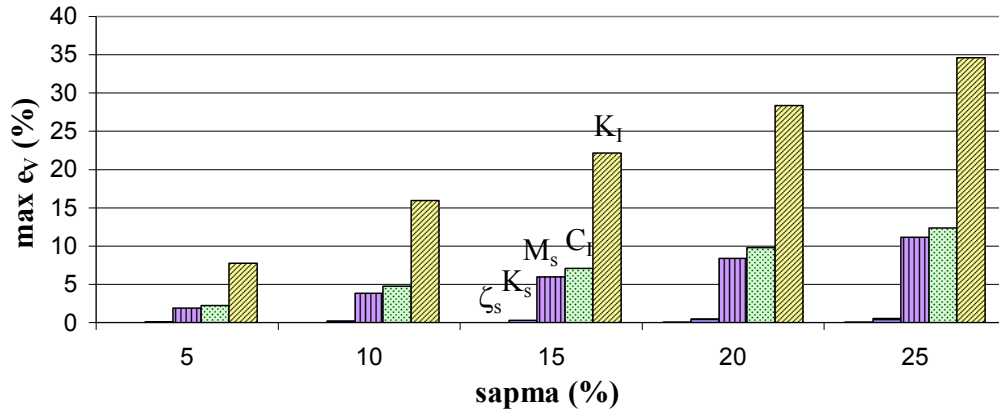
Şekil 4.40: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – RI depremi altında lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.



(a)

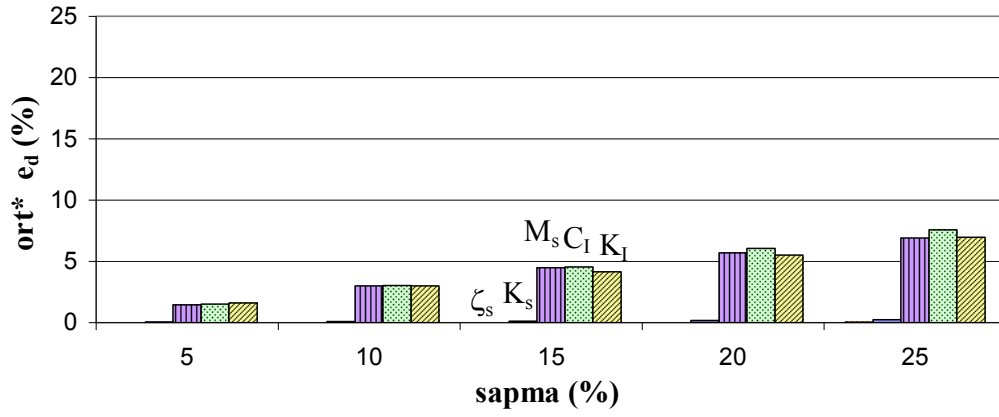


(b)

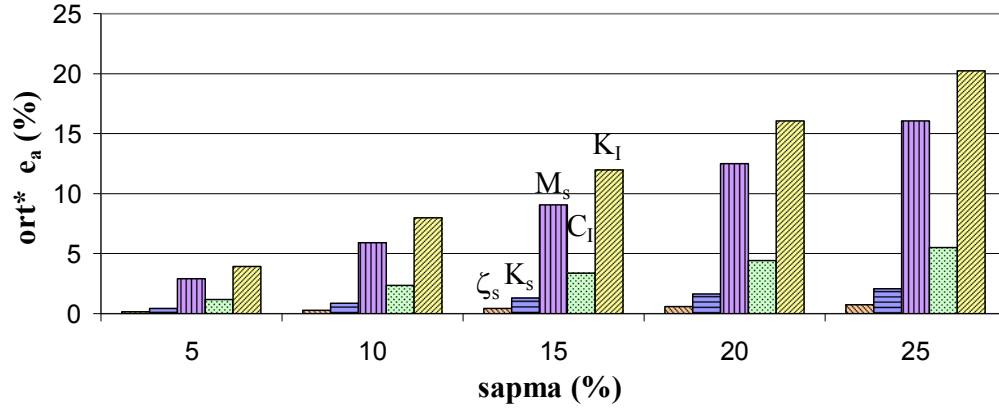


(c)

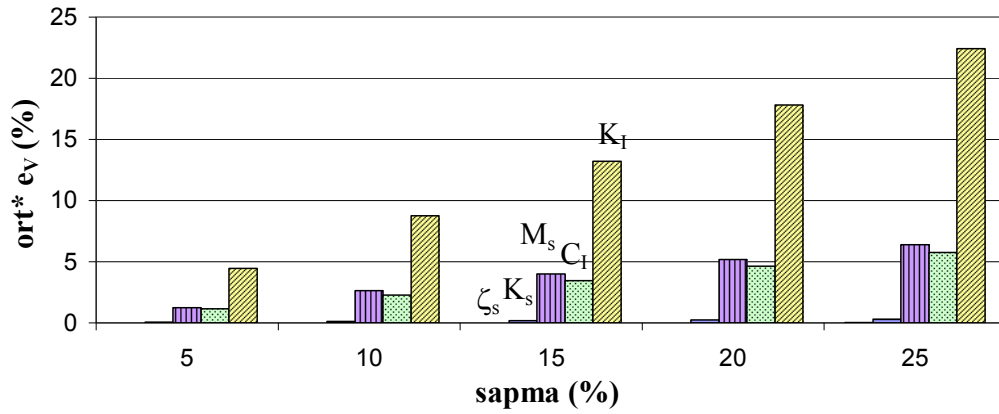
Şekil 4.41: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – SYL depremi altında lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.



(a)

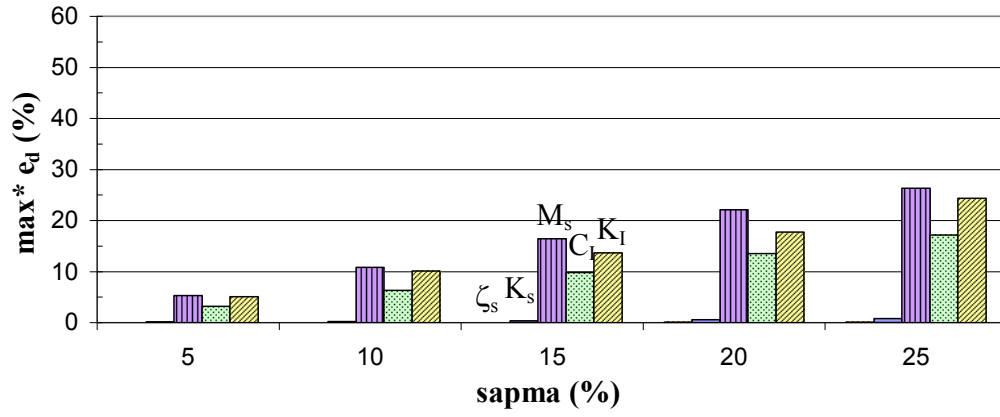


(b)

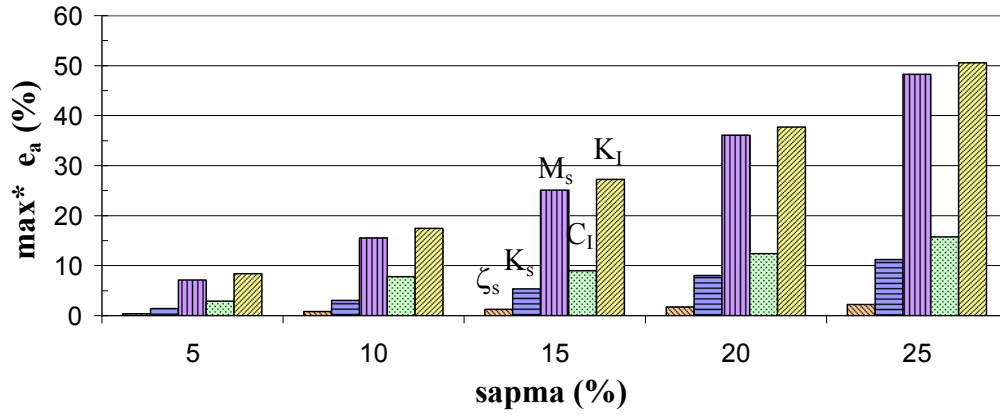


(c)

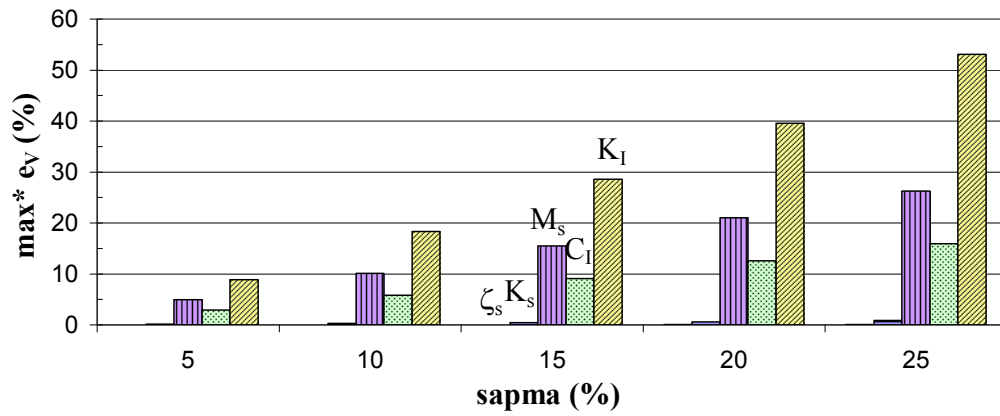
Şekil 4.42: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – Lineer izolasyon sistemlerindeki hataların tüm depremler ve sistemler için ortalamaları.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.43: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – Tüm depremler için lineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.

### 4.3.2 Lineer Olmayan İzolasyon Sistemine Ait Değerlendirmeler

#### 4.3.2.1. Her Bir Deprem İçin Tüm İzolasyon Sistemlerinin Hata Ortalamaları

Lineer olmayan sistemlere ait mekanik özelliklerde ( $d_y$ ,  $F_y$ ,  $\alpha$ ,  $M_s$ ,  $\zeta_s$  ve  $K_s$ ) meydana gelen sapmalara ( $\pm\%5$ ,  $\pm\%10$ ,  $\pm\%15$ ,  $\pm\%20$ ,  $\pm\%25$ ) bağlı olarak ortaya çıkan pik yapısal cevaplardaki mutlak değerce hata ortalamalarına (ort  $e_d$ , ort  $e_a$ , ort  $e_v$ ) ait karşılaştırmalı grafikler EL, KO, RI ve SYL depremleri için sırasıyla Şekil 4.44 - 4.47' de sunulmuştur.

EL depremi için, sapmalara bağlı olarak izolasyon sistemi deplasmanında, en üst kat ivmesinde ve taban kesme kuvvetinde meydana gelen hataların ortalamaları sırasıyla Şekil 4.44a-4.44c'de verilmiştir. Lineer sistemlerde olduğu gibi, nonlinear sistemlerde de üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranı yapısal cevabı en az etkileyen parametreler olmuştur. Ancak bu parametrelerin etkinliği -özellikle pik en üst kat ivmeleri üzerinde- lineer sistemdeki duruma kıyasla daha büyüktür. Tüm yapısal cevap parametrelerini en fazla etkileyen durum akma kuvvetinde meydana gelebilecek sapmalar olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 4.44a incelendiğinde, üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranında meydana gelen  $\%10$ 'luk küçük sapmaların izolasyon sistemi deplasmanı üzerinde etkisinin yok denecek kadar az olduğu (sırasıyla  $\%1.01$  ve  $\%0.25$ ),  $\%25$  sapma oranları için ise çok küçük olduğu (sırasıyla  $\%2.63$  ve  $\%0.63$ ) görülmüştür. Akma sonrası rijitliğinin akma öncesi rijitliğine olan oranındaki ( $\alpha$ ) sapmaların da izolasyon sistemi deplasmanını oldukça az ( $\%10$  kadar bir sapma için  $\%1.90$  ve  $\%25$  kadar bir sapmada  $\%4.30$  civarında) etkilediği görülmüştür. İzolasyon sistemi deplasmanı üzerindeki etkin parametrelerden  $F_y$ 'deki  $\%5$ 'lik sapmalarda hata oranları  $\%3.49$  ve  $M_s$ 'deki  $\%5$ 'lik sapmalarda  $\%3.10$  iken,  $\%25$ 'lik sapmalarda ise hata oranlarının sırasıyla  $\%14.95$  ve  $\%13.94$ 'e çıktığı görülmüştür. Akma yer değiştirmesindeki sapmaların da izolasyon sistemi deplasmanı üzerinde gözle görülür etkisinin olduğu,  $\%10$  kadar küçük sapmalarda  $\%5$ 'e yakın,  $\%25$  kadar büyük sapmalarda da  $\%10$ 'a yakın hata meydana geldiği görülmüştür. Şekil 4.44b incelendiğinde, en üst kat ivme değerlerini üst yapı rijitliğinin ve üst yapı sönüm oranının  $\%10$  sapma için sırasıyla  $\%6.13$  ve  $\%2.01$  etkilediği görülmüştür.  $\%25$  sapma için bu oranlar kayda değer miktarlara ulaşarak  $\%5$  ve  $\%14.31$  olmuştur. Bu deprem için,  $\alpha$  değerlerindeki sapmaların en üst kat ivme değerlerini az etkilediği ( $\%10$  sapmada  $\%0.64$  ve  $\%25$ 'lik sapmada  $\%1.62$ )

görülmektedir. En üst kat ivmesi üzerindeki en etkin parametreler sırasıyla  $F_y$ ,  $d_y$  ve  $M_s$  olmuş ve %25'lik sapmalarda ortaya çıkan hataların ortalamaları sırasıyla %25,47, %15,21, %11,26 ve %14.31'e ulaşmıştır. Şekil 4.34'teki (c) grafiğinden taban kesme kuvveti ile ilgili sonuçlar incelendiğinde, %10'luk sapmalarda  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmalarda yok denecek kadar küçük hata değerlerinin ortaya çıktığı görülmüştür (sırasıyla %0.09 ve %0.42). Bu küçük sapma miktarı için taban kesme kuvvetlerindeki en büyük ortalama hata oranına %6.74 ile  $F_y$  değerlerinde ulaşılmıştır. Taban kesme kuvveti üzerindeki en etkin parametrenin  $F_y$  olduğu bariz olarak ortaya çıkmış, bu parametredeki %25'lik sapmada oluşan hata oranı %17.34 iken, bir sonraki etkin parametre olan  $d_y$  için ancak %7 civarında hata tespit edilmiştir.

KO depremi altında (Şekil 4.45) yapısal cevap değerleri üzerindeki en etkin parametre yine  $F_y$  olmuştur. Bunu sırasıyla  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$  takip etmektedir. Şekil 4.45a incelendiğinde, diğer depremlerde olduğu gibi,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki %10 küçük sapmalara bağlı olarak izolasyon sistemi deplasmanında sifıra yakın hata ortaya çıkmıştır (en fazla  $K_s$ 'e bağlı 0.17). %25'lik sapmalarda da durum aynıdır ve  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki bu sapmalara bağlı olarak sırasıyla %0.09 ve %0.53 hata görülmüştür. %25 sapmada  $F_y$ 'de %15.03 hata ile zirve değerine ulaşılmıştır. Bu sapma oranı için,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$  parametrelerine bağlı olarak sırasıyla %14.48, %13.81 ve %12.65'lik hata değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 4.45b grafiğinden en üst kat ivme değerlerindeki hatalar incelendiğinde; izolasyon sistemi deplasmanı değerlerindeki hatalara oranla daha büyük hata değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Lineer sistemde de olduğu gibi  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerine bağlı sapmalarda izolasyon sistemi deplasmanındaki duruma göre hataların daha belirgin olduğu görülmüştür. %10 sapma için  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerine bağlı %1.29 ve %2.50 hata; %25 sapma için ise sırasıyla %3.34 ve %4.53 hata değerlerine ulaşılmıştır.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  dışındaki mekanik özelliklerdeki sapmaların en üst kat ivme değerlerinde önemli oranda hatalara sebep oldukları görülmüştür. %25'lik sapmalarda  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki sapmaların neden oldukları hatalar incelendiğinde sırasıyla, %30.41, %27.85, %25.02 ve %21.65 hata ortalamalarına ulaşıldığı görülmüştür. Şekil 4.45c grafiğinden taban kesme kuvvetindeki hatalar incelendiğinde,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmaların taban kesme kuvvetlerinde ciddi hatalar oluşturmadıkları ve en fazla %25'lik sapmada  $K_s$  için ancak %0.42 hata değerine ulaşıldığı görülmüştür.

Taban kesme kuvvetindeki ortalama hataların en büyük değerleri, % 25'lik sapmada  $F_y$ ,  $d_y$  ve  $\alpha$  için sırasıyla %30.71, %29.07 ve %27.26 olarak ortaya çıkmıştır.

RI depremi altında lineer olmayan izolasyon sistemlerinde mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı olarak, izolasyon sistemi deplasmanında, en üst kat ivmesinde, taban kesme kuvvetinde meydana gelen hataların ortalamaları sırasıyla Şekil 4.46a-c grafiklerinde verilmiştir. Şekil 4.46a incelendiğinde, izolasyon sistemi deplasmanındaki ortalama hataların  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerinden önemli ölçüde etkilenmediği görülmüştür. Herhangi bir parametrede %10'luk küçük sapmaların izolasyon sistemi deplasmanı üzerindeki etkilerinin %5'e dahi varmadığı ve %25'lik sapmalarda da en etkin parametreler olan  $F_y$  ve  $M_s$ 'deki sapmalara bağlı olarak %9.51 ve %7.46 ortalama hata ortaya çıktığı görülmüştür. Şekil 4.46b grafiğinde sunulan en üst kat ivme değerlerindeki hatalar incelendiğinde, izolasyon sistemi deplasmanındaki hata oranlarına göre daha yüksek hata oranlarına ulaşılmıştır. En az hatanın oluştuğu  $\zeta_s$  ve  $K_s$ 'de bile izolasyon sistemi deplasmanının aksine %10'luk sapmada hata değerlerinin daha belirgin olduğu ve sırasıyla %1.26 ve %1.79'a ulaşıldığı görülmüştür.  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki sapmalar daha önemli hatalara sebep olmuş, %25 sapma için sırasıyla %24.30, %20.31, %18.90 ve %20.11 hata ortalamalarına ulaşılmıştır. Şekil 4.46c grafiğinden taban kesme kuvvetindeki hatalar incelendiğinde,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmaların kesme kuvveti üzerinde ciddi etkisinin olmadığı ve  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$ 'daki sapmaların taban kesme kuvvetinde belirgin hatalara sebep olduğu görülmüştür. Bu mekanik özelliklerde %25'lik sapmada sırasıyla %20.78, %18.66 ve %18.70 hata oranlarına ulaşılmıştır. %10 kadar küçük sapmalarda ise bu parametreler %7 ~ %10 hataya sebep olmuştur.

SYL depremi altında (Şekil 4.47), (a) grafiğinden izolasyon sistemi deplasmanındaki hataların %10'a kadar sapmalar için %5'den küçük hatalara sebep oldukları,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerindeki sapmaların ise nerdeyse hiç hataya sebep olmadıkları görülmüştür. En fazla ortalama hata ise, %25'lik sapmada  $F_y$  ve  $M_s$  değerlerindeki sapmalara bağlı olarak ortaya çıkan sırasıyla %10.08 ve %8.19 hata oranlarıdır. Şekil 4.47b grafiğinden en üst kat ivme değerlerindeki hatalar incelendiğinde; lineer sistemlerde de olduğu gibi izolasyon deplasmanı değerlerindeki hata oranlarına kıyasla daha büyük hata oranlarına ulaşıldığı görülmüştür. %10'luk sapma için  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerine bağlı olarak diğer

mekanik parametrelere kıyasla düşük de olsa en üst kat ivme değerlerinde hata oluştuğu ve sırasıyla %1.49 ve %1.58 değerlerinde kaldığı, %25'lik sapmalarda ise hatanın artarak sırasıyla %3.87 ve %3.49 değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. En büyük ortalama hatalara ise  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki %25'lik sapmalarda sırasıyla %19.58, %19.86, %19.19 ve %14.51 değerleri ile ulaşılmıştır. Şekil 4.47c grafiğinden taban kesme kuvvetindeki hatalar incelendiğinde,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmaların taban kesme kuvvetini hemen hemen hiç etkilemediği görülmüş ve diğer mekanik özelliklere göre en büyük hata oranlarına  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$ 'daki %25 sapmalarda sırasıyla %18.89, %20.36 ve %20.89 değerleri ile ulaşıldığı görülmüştür.

#### 4.3.2.2. Her Bir Deprem İçin Tüm İzolasyon Sistemleri Arasındaki En Büyük Hatalar

Nonlinear sistemlere ait mekanik özelliklerde ( $d_y$ ,  $F_y$ ,  $\alpha$ ,  $M_s$ ,  $\zeta_s$  ve  $K_s$ ) meydana gelen sapmalara ( $\pm\%5$ ,  $\pm\%10$ ,  $\pm\%15$ ,  $\pm\%20$ ,  $\pm\%25$ ) bağlı olarak ortaya çıkan pik yapısal cevaplardaki mutlak değerce hataların tüm izolasyon sistemleri arasındaki en büyük değerleri ( $\max e_d$ ,  $\max e_a$ ,  $\max e_v$ ) karşılaştırmalı grafikler olarak EL, KO, RI ve SYL depremleri için sırasıyla Şekil 4.48 - 4.51'de sunulmuştur. Bu grafiklerin verilmesinin amacı, yukarıda detaylı bir şekilde tartışılan ortalama değerlerin -izolasyon sistemi tipine bağlı olarak- ne kadar üzerine çıkılabileceğini görmek ve pik yapısal cevaplarda ortaya çıkabilecek en büyük hata oranlarını ortaya koymaktır.

EL depremi için sunulan Şekil 4.48 incelendiğinde, üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranında meydana gelen %10'luk küçük sapmaların izolasyon sistemi deplasmanında oluşturabileceği en büyük hatalar (Şekil 4.48a) sırasıyla %2.66 ve %0.78 olmuştur. %25'lik sapmalar içinse %6.99 ve %2.05 hata oranları ortaya çıkmıştır. Özellikle yapı kütlesi ( $M_s$ ) ve akma dayanımındaki ( $F_y$ ) sapmaların izolasyon deplasmanını en fazla etkiledikleri görülmüştür.  $F_y$  ve  $M_s$ 'deki %25'lik büyük sapmalarda ortaya çıkabilecek en büyük hata oranları sırasıyla %42.92 ve %27.71 gibi önemli oranlardır. En üst kat ivmeleri ile ilgili sonuçların sunulduğu Şekil 4.48b'den üst yapı rijitliğinin ve üst yapı sönüm oranının da etkin olduğu (% 10 sapma için sırasıyla %8.72 ve %3.05 ve %25 sapma için sırasıyla %22.16 ve %8.01) görülmüştür.  $\alpha$  değerlerindeki sapmaların en üst kat ivmesini %10 sapmada en fazla %1.50 ve %25'lik sapmada ise en fazla %3.67 etkilemiştir.  $F_y$ ,  $d_y$  ve  $M_s$ 'deki %25'lik sapmaların ciddi hatalara neden olduğu görülmüş ve muhtemel en büyük hatalar sırasıyla %33.19, %37.29, %26.84 ve %22.16 olarak

hesaplanmıştır. Şekil 4.48c taban kesme kuvvetinde meydana gelebilecek en büyük hataları göstermektedir. İzolasyon sistemi deplasmanı ve en üst kat ivme değerlerine oranla taban kesme kuvvetinde daha düşük hata oranlarına ulaşıldığı görülmüştür. En büyük hata değerlerine, %25'lik sapmalarda,  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $M_s$ 'de sırasıyla %24.79, %15.76 ve %15.78 değerleri ile ulaşılmıştır.

KO depremi için (Şekil 4.49) etkinliği en az olan parametrelerin yine  $\zeta_s$  ve  $K_s$  olduğu, izolasyon sistemi deplasmanı ve taban kesme kuvveti üzerinde bu parametrelerde meydana gelebilecek çok büyük sapmaların dahi kayda değer bir hata oluşturmadığı, en üst kat ivmesinde ise ancak büyük (%20 ~ %25) sapmalarda oluşabilecek en büyük hataların kayda değer (%10 ~ %12) olduğu görülmüştür. Şekil 4.49a incelendiğinde, oluşabilecek en büyük hataların  $F_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'e bağlı olarak yaklaşık aynı olduğu ve en etkin parametre olan  $d_y$ 'de %25 sapmada %46.51 hata ile zirve değerine ulaşıldığı görülmüştür. Aynı büyük sapma oranı için  $F_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$  değerlerindeki sapmaya bağlı sırasıyla %30.77, %32.81 ve %32.63 hata değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 4.49b grafiğinden en üst kat ivmelerindeki hatalar incelendiğinde; izolasyon sistemi deplasmanındaki hatalara göre çok daha büyük hata değerleri olduğu görülmüştür.  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$  parametrelerinde %15 kadar orta seviyede bir sapma olması durumunda oluşabilecek en büyük hata oranları %25 ila %30 seviyelerindedir. Daha da çarpıcı olmak üzere, bu parametrelerde %25 sapma olması durumunda sırasıyla %54.11, %74.12, %49.64 ve %51.53'lük hata değerleri ortaya çıkmıştır. Şekil 4.49c grafiğinden taban kesme kuvveti değerlerindeki hatalar incelendiğinde, en büyük hatalar %25'lik sapmada  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$  parametrelerinde sırasıyla %56.77 %78.75, %53.11 ve %26.95'lik hata değerleriyle ortaya çıkmıştır.

RI depremi altında sapmalara bağlı olarak, izolasyon sistemi deplasmanında, en üst kat ivmesinde ve taban kesme kuvvetinde meydana gelen hataların en büyük değerleri sırasıyla Şekil 4.50a - 4.50c grafiklerinde verilmiştir. Şekil 4.50a incelendiğinde,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapmaların izolasyon sistemi deplasmanı üzerinde etkilerinin olmadığı görülmüştür. En etkin parametreler olan  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki %25 sapmalarda ise %19.79, %10.37, %10.41 ve %12.75 değerleri ile ortaya çıkmıştır. Şekil 4.50b grafiğinden en üst kat ivme değerlerindeki hatalar incelendiğinde, izolasyon sistemi deplasmanındaki hata oranlarına göre daha yüksek hata oranlarına ulaşılmış ve en az

hatanın olduğu  $\zeta_s$  ve  $K_s$ 'de bile izolasyon sistemi deplasmanının aksine %10'luk küçük sapmada hata değerlerinin belirginleşmeye başladığı ve sırasıyla en fazla %2.96 ve %3.48 değerlerine, %25'lik büyük sapsmalarda ise %8.35 ve %6.17 değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Ayrıca,  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki sapsmaların büyük hata değerlerine neden olabildikleri ve sırasıyla, %35.71, %38.35, %30.30 ve %31.16'lık en büyük hata değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Şekil 4.50c grafiğinden taban kesme kuvveti değerlerindeki hatalar incelendiğinde; yine  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerindeki sapsmaların kesme kuvveti üzerinde etkisinin olmadığı ve  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$ 'daki sapsmaların taban kesme kuvveti üzerinde etkisinin olduğu görülmüş ve bu mekanik özelliklerde %25'lik sapsmada sırasıyla %31.24, %35.05 ve %28.89'luk hata oranları ile en büyük hata değerlerine ulaşılmıştır.

SYL depremi altında izolasyon sistemi deplasmanının duyarlılığı Şekil 4.51a'da sunulmuştur.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerine karşı önemli bir duyarlılığın olmadığı, diğer tüm parametrelerin etkinliğinin yaklaşık aynı olup %10 sapma için %5 civarında hataya sebep oldukları görülmüştür. En büyük hata değerlerinin  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'de %25'lik sapsmada %17.21, %12.27, %12.42 ve %16.96 olduğu görülmüştür. En üst kat ivme değerlerindeki hatalar incelendiğinde (Şekil 4.51b),  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerinde %10'luk sapma için en büyük hata oranlarının %2.37 ve %3.35 değerlerinde kaldığı, %25'lik sapsmalarda ise sırasıyla %6.86 ve %7.27 en büyük hata oranlarına ulaşıldığı görülmüştür. Grafikteki en büyük hatalara ise  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki %25'lik sapsmalarda sırasıyla %31.34, %32.60, %24.63 ve %29.76 değerleri ile ulaşılmıştır. Şekil 4.51c'da taban kesme kuvvetinin duyarlılığı sunulan grafikte  $\zeta_s$  ve  $K_s$ 'deki sapsmaların taban kesme kuvvetini çok az etkilediği görülmüş ve diğer mekanik özelliklere göre en büyük hata oranlarına  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$ 'daki sapsmalarda ve %25 sapma için sırasıyla %29.27, %32.23 ve %26.94 değerleri ile ulaşıldığı görülmüştür.

#### 4.3.2.3. Tüm Depremler ve Tüm İzolasyon Sistemleri İçin Hata Ortalamaları

Her bir deprem için yukarıda ayrı ayrı rapor edilen tüm nonlineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamalarının ortalamaları (tüm depremler üzerinden ortalamalar) bu kısımda sunulmuştur. Bu şekilde hesaplanan pik izolasyon sistemi deplasmanındaki, pik en üst kat ivmesindeki ve pik taban kesme kuvvetindeki tüm depremler ve tüm

izolasyon sistemleri için hata ortalamaları sırasıyla  $ort^* e_d$ ,  $ort^* e_a$  ve  $ort^* e_v$  ile temsil edilmiş ve karşılaştırmalı olarak Şekil 4.52'de sunulmuştur.

Pik izolasyon sistemi deplasmanı ile ilgili durum incelendiğinde (Şekil 4.52a), en etkin iki parametre  $F_y$  ve  $M_s$  olmuş, bunları takip eden parametreler ise  $\alpha$  ve  $d_y$  olmuştur.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametreleri ise neredeyse hiçbir etkiye sahip değildir. %5 ile %10 sapma durumlarında bahsedilen parametrelerdeki sapmaların sebep olduğu hatalar %3 ile %5 arasında kalırken, %20 ile %25 büyük sapmalarda hata oranları ancak %5 ile %12 arasına yükselmiştir. Hata ortalamalarının en büyük değerlerine  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki %25 sapmalarda sırasıyla %12.39, %8.51, %7.04 ve %10.56 hata değerleri ile ulaşılmıştır.

Pik en üst kat ivmesinin duyarlılığı incelendiğinde (Şekil 4.52b), en etkin iki parametre  $F_y$  ve  $d_y$  olmuş, bunları takip eden parametreler ise  $M_s$  ve  $\alpha$  olmuştur.  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametreleri sınırlı da olsa bir etkiye sahiptir. %5 kadar çok küçük sapmada ortalama hatalar %1 ile %5 arasında kalmıştır. %10 sapma durumlarında ise hata oranı aralığı %2 ile %10 kadar olmuştur. En az etkin parametre olan  $\zeta_s$  ve  $K_s$  değerlerinde olabilecek %25 sapmalar sırasıyla ancak %3.89 ve %6.35 kadar hataya sebep olmuştur. Öte yandan,  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki büyük (%25) sapma durumlarında sırasıyla %24.94, %20.81, %16.18 ve %16.88 hata ortaya çıkmıştır.

Taban kesme kuvvetleri ile ilgili durumun sunulduğu Şekil 4.52c grafiği incelendiğinde ise,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerinin hiçbir etkisinin olmadığı görülmüştür. Diğer etkin parametrelerden  $F_y$ ,  $d_y$  ve  $\alpha$ 'da oluşabilecek %5 sapma %3 ile %5 arasında, %10 sapma ise %7 ile %9 arasında hataya sebep olmaktadır. Hata ortalamalarının en büyük değerlerinin  $F_y$ ,  $d_y$  ve  $\alpha$ 'da %25'lik sapmada meydana gelen %21.93, %18.73 ve %17.46 hata değerleridir.  $M_s$  parametresinin etkinliği görece olarak daha düşüktür ve %25 sapmada oluşturduğu hata %6.63 civarında kalmıştır.

#### 4.3.2.4. Tüm Depremler ve Tüm İzolasyon Sistemleri Arasındaki En Büyük Hatalar

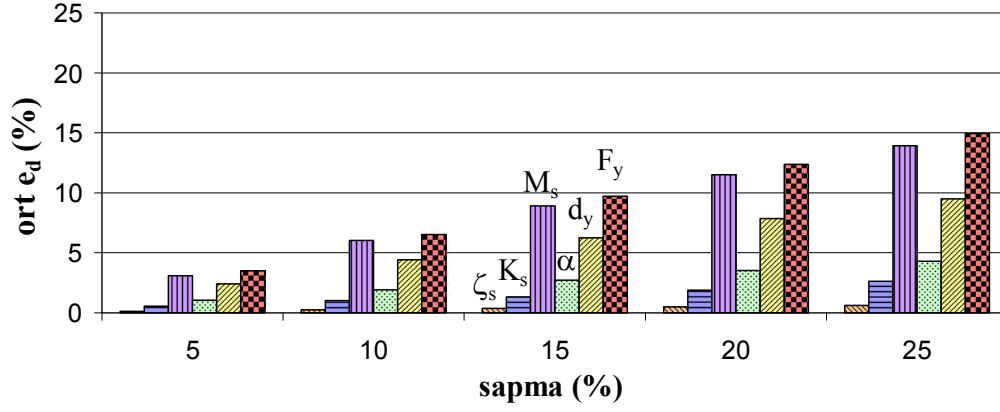
Her bir deprem için yukarıda ayrı ayrı rapor edilen tüm nonlineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hataların en büyük değerleri (tüm depremler arasındaki en büyük hatalar) bu kısımda sunulmuştur. Bu şekilde hesaplanan pik izolasyon sistemi

deplasmanındaki, pik en üst kat ivmesindeki ve pik taban kesme kuvvetindeki tüm depremler ve tüm izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar sırasıyla  $\max^* e_d$ ,  $\max^* e_a$  ve  $\max^* e_v$  ile temsil edilmiş ve karşılaştırmalı olarak Şekil 4.53'te sunulmuştur.

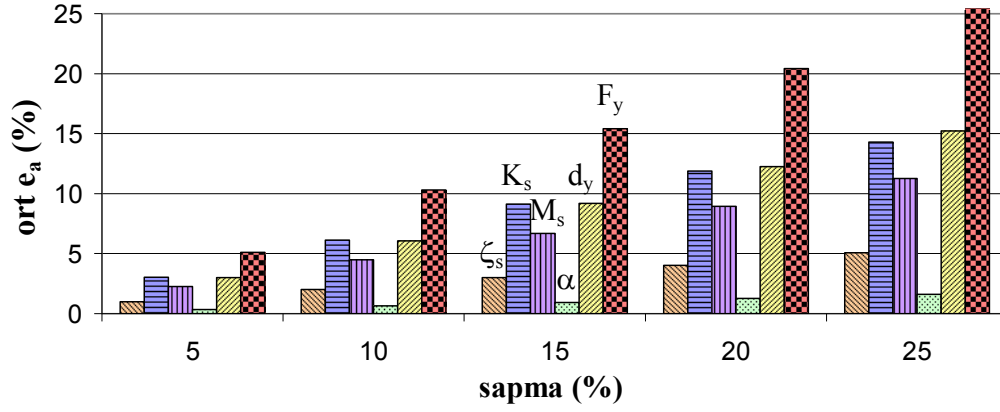
Şekil 4.53a'da, izolasyon sistemi deplasmanlarında oluşabilecek en büyük hatalar görülmektedir.  $\zeta_s$  ve  $K_s$ 'de oluşabilecek sapmaların neden olabileceği en büyük hatalar dahi ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Daha etkili olan  $K_s$ 'deki orta seviyedeki %15 sapma için %4.17 civarında, %25 sapma için %6.99 civarında hata olmaktadır.  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki %5 sapmalarda % 6 civarında, %15 sapmalarda %20 civarında hata ortaya çıkmıştır. En büyük hata değerleri ise  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki %25 sapmalarda sırasıyla %42.92, %46.51, %32.81 ve %32.63 olarak görülmüştür.

Şekil 4.53b'deki en üst kat ivme değerleri incelendiğinde  $\zeta_s$  ve  $K_s$  parametrelerinin meydana getirdiği hata oranlarının daha belirgin olduğu, %10 sapma için sırasıyla %3.05 ve % 8.72, %25'lik sapmalarda ise %8.35 ve %22.16 değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. En büyük hata değerlerinin ise  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki %25'lik sapmalarda sırasıyla %54.11, %74.12, %49.64 ve %51.53 olduğu görülmüştür.

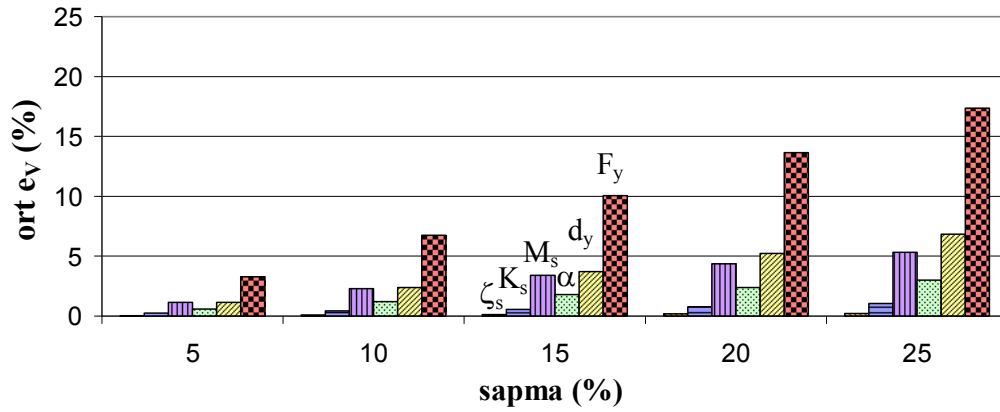
Şekil 4.53c'de sunulan grafik incelendiğinde ise,  $\zeta_s$  ve  $K_s$  taban kesme kuvvetini neredeyse hiç etkilemediği görülmüştür. Diğer parametrelerden en etkin olanları  $F_y$ ,  $d_y$  ve  $\alpha$  olmuştur. Orta seviyede etkinlik ise  $K_s$  parametresine aittir.  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki %10'luk küçük sapmalar %10 ila %20 aralığında hataya sebep vermiştir. En büyük hata değerleri ise  $F_y$ ,  $d_y$ ,  $\alpha$  ve  $M_s$ 'deki %25 sapmalarda sırasıyla oluşan %56.77, %78.75, %53.11 ve %26.95 hata değerleridir.



(a)

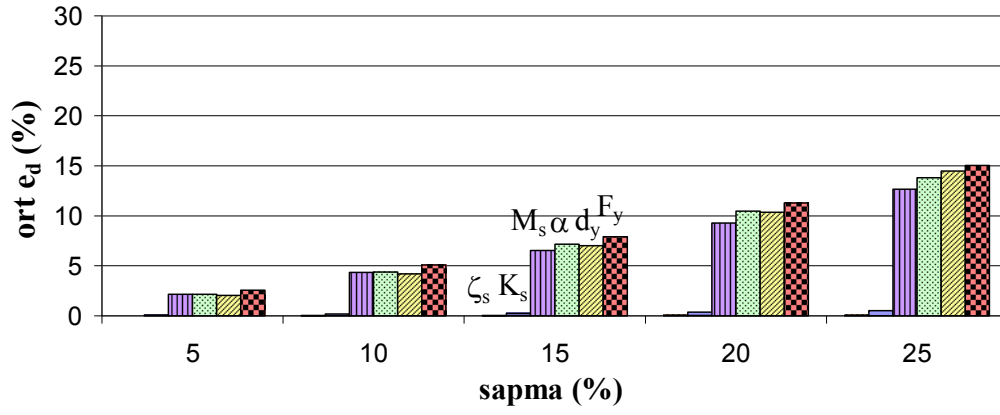


(b)

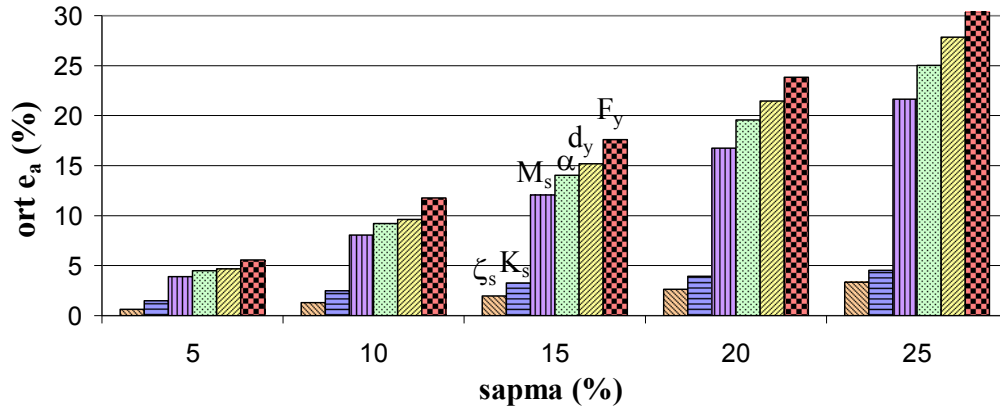


(c)

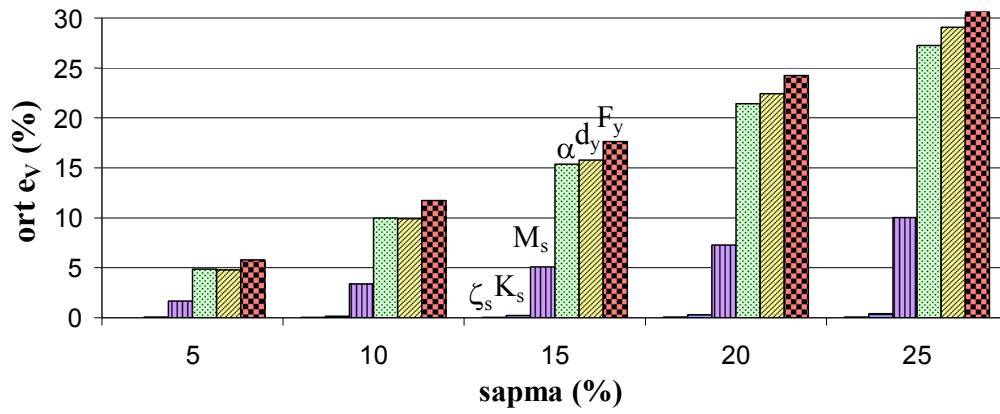
Şekil 4.44: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – EL depremi altında nonlineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.



(a)

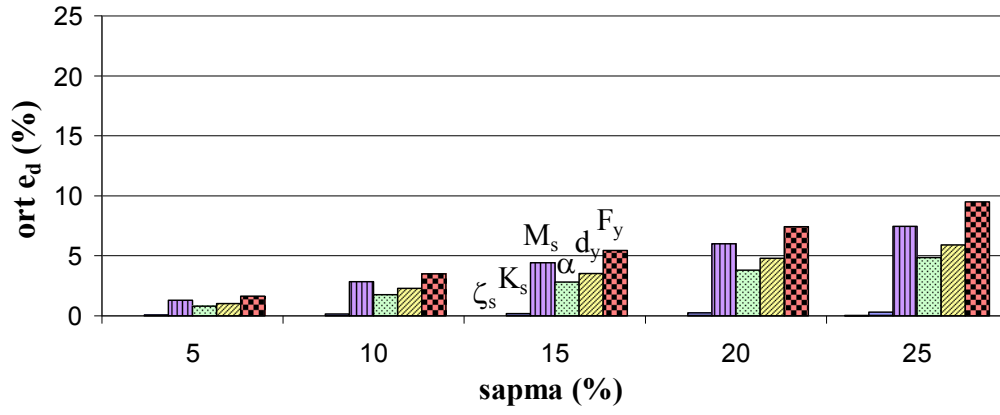


(b)

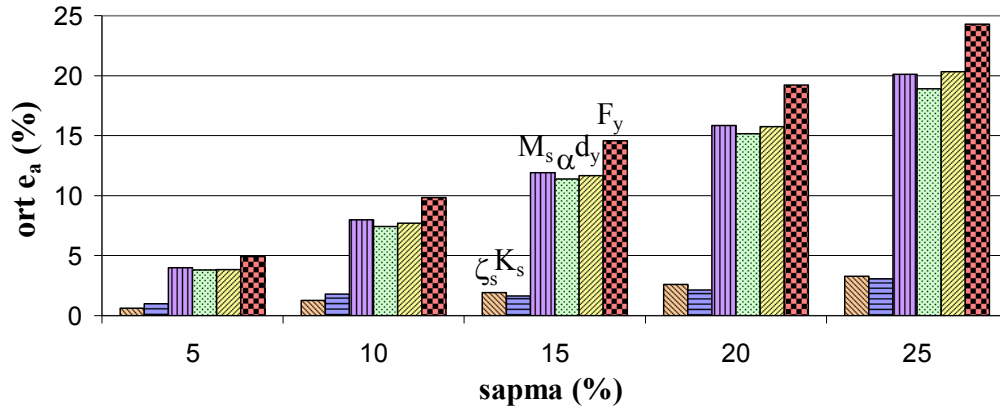


(c)

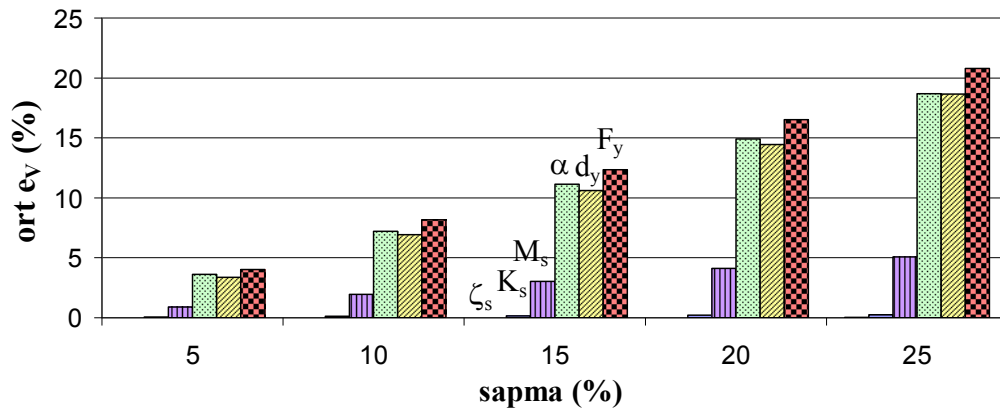
Şekil 4.45: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – KO depremi altında nonlineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.



(a)

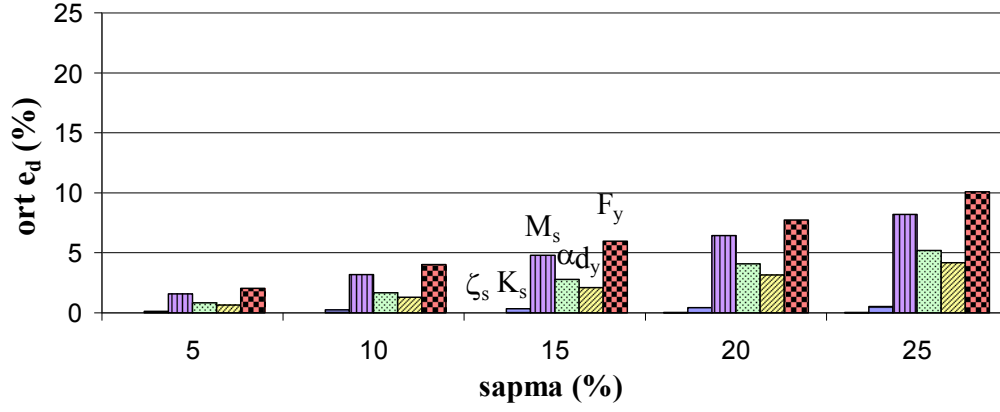


(b)

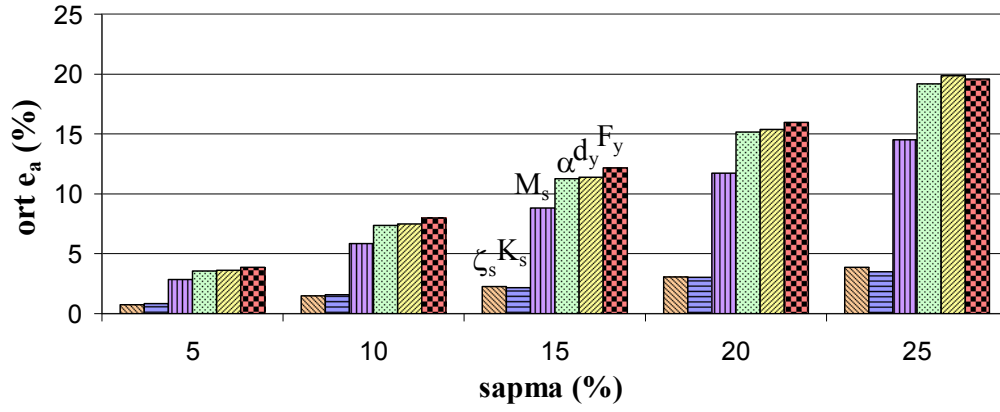


(c)

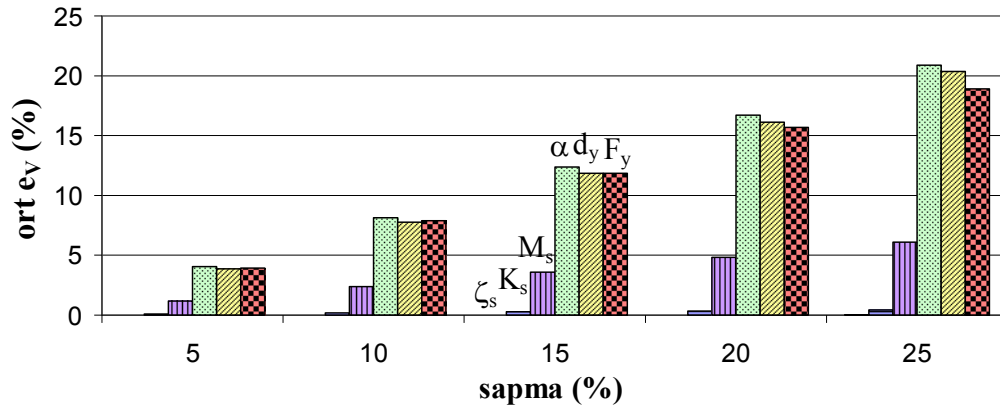
Şekil 4.46: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – RI depremi altında nonlineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.



(a)

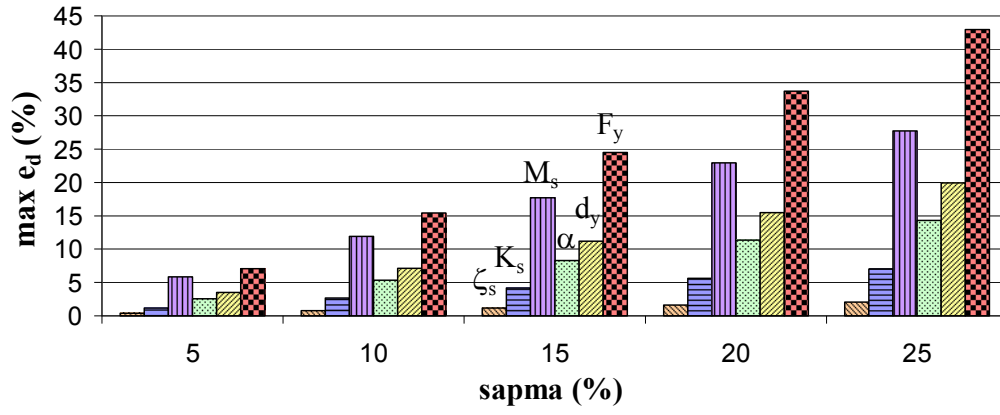


(b)

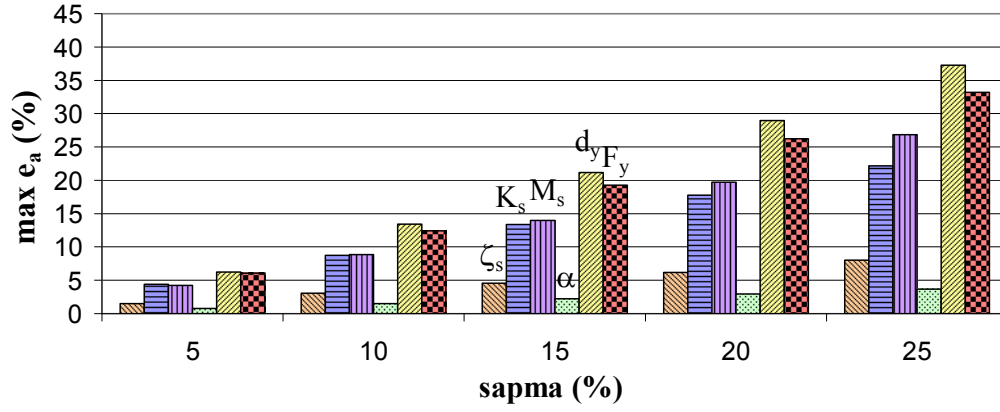


(c)

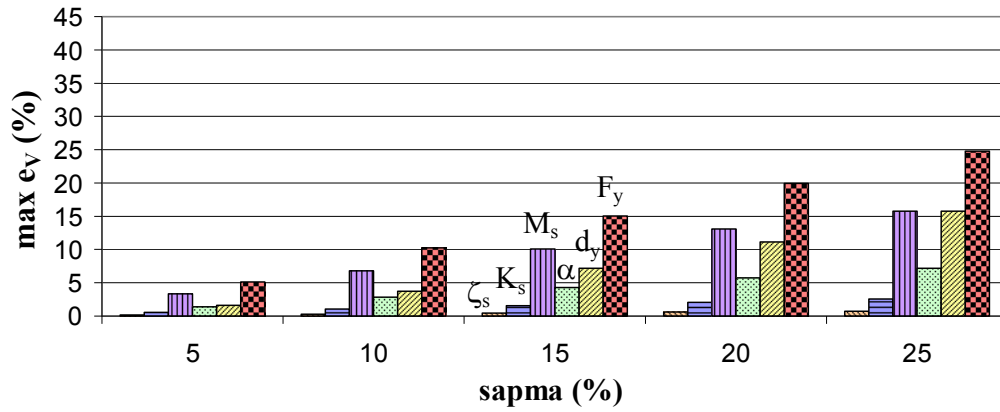
Şekil 4.47: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – SYL depremi altında nonlineer izolasyon sistemlerinin hata ortalamaları.



(a)

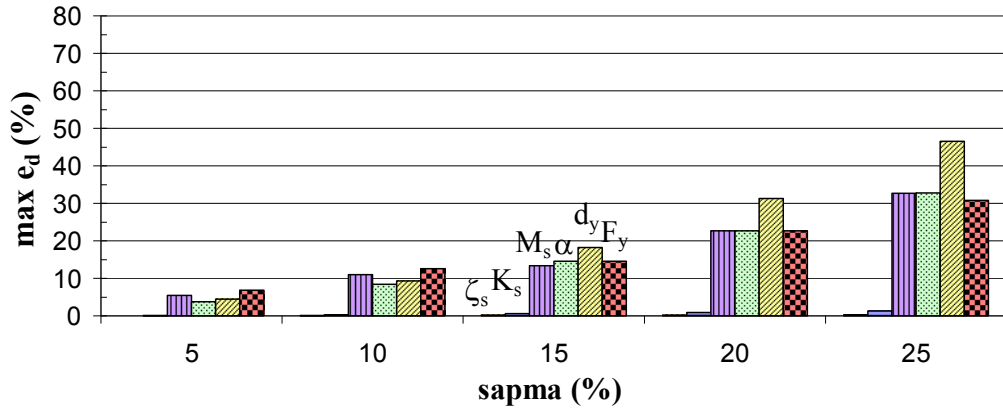


(b)

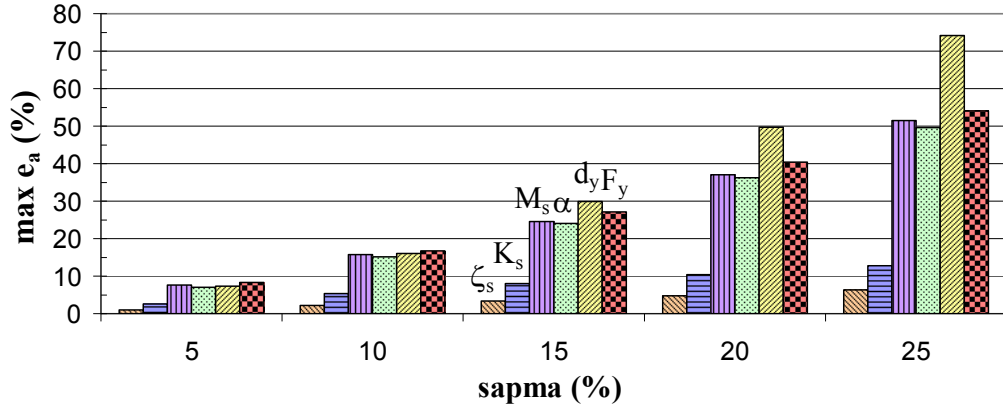


(c)

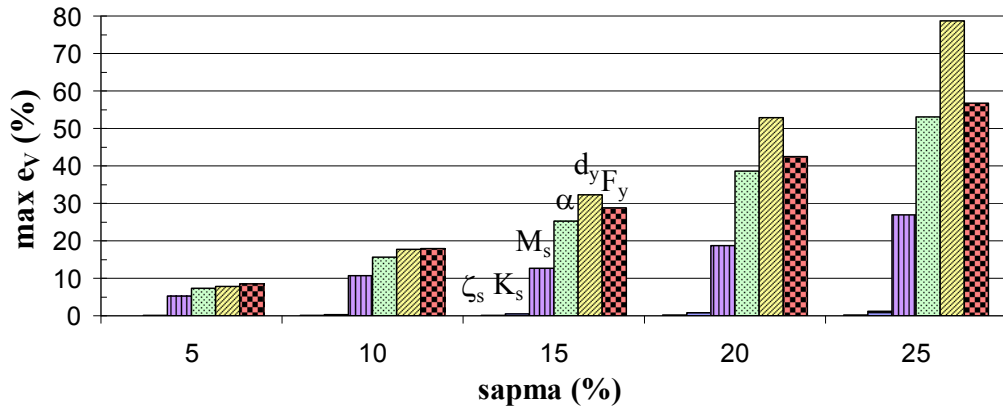
Şekil 4.48: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – EL depremi altında nonlineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.



(a)

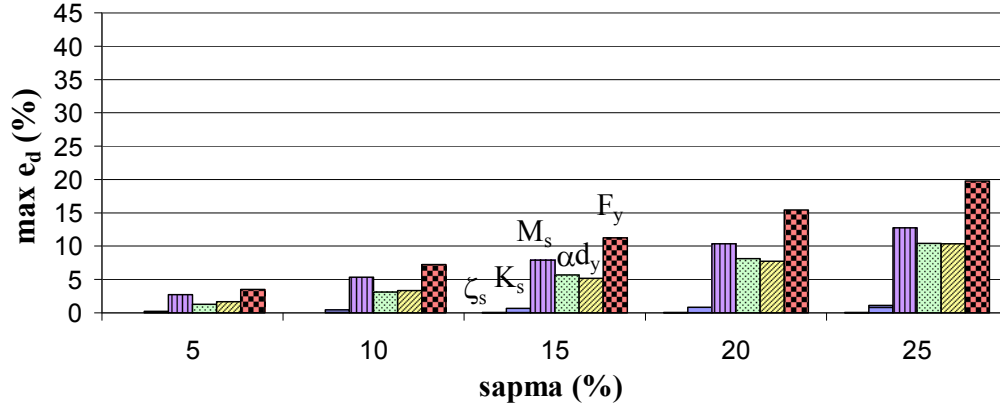


(b)

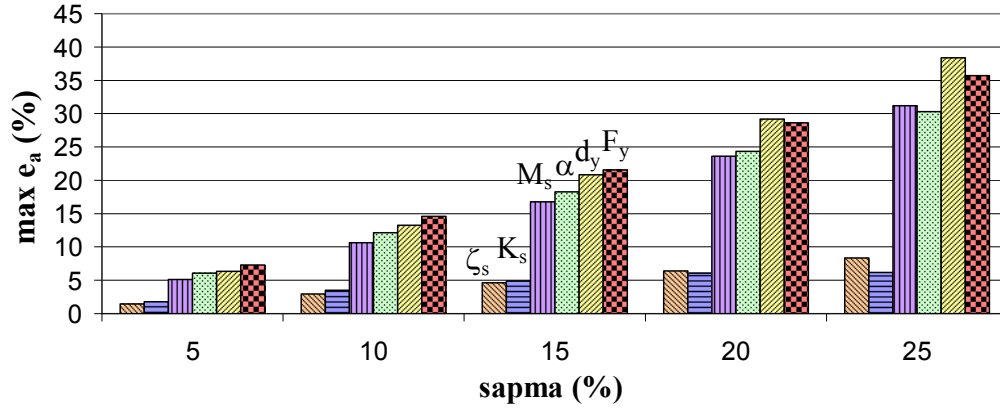


(c)

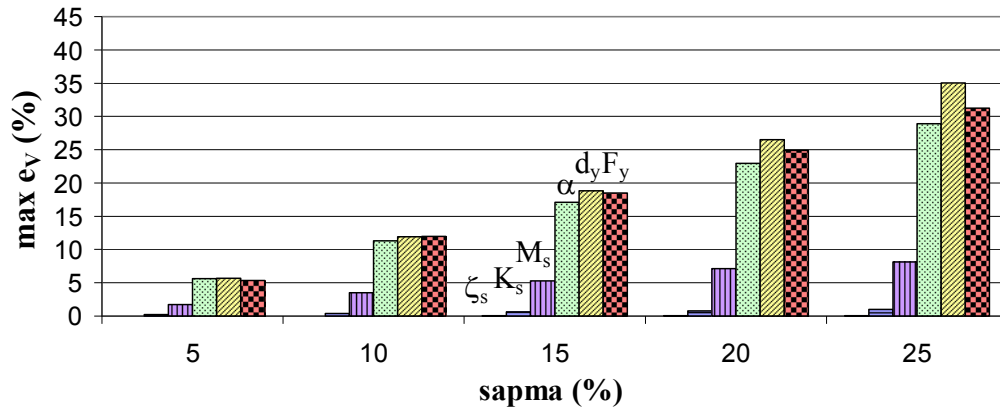
Şekil 4.49: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – KO depremi altında nonlineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.



(a)

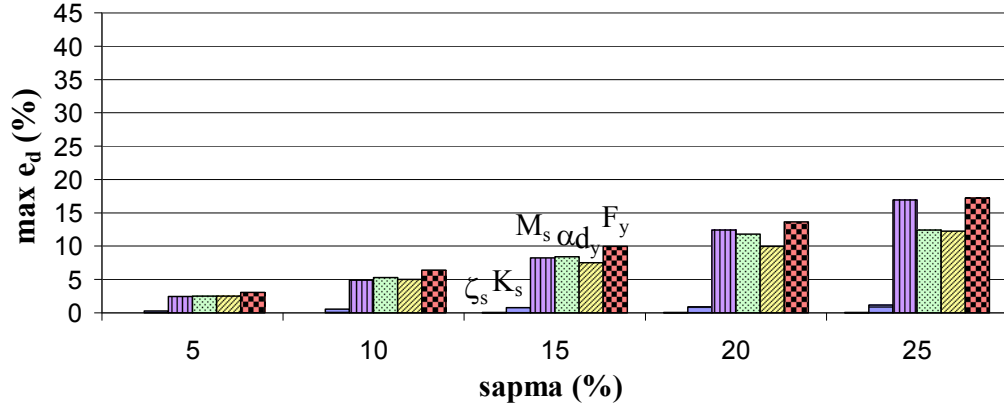


(b)

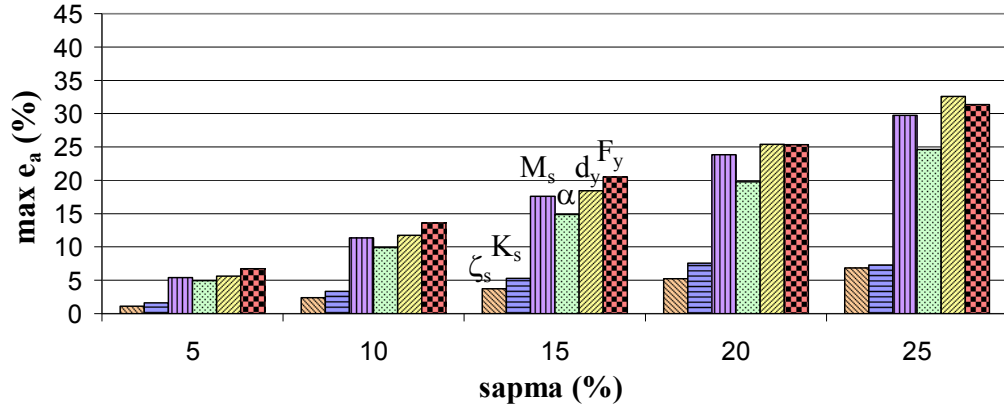


(c)

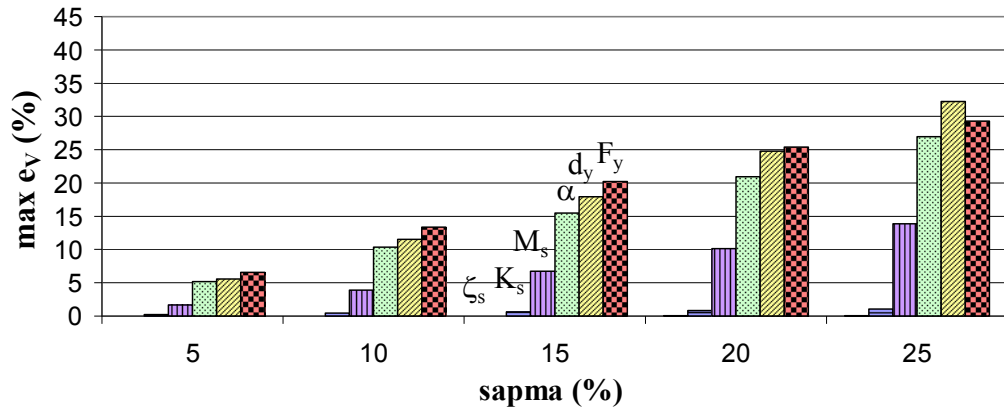
Şekil 4.50: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – RI depremi altında nonlineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.



(a)

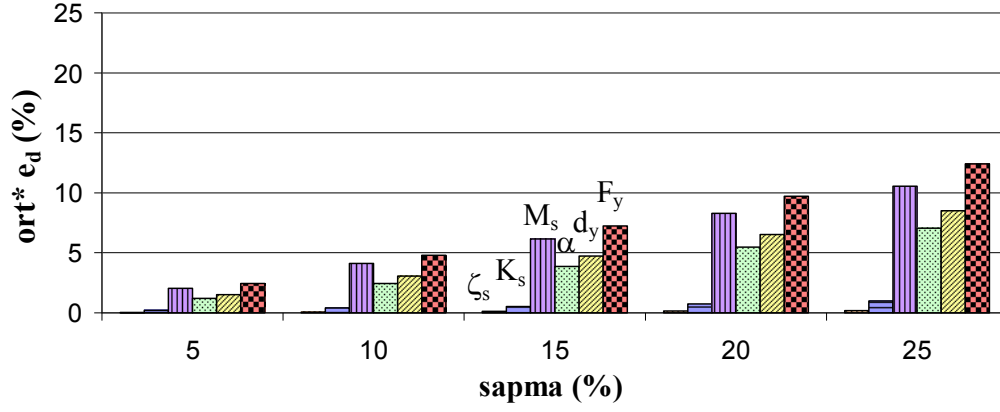


(b)

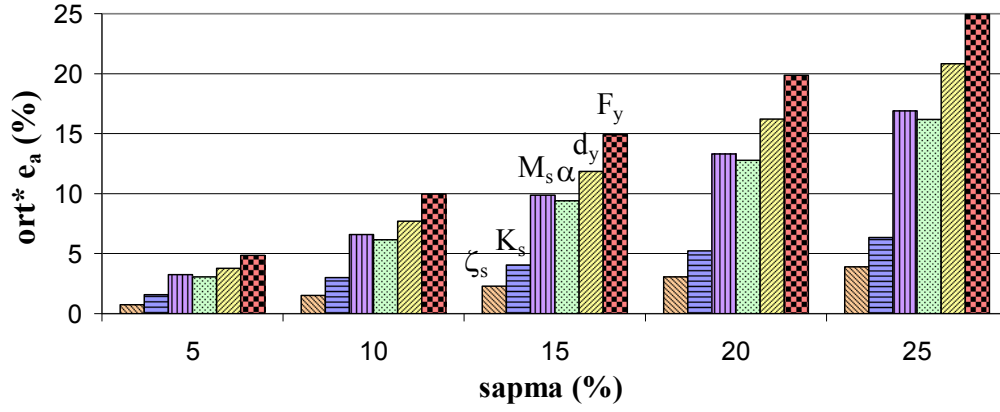


(c)

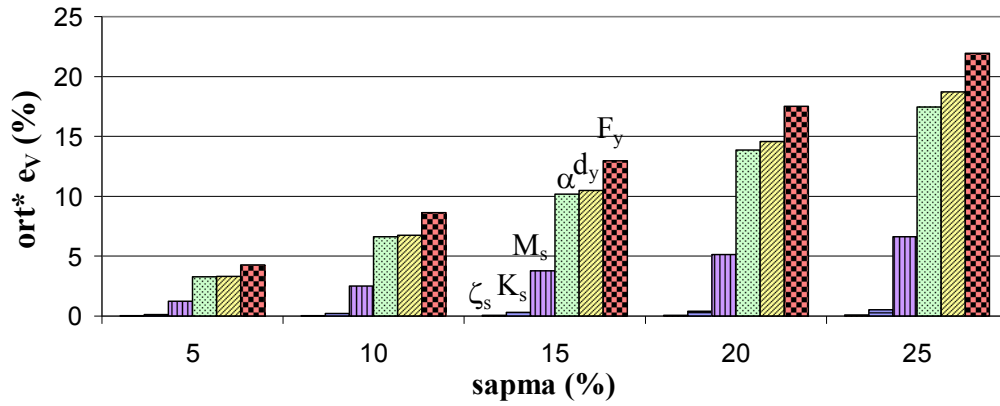
Şekil 4.51: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – SYL depremi altında nonlinear izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.



(a)

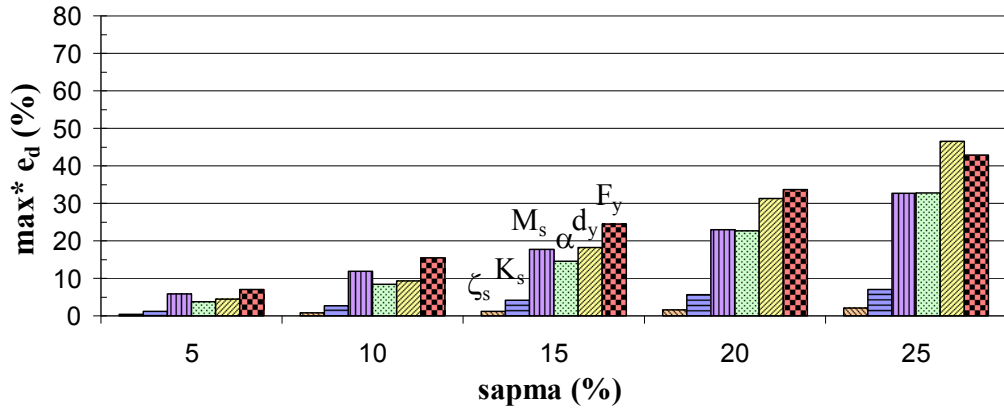


(b)

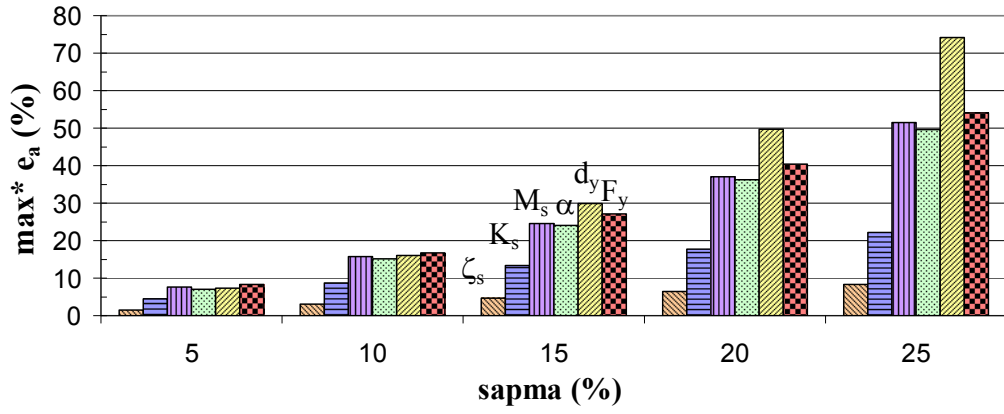


(c)

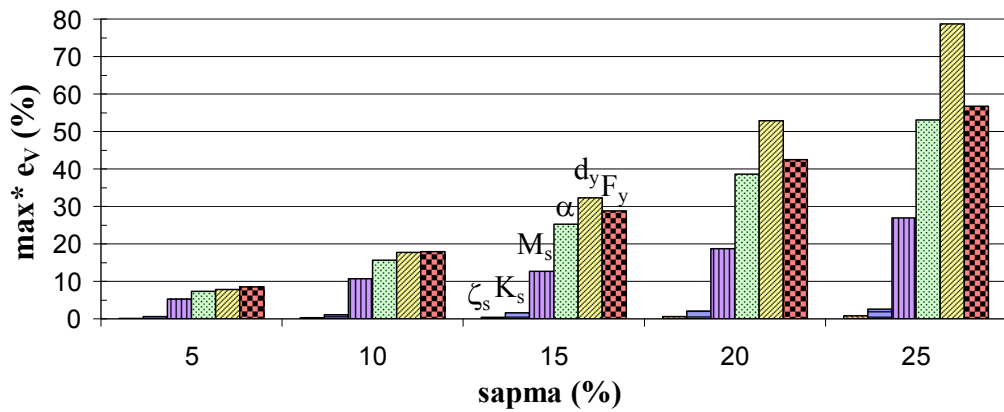
Şekil 4.52: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – Nonlineer izolasyon sistemlerindeki hataların tüm depremler ve sistemler için ortalamaları.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.53: Mekanik özelliklerdeki sapmalara bağlı yapısal cevaplardaki hatalar: (a) izolasyon sistemi deplasmanında, (b) en üst kat ivmesinde, (c) taban kesme kuvvetinde – Tüm depremler için nonlineer izolasyon sistemleri arasındaki en büyük hatalar.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Depremler meydana getirdikleri titreşim hareketleri nedeniyle titreşime karşı hassas olan cihazlarda önemli hasara sebep olabilmektedirler. Hastanelerde, data merkezlerinde, endüstriyel yapılarda ve benzeri yapılarda kullanılan titreşime hassas önemli cihazlar, depremlerin sebep oldukları titreşimler sonucunda işlevini yitirebilmekte ve telafisi mümkün olamayacak sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu tür hayati öneme sahip cihazların deprem titreşiminden korunması amacıyla ya tüm yapıya sismik izolasyon uygulanabilir veya bu hassas cihazların bulunduğu yapısal sistemlerin altlarına sismik izolasyon platformları yerleştirilebilir. Sismik izolasyon sayesinde deprem titreşimleri cihazlara azaltılarak iletilir. Ancak sismik performansın iyi analiz edilmesi ve hassas biçimde belirlenmesi gerekir. Bu bağlamda sismik izolatörlerin veya üst yapının mekanik özelliklerinde meydana gelecek sapmaların hangi yapısal tepki parametresini etkileyeceği bilinmelidir. Farklı tarihi depremler altında farklı modeller kullanılarak duyarlılık analizlerinin gerçekleştirildiği bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1) İzolasyon periyotları ve sönüm oranları farklı, lineer ve lineer olmayan sismik izolasyon sistemleri 3D BASIS programı ile El Centro, Kobe, Rinaldi ve Sylmar depremleri altında analiz edilmiş ve birkaç istisnai durum hariç en üst kat ivmelerinin yer ivmelerinden küçük olduğu dolayısıyla taban ankastre duruma göre sismik izolasyonun sismik performansı arttırdığı ortaya konmuştur.
- 2) Üst yapı rijitliği ve üst yapı sönüm oranı yapısal tepkiyi en az etkileyen parametrelerdir. Bunlardan üst yapı rijitliğine olan duyarlılık daha fazladır. Nonlineer sistemlerde, lineer sistemlere göre daha etkindirler. En fazla etkiledikleri yapısal tepki en üst kat ivmesidir.

- 3) Lineer izolasyon sistem deplasmanlarını en fazla etkileyen parametreler, ortalama olarak yaklaşık eşit etkinlikte olmak üzere üst yapı kütlesi, izolasyon sistemi rijitliği ve izolasyon sistemi sönümüdür.
- 4) Lineer izolasyon sistemlerine sahip yapıların en üst kat ivmelerini ve taban kesme kuvvetlerini etkinlik sırasına göre izolasyon sistemi rijitliği, üst yapı kütlesi ve izolasyon sistemi sönümü etkilemektedir. Ortalama değerler açısından izolasyon sistemi sönümünün etkinliği diğerlerine göre çok daha azdır.
- 5) Lineer ve lineer olmayan izolasyon sistemleri için, mekanik özelliklerdeki sapmaların neden olduğu değişimler en fazla pik en üst kat ivmelerinde ortaya çıkmaktadır.
- 6) Nonlineer izolasyon sistemine sahip yapılarda en etkin izolasyon sistemi mekanik özelliğinin akma kuvveti olduğu görülmüştür. Bunu takip eden özellikler ise yaklaşık aynı etkinliğe sahip olan akma deplasmanı ve akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranıdır. Üst yapı özelliklerinden üst yapı kütlesi ise, izolasyon sistemi deplasmanlarını yaklaşık akma kuvveti kadar, üst yapı ivmesini ise yaklaşık akma deplasmanı kadar etkilemekte, taban kesme kuvvetinde ise belirgin olarak daha az etkinliğe sahip olmaktadır.
- 7) Ortalama değerler açısından yukarıda varılan sonuçların, deprem türü ve izolasyon sistemi karakteristiğine bağlı olarak farklılıklar gösterebileceği de ayrıca ortaya konmuştur.

## KAYNAKLAR

- ALHAN, C., ALTUN, M., 2009, "Performance Of Non-Linear Base Isolation Systems Designed According To Uniform Building Code", Fifth International Advanced Technologies Symposium , 2079-2084.
- ALHAN, C., GÖKTAŞ, Y., 2009, "Effects Of Near-Field Earthqukes On Seismically Isolated Buildings", WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference: Earthquake And Tsunami. CD Proceedings, Istanbul, Turkey.
- ALDEMİR, Ü., AYDIN, E., 2005, "Depreme Daynıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar", Türkiye Mühendislik Haberleri, 435:81-88.
- ARISOY, B., ERCAN, E., NUHOĞLU, A., 2009, "Mevcut Yapıların Deprem Davranışlarının Belirlenmesinde ve Güçlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler", Tarihi Yapıların Afet Risklerinin Değerlendirilmesi, İzmir Afet Riskini Azaltma Sempozyumu, 7-8 Aralık, İzmir.
- ASHER, J.W., YOUNG, R.P., EWING, R.D., 2001, "Seismic Isolation Design Of The Arrowhead Regional Medical Center", The Structural Design Of Tall Buildings , 10:321-334.
- ATAMAN, O., TABBAN, A., 1977, "Türkiye’de Yerleşme Alanlarının Doğal Afetler İle İlişkileri", Mimarlık, 1977/4:25.
- ATEŞ, Ş., DUMANOĞLU, A., 2003, "Kauçuk Mesnetli Binaların Dinamik Analizi", Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, AT-048, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- BAADYBDDDB, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı <http://www.deprem.gov.tr/Sarbis/Deprem/DepremNedir.aspx> [Ziyaret Tarihi:12 Mayıs 2010].
- BAE, R., H., GRANDHI, V., R., CANFIELD, A., R., 2006, "Sensitivity Analysis of Structural Response Uncertainty Propagation Using Evidence Theory", Struct Multidisc Optim., 31: 270–279.
- BARROS, M.A.F., 2006, "Design Sensitivity Analysis of Multi-Span Non-Linear Elastic Beam–Columns with Elastic Supports", Struct Multidisc Optim., 31: 17–25.
- BAŞTUĞ, B.K., 2004, "Yapı Sistemlerinde Depreme Karşı Sismik İzolatör Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

BENAROYA, H., NAGURKA, M.L., 2010, "Mechanical Vibration: Analysis, Uncertainties And Control", CRC Press, ISBN: 9781420080568.

BERKELEY, <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>. Peer Strong Motion Databank. [Ziyaret Tarihi: 15 Mart 2009].

BİBAİGM, 2000, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü 14.02.2000 Tarihli Raporu..

CARNEIRO, J.O., MELO, F.J.Q., JALALI, S., CAMANHO, P.P., 2004, "Analytical Dynamic Analysis of Earthquake Base-Isolation Structures Using Time History Modal Superposition", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics., pp: 39-49.

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

CHENG, F.Y., JIANG, H., LOU, K., 2008, "Smart Structures: Innovative Systems For Seismic Response Control", CRC Press, ISBN: 9780849385322.

CHOPRA, AK., 1995, "Dynamics Of Structures, Theory And Applications To Earthquake Engineering", Prentice Hall , New Jersey.

CİVALEK, Ö., ÇATAL, H.H., "Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Lineer Olmayan Titreşimi: Genelleştirilmiş Diferansiyel Quadrature Yaklaşımı", Mühendis Ve Makina Cilt : 45 Sayı : 535, Ağustos, 2004.

COLUNGA, A.T., CRUZ, J.L.E., 2007, "Torsional Amplifications In Asymmetric Base-Isolated Structures", Engineering Structures, 29:237-247.

CRAIG, R.R., KURDILA, A.J., 2006, "Fundamentals Of Structural Dynamics", Wiley, ISBN: 9780471430445.

ÇAĞLAR, M.C., 2002, "Yapılarda Taban İzolasyon Sistemleri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

DEB, K.S., 2004, "Seismic Base Isolation-An Overview", Current Science, 87:1426-1430.

DEMİR, S., 2008, "Sismik İzolasyon Sistemleri ile Yapıların Tasarımı ve Mevcut Bir Yapıya Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

DOĞAN, Ö., 2007, "Sismik Taban İzolasyon Sistemleri ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay.

ERGÜNAY, O., 1999, “Afet Yönetimi Nasıl Olmalı”, İTÜ Vakıf Dergisi, 1999 Aralık, 30:79.

ETABS, Computers and Structures Inc., 2009, Integrated Analysis, Design And Drafting Of Building Systems, Version 9.5.0, Berkeley, USA.

GAVIN, H.P., ZAICENCO, A., 2007, “Performance And Reliability Of Semi-Active Equipment Isolation”, Journal Of Sound And Vibration, 306:74-90.

GIARLELIS, C., KOSTIKAS, C., LAMPRINO, E., DALAKIOURIDOU, M., 2008, “Dynamic Behavior of a Seismic Isolated Structure in Greece”, 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China.

GORDON, C.G., 1991, “Generic Criteria For Vibration Sensitive Equipment”, Proc. International Society For Optical Engineering (SPIE), 4-6 November 1619:71-85, San Jose, CA, USA.

GUZEK, S.F., 2010, Computing disaster preparedness, seismic risk mitigation program: Protecting Critical Computing Assets, ISOBase tanıtım CD’si içerisinde.

JOHNSON, E.A., RAMALLO, J.C., SPENCER, B.F., SAIN, M.K., 1998, “Intelligent Base Isolation Systems”, 2nd World Conference on Structural Control, June 28-July 1 Kyoto, Japan,

JURADO, J.A., HERNÁNDEZ, S., 2004, “Sensitivity Analysis of Bridge Flutter with Respect to Mechanical Parameters of The Deck”, Struct Multidisc Optim. 27, 272–283.

KANAN, A.M., POWELL, G.H., 1975, “DRAIN-2D: A General Purpose Computer Program for Dynamic Analysis of Inelastic Plane Structures with Users Guide”, Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-73/22, University of California, Berkeley, California.

KARABÖRK, T., 2009, “Çok Katlı Betonarme Yapılarda Temel Yalıtım Sistemlerinin Parametrik İncelemesi”, Türk Bilim Araştırma Vakfı, Tubav Bilim Dergisi, Cilt:2, Sayı:2 s:162-174.

KELLY, J.M., 1981, “Control Of Response Of Piping Systems and Other Structures by Base Isolation”, Report No UCB/EERC-81/01. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley., California.

KELLY, J.,M., TSAI, H.C., 1985, “Seismic Response Of Light Internal Equipment In Base Isolated Structures”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 13:711-732.

KELLY, E.T., 2001, “In-Structure Damping And Energy Dissipation”, Design Guidelines, Holmes Consulting Group.

KHECHFE, H., NOORI, M., HOU, Z., KELLY, J.M., AHAMADI, G., 2002, "An Experimental Study On The Seismic Response Of Base-Isolated Secondary Systems", *Journal Of Pressure Vessel Technology*, 124:81-88.

KILAR V., KOREN D., 2009, "Seismic Behavior Of Asymmetric Base Isolated Structures With Various Distributions Of Isolators", *Engineering Structures* , 31:910-921.

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

MAKRIS, N., CHANG, S., 1998, "Effect of Viscous, Viscoplastic and Friction Damping on the Response of Seismic Isolated Structures", *Iset Journal of Eartquake Technology*, Dec., pp:113-141.

MATHWORKS, 2009, "Matlab Version 7.8.0", MathWorks, Inc., Massahusetts, USA.

MATSAGAR, V.A., JANGID, R.S., 2004, "Influence of Isolator Characteristics on The Response of Base-Isolated Structures", *Engineering Structures* , 26:1735-1749.

MAYES, R.L., JONES, L.R., KELLY, T.E., 1990, "Impediments to the Implementation of Seismic Isolation", *Earthquake Spectra*, Vol.6, No.2, pp.283-296.

MYSLIMAJ, B., GAMBLE, S., CHIN-QUEE, D., DAVIES., A., 2003, "Base Isolation Technologies for Seismic Protection of Museum Artifacts", *International Association of Museum Facilities Administrators (IAMFA) Annual Conference in San Francisco*, September 21-24, California.

NAEIM, F., KELLY, J.,M., 1999, "Design Of Seismic Isolated Structures: From Theory To Practice", John Wiley&Sons, New York, ISBN: 978-0471149217.

NAEIM, F., 2001, "Seismic Design Handbook", Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.

NAGARAJIAH, S., REINHORN, A.M., AND CONSTANTINOU, M.C., "Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures (3D-BASIS)", Technical Report NCEER-89-0019, National Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo, August 3, 1989.

NAGARAJIAH, S., REINHORN, A.M., CONSTANTINOU, M.C., "3D-BASIS: Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures - Part II", Technical Report NCEER-91-0005, National Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo, February 28, 1991.

NAGARAJIAH, S., LI, C., REINHORN, A.M., AND CONSTANTINOU, M.C., "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 Research, University at Buffalo, August 2, 1993.

NAGARAJAIAH, S., LI, C., REINHORN, A.M., CONSTANTINOU, M.C., “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 Research, University at Buffalo, 1994.

OGATA, K., 2008, “MATLAB For Control Engineers”, Prentice Hall, ISBN: 9780136150770.

PAMPAL, S., 2000, “Depremler”, Alfa/Aktüel Kitabevleri, Ankara.

PARK, Y.J., WEN, Y.K., ANG, A.H.S., “Random Vibration of Hysteretic Systems Under Bidirectional Ground Motions”, Earthquake Engineering Structural Dynamics, Vol. 14, No.4, 1986, pp. 543-557.

PARLAR, N., 2008, “Yapılarda Deprem Yalıtımı Uygulamaları”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi 2008 Sonbahar-Kış Dönemi Meslek İçi Eğitim Seminerleri, İstanbul.

POLITOPOULOS, I., PHAM, H. K., 2009, “Sensitivity of Seismically Isolated Structures”, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, Earthquake Engng Struct. Dyn., 38:989–1007.

RAMALLO, J.C., JOHNSON, E.A., SPENCER JR, B.F., 2002, “‘Smart’ Base Isolation Systems”, Journal Of Engineering Mechanics, 128:1088-1100.

REINHORN, A., CONSTANTINOU, M., NAGARAJAIAH, S., “3D-BASIS: Computer Program Series for Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures, Research Accomplishments”, 1986-1994: The National Center for Earthquake Engineering Research, pages 41-54. (Buffalo : National Center for Earthquake Engineering Research, September 1994)

SAHASRABUDHE, S., NAGARAJAIAH, S., 2005, “Experimental Study of Sliding Base-Isolated Buildings with Magnetorheological Dampers in Near-Fault Earthquakes”, Journal of Structural Engineering, 131 (7):1025-1034.

SARITAŞ, F., HASGÜR, Z., 2007, “Taban Ayırıcı Sistemli Köprülerin Doğrusal Olmayan Davranışı”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, s:73-84, 16-20 Ekim 2007, İstanbul

STÖBÖNER, U., 2006, “Active Vibration Isolation For Highly Sensitive Measurement”, Adaptronic Congress, 03-04 May Göttingen, Germany.

SU, L., AHMADI, G., TADJBAKHSI, I.G., 1990, “A Comparative Study of Performances of Various Base Isolation Systems, Part II: Sensitivity Analysis”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 19:21-33.

ŞAHİN, N., 2001, “Yapılarda Sismik İyileştirme İçin Sismik İzolasyonun Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.

ŞAHİN, F., 2008, “Sönümün Sismik Taban İzolasyonu Ve Sönümleyicilerin Kullanıldığı Binaların Deprem Performansına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

TAJIRIAN, F.F., PATEL, M.R., 1993, “Response of Seismic Isolated Facilities :A Parametric Study of the Almr”, 12th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, August 15-20, pp: 297-302., Stuttgart, Germany.

TAKEWAKI, I., 2009, “Building Control With Passive Dampers: Optimal Performance-Based Design For Earthquakes”, Willey-IEEE Press, ISBN: 9780470824917.

TARANATH, B.S., 2005, “Wind and Earthquake Resistant Buildings: Structural Analysis and Design”, CRC Press, ISBN: 9780824759346.

TAŞ, M., 1995, “Türkiye’de Endüstri Yapılarında Deprem Sorunu”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 1995, 42.

TAŞ, N., 2003, “Yerleşim Alanlarında Olası Deprem Zararlarının Azaltılması”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik –Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1.

TEZCAN, S.S., CİMİLLİ, S., 2002, “Seismic base isolation”, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları, İstanbul.

TEWARI, A., 2002, “Modern Control Design With MATLAB And Simulink”, Wiley, ISBN: 9780471496793.

TOKUÇ, M.O., 2008, “Mevcut Betonarme Bir Okul Binasının Performansının Değerlendirilmesi ve Sismik İzolasyon Kullanılarak Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

TOLAY,A. 2006, “Sismik İzolasyonlu Yapıların Maliyet Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

TSOPELAS, P., NAGARAJAIAH, S., CONSTANTINOU, M.C., REINHORN, A.M., “3-D BASIS-M: Nonlinear dynamic Analysis of Multiple Building Base Isolated Structures,” Technical Report NCEER-91-0014, National Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo, May 28, 1991.

TSOPELAS, P.C., CONSTANTINOU, M.C., REINHORN, A.M., “3DBASIS- ME: Computer Program for Nonlinear Dynamic Analysis Seismically Isolated Single and Multiple Structures and Liquid Storage Tanks,” Technical Report NCEER-94-0010,

National Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo, April 12, 1994.

TÜRKER, H., 2005, “Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanılış Tipleri Örnek Bir Maliyet Analizi”, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, s:538-545., Kocaeli, Türkiye.

UNGAR, E.E., 2007, “Vibration Criteria For Healthcare Facility Floors”, Sound And Vibration Magazine, September Issue.

URGU, M.İ., 2006, “Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.

VEPRIK, A.M., 2003, “Vibration Protection Of Critical Components Of Electronic Equipment In Harsh Environmental Conditions”, Journal Of Sound And Vibration, 259:161-175.

VILLAVERDE, R., 2009, “Fundamental Concepts Of Earthquake Engineering”, CRC Press, ISBN: 9781420064957.

WILSON, E.L., HOLLINGS, J.P., DOVEY, H.H., 1975, ETABS- Three dimensional analysis of building systems.Report No.UCB/ERRC-75/13, Earthquake Engineering Research Center, University of California,Berkeley.

WORKSAFE, 2010, Worksafe Technologies, “ISO-Base Seismic Isolation Platform” Tanıtım CD’si.

XU, Y.L., LI, B., 2006, “Hybrid Platform For High-Tech Equipment Protection Against Earthquake And Microvibration”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35:943-967.

YAKUT, O., 2007, “Yapıların Sismik İzolasyonunda İleri Denetim Algoritmalarının Uygulanması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.

YÜCESOY, A., 2005, “Sismik İzolatörler ile Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay.

## EKLER

### EK-1: Kütle ve rijitlik matrislerinin oluşturulması ve modal periyotların elde edilmesi için MATLAB programı

```

clear all
close all

KI = 49.34; % kN/m İzolasyon sistemi rijitliği
k1 = 2050; % kN/m 1. kat rijitliği
k2 = 2050; % kN/m 2. kat rijitliği
k3 = 2050; % kN/m 3. kat rijitliği
k4 = 2050; % kN/m 4. kat rijitliği

mI = 1.00; % ton izolasyon katı kütlesi
m1 = 1.00; % ton 1. kat kütlesi
m2 = 1.00; % ton 2. kat kütlesi
m3 = 1.00; % ton 3. kat kütlesi
m4 = 1.00; % ton 4. kat kütlesi

Kf = [ (k1+k2)  -k2      0      0;
      -k2      (k2+k3)  -k3      0;
      0        -k3      (k3+k4) -k4;
      0         0        -k4      k4];

Ki = [ (KI+k1)  -k1      0      0      0;
      -k1      (k1+k2)  -k2      0      0;
      0        -k2      (k2+k3) -k3      0;
      0         0        -k3      (k3+k4) -k4;
      0         0         0        -k4      k4];

Mf = [ m1  0  0  0;
      0  m2  0  0;
      0  0  m3  0;
      0  0  0  m4];

```

```

Mi = [ mb    0    0    0    0;
      0    m1    0    0    0;
      0    0    m2    0    0;
      0    0    0    m3    0;
      0    0    0    0    m4];

% TABAN ANKASTRE
% Eigenvalue ve Eigenvector
[Vf,EIGf] = eig(Kf,Mf);           % Eigenvalue problemini çöz.
EIGDf = diag(EIGf);               % Eigenvalue vektöre yerleştir.
[EIGENf, INDEXf] = sort(EIGDf);  % Eigenvalue azalacak şekilde diz.
EIGDf = diag(EIGENf);            % Eigenvalue matrise yerleştir.

% Doğal frekanslar ve periyotlar
wf = sqrt(EIGDf);                 % Açısai doğai frekanslar [rad/s]
Tf = diag((2*pi)./wf);           % Doğai periyotlar [s]

Results = [diag(wf) Tf ];
disp('    wnf(rad/s) Tnf(sec) ');
disp([Results]);

% SİSMİK İZOLASYONLU
% Eigenvalue ve Eigenvector
[Vi,EIGi] = eig(Ki,Mi);           % Eigenvalue problemini çöz.
EIGDi = diag(EIGi);               % Eigenvalue vektöre yerleştir.
[EIGENi, INDEXi] = sort(EIGDi);  % Eigenvalue azalacak şekilde diz.
EIGDi = diag(EIGENi);            % Eigenvalue matrise yerleştir.

% Doğal frekanslar ve periyotlar
wi = sqrt(EIGDi);                 % Açısai doğai frekanslar [rad/s]
Ti = diag((2*pi)./wi);           % Doğai periyotlar [s]

Results = [diag(wi) Ti ];

disp('    wni(rad/s) Tni(sec) ');
disp([Results]);

```

**EK. 2: LA1 modeline ait mekanik parametrelerde sapma olmayan durum için  
3DBASIS Input Dosyası**

```

LA1KI100IN
Units mass:tons force:kN length:meters time: sec
1 4 4 12
0.005 0.001 10000 20 1
0.5 0.25
1 0.01 4000 0 9.81
2050 2050 2050 2050
2050 2050 2050 2050
2050 2050 2050 2050
0 0 0 0
0 0 0 0
1 1 1 1
0.667 0.667 0.667 0.667
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
12.0 9.0 6.0 3.0 0
49.34 49.34 49.34 0 0
1 0.667
3.14 3.14 3.14 0 0
3 1
0 0
3 1
0 0
3 1
0 0
3 1
0 0
0.5 0.5
-0.5 -0.5
-0.5 0.5
0.5 -0.5
1 10 1 2 3 4
0.5 0.5
-0.5 -0.5
-0.5 0.5
0.5 -0.5
0.5 -0.5
0.5 -0.5

```

**EK. 3: NLA1 modeline ait mekanik parametrelerde sapma olmayan durum için  
3DBASIS Input Dosyası**

```

NLA1ALP100IN
Units mass:tons force:kN length:meters time: sec
1 4 4 12
0.005 0.001 10000 20 1
0.5 0.25
1 0.01 4000 0 9.81
2050 2050 2050 2050
2050 2050 2050 2050
2050 2050 2050 2050
0 0 0 0
0 0 0 0
1 1 1 1
0.667 0.667 0.667 0.667
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
12.0 9.0 6.0 3.0 0
0 0 0 0 0
1 0.667
0 0 0 0 0
3 3
0.1 2.725 0.00552 0.1 2.725 0.00552
3 3
0.1 2.725 0.00552 0.1 2.725 0.00552
3 3
0.1 2.725 0.00552 0.1 2.725 0.00552
3 3
0.1 2.725 0.00552 0.1 2.725 0.00552
0.5 0.5
-0.5 -0.5
-0.5 0.5
0.5 -0.5
1 10 1 2 3 4
0.5 0.5
-0.5 -0.5
-0.5 0.5
0.5 -0.5
0.5 -0.5
0.5 -0.5

```

## ÖZGEÇMİŞ

Kemal HIŞMAN, 1982 yılında Bingöl/Kiğı’da doğdu. İlköğretimini Yavuztürk İlköğretim Okulunda tamamladı. Ortaöğretimini Ümraniye Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi’nde 2002 yılında tamamladı. Lisans öğrenimine 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde başladı. Lisans öğrenimini 2007 yılında tamamladı. 2008 yılında İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı öğrencisidir.