



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DEPREMİN GELİŞ AÇISININ SİSMİK İZOLASYONLU  
BİNALARA ETKİSİ**

**İnş. Müh. Güven ERİŞGEN  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Programı**

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

**Temmuz, 2010**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DEPREMİN GELİŞ AÇISININ SİSMİK İZOLASYONLU  
BİNALARA ETKİSİ**

**İnş. Müh. Güven ERİŞGEN  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Programı**

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

**Temmuz, 2010**

**İSTANBUL**

Bu çalışma ....../...../2010 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. Ali Malik GÖZÜBOL  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Feyza ÇİNİCİOğLU  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk KÜLTÜR  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliđinin 4453 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca, göstermiş olduğu müthiş sabır, özveri ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç Dr. Cenk ALHAN'a, görüş ve tavsiyelerinden dolayı, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN'a, değerli görüş ve önerileriyle bu teze büyük katkıda bulunan tez jürisindeki çok değerli hocalarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her aşamasında yanımda olan ve benden desteklerini esirgemeyen aileme, değerli dostum Yusuf Zeki AYIK'a ve tüm dostlarıma teşekkür ederim.

**Temmuz, 2010**

**Güven ERİŞGEN**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ .....	iv
TABLO LİSTESİ .....	vii
SEMBOL LİSTESİ .....	viii
ÖZET .....	xii
SUMMARY .....	xiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. DEPREMLER VE ETKİLERİ .....	1
1.2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI YÖNTEMLERİ .....	1
1.3. DEPREMİN GELİŞ AÇISININ ETKİLERİ VE DOĞRULTUSAL BİRLEŞTİRME KURALI KONUSUNDA YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	3
1.4. AMAÇ VE KAPSAM .....	4
<b>2. GENEL KISIMLAR.....</b>	<b>6</b>
<b>3.MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>13</b>
3.1. ÜST YAPININ ÖZELLİKLERİ .....	13
3.2. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ .....	14
3.2.1. Linear İzolasyon Sistemi.....	14
3.2.2. Linear Olmayan İzolasyon Sistemi .....	14
3.3. PARAMETRİK ÇALIŞMA.....	15
3.4. TARİHSEL DEPREM KAYITLARI.....	18
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>33</b>
4.1. SİSMİK İZOLASYONUN ETKİLERİ .....	33

<b>4.2. DEPREMİN GELİŞ AÇISININ ETKİLERİ.....</b>	<b>40</b>
<b>4.3. DEPREM DOĞRULTUSU BİRLEŞTİRME KURALI.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.1. Duyarlılık Analizleri.....</b>	<b>47</b>
<b>4.3.2. Birleştirme Kuralının Geçerliliği .....</b>	<b>68</b>
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>78</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>80</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>84</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 2.1</b>	: Lineer davranış gösteren kauçuk mesnet.....	8
<b>Şekil 2.2</b>	: Lineer olmayan davranış gösteren kauçuk mesnet .....	8
<b>Şekil 2.3</b>	: Kauçuk sismik izolatör .....	9
<b>Şekil 2.4</b>	: Los Angeles City Hall Binası'nın sismik izolasyonu .....	9
<b>Şekil 2.5</b>	: UC Berkeley - Hearst Memorial Mining Building Binası için kullanılan kauçuk mesnetlerin prototip deneyi.....	10
<b>Şekil 3.1</b>	: Model binaya ait tipik kat planı .....	13
<b>Şekil 3.2</b>	: Model binaya ait A-A kesiti .....	14
<b>Şekil 3.3</b>	: Parametrelerin tipik kat planı üzerinde şematik gösterimi .....	17
<b>Şekil 3.4</b>	: Köşe kolonların lokal eksenleri ve boyutları – örnek: 1E kolonu .....	18
<b>Şekil 3.5</b>	: Chi-Chi Depremi CHY080 istasyonuna ait CHY080-N kaydının ivme spektrumu. ....	20
<b>Şekil 3.6</b>	: Chi-Chi Depremi CHY080 istasyonuna ait CHY080-W kaydının ivme spektrumu .....	20
<b>Şekil 3.7</b>	: Chi-Chi Depremi CHY101 istasyonuna ait CHY101-N kaydının ivme spektrumu .....	21
<b>Şekil 3.8</b>	: Chi-Chi Depremi CHY101 istasyonuna ait CHY101-W kaydının ivme spektrumu .....	21
<b>Şekil 3.9</b>	: Duzce Depremi Düzce istasyonuna ait DUZCE/DZC270 kaydının ivme spektrumu .....	22
<b>Şekil 3.10</b>	: Duzce Depremi Düzce istasyonuna ait DUZCE/DZC180 kaydının ivme spektrumu .....	22
<b>Şekil 3.11</b>	: Friuli Depremi Tolmezzo istasyonuna ait FRIULI/A-TMZ270 kaydının ivme spektrumu. ....	23
<b>Şekil 3.12</b>	: Friuli Depremi Tolmezzo istasyonuna ait FRIULI/A-TMZ000 kaydının ivme spektrumu. ....	23
<b>Şekil 3.13</b>	: Imperial Valley Depremi El Centro istasyonuna ait IMPVALL/I-ELC270 kaydının ivme spektrumu .....	24
<b>Şekil 3.14</b>	: Imperial Valley Depremi El Centro istasyonuna ait IMPVALL/I-ELC180 kaydının ivme spektrumu .....	24
<b>Şekil 3.15</b>	: Imperial Valley Depremi Meloland istasyonuna ait IMPVALL/H-EMO270 kaydının ivme spektrumu .....	25
<b>Şekil 3.16</b>	: Imperial Valley Depremi Meloland istasyonuna ait IMPVALL/H- EM000 kaydının ivme spektrumu.....	25
<b>Şekil 3.17</b>	: Tabas Depremi Tabas istasyonuna ait TABAS/TAB-TR kaydının ivme spektrumu.....	26
<b>Şekil 3.18</b>	: Tabas Depremi Tabas istasyonuna ait TABAS/TAB-LN kaydının ivme spektrumu.....	26
<b>Şekil 3.19</b>	: Kobe Depremi KJMA istasyonuna ait KOBE/KJM090 kaydının ivme spektrumu .....	27
<b>Şekil 3.20</b>	: Kobe Depremi KJMA istasyonuna ait KOBE/KJM000	



	kaydının ivme spektrumu.....	27
<b>Şekil 3.21</b>	: Kocaeli Depremi Düzce istasyonuna ait KOCAELI/DUZ270 kaydının ivme spektrumu .....	28
<b>Şekil 3.22</b>	: Kocaeli Depremi Düzce istasyonuna ait KOCAELI/DUZ180 kaydının ivme spektrumu .....	28
<b>Şekil 3.23</b>	: Loma Prieta Depremi LGPC istasyonuna ait LOMAP/LGP090 kaydının ivme spektrumu.....	29
<b>Şekil 3.24</b>	: Loma Prieta Depremi LGPC istasyonuna ait LOMAP/LGP000 kaydının ivme spektrumu.....	29
<b>Şekil 3.25</b>	: Northidge Depremi Sylmar istasyonuna ait NORTHR/SYL360 kaydının ivme spektrumu.....	30
<b>Şekil 3.26</b>	: Northidge Depremi Sylmar istasyonuna ait NORTHR/SYL090 kaydının ivme spektrumu.....	30
<b>Şekil 3.27</b>	: Northidge Depremi Rinaldi istasyonuna ait NORTHR/RRS318 kaydının ivme spektrumu.....	31
<b>Şekil 3.28</b>	: Northidge Depremi Rinaldi istasyonuna ait NORTHR/RRS228 kaydının ivme spektrumu.....	31
<b>Şekil 3.29</b>	: Taft Depremi Taft Lincon School istasyonuna ait KERN/TAF111 kaydının ivme spektrumu.....	32
<b>Şekil 3.30</b>	: Taft Depremi Taft Lincon School istasyonuna ait KERN/TAF021 kaydının ivme spektrumu.....	32
<b>Şekil 4.1</b>	: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2_e0_b45_t45) binalarının X doğrultusundaki üst kat ivmeleri. ....	34
<b>Şekil 4.2</b>	: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2_e0_b45_t45) binalarının Y doğrultusundaki üst kat ivmeleri. ....	35
<b>Şekil 4.3</b>	: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2_e0_b45_t45) binalarının X doğrultusundaki 1. kat görelî öteleme oranları. ....	36
<b>Şekil 4.4</b>	: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2_e0_b45_t45) binalarının Y doğrultusundaki 1. kat görelî öteleme oranları. ....	37
<b>Şekil 4.5</b>	: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2_e0_b45_t45) binalarının X doğrultusundaki 1. kat 1E kolon kesme kuvveti. ....	38
<b>Şekil 4.6</b>	: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2_e0_b45_t45) binalarının Y doğrultusundaki 1. kat 1E kolon kesme kuvveti. ....	39
<b>Şekil 4.7</b>	: 1E kolonu, birinci kat pik kesme kuvvetlerinin deprem geliş açısına göre değişimi. ....	41
<b>Şekil 4.8</b>	: Pik sismik izolatör deplasmanlarının depremin geliş açısına göre değişimi.....	42
<b>Şekil 4.9</b>	: Birinci katın taban katına göre olan pik kat ötelenme oranının depremin geliş açısına göre değişimi. ....	43
<b>Şekil 4.10</b>	: Deprem bileşenlerinin tek doğrultuda yapıya etkimesi. ....	45
<b>Şekil 4.11</b>	: Kesme kuvveti hata oranlarının kolonun t boyutuna duyarlılığı .....	50
<b>Şekil 4.12</b>	: Kat öteleme oranı hata oranlarının kolonun t boyutuna duyarlılığı .....	51
<b>Şekil 4.13</b>	: İzolatör deplasmanı hata oranlarının kolonun t boyutuna duyarlılığı ...	52
<b>Şekil 4.14</b>	: Kesme kuvveti hat oranlarının kolonun b oryantasyonuna duyarlılığı .	53
<b>Şekil 4.15</b>	: Kat öteleme oranı hata oranlarının kolonun b oryantasyonuna duyarlılığı .....	54
<b>Şekil 4.16</b>	: İzolatör deplasmanı hata oranlarının kolonun b oryantasyonuna duyarlılığı .....	55

<b>Şekil 4.17</b>	: Kesme kuvveti hata oranlarının $T_0$ akma sonrası izolasyon periyoduna duyarlılığı.....	56
<b>Şekil 4.18</b>	: Kat öteleme oranı hata oranlarının $T_0$ akma sonrası izolasyon periyoduna duyarlılığı.....	57
<b>Şekil 4.19</b>	: İzolatör deplasmanı hata oranlarının $T_0$ akma sonrası izolasyon periyoduna duyarlılığı.....	58
<b>Şekil 4.20</b>	: Kesme kuvveti hata oranlarının izolasyon sistemine (lineer ve nonlineer) duyarlılığı.....	59
<b>Şekil 4.21</b>	: Kat öteleme oranı hata oranlarının izolasyon sistemine (lineer ve nonlineer) duyarlılığı.....	60
<b>Şekil 4.22</b>	: İzolatör deplasmanı hata oranlarının izolasyon sistemine (lineer ve nonlineer) duyarlılığı.....	61
<b>Şekil 4.23</b>	: 1E aksında kesme kuvveti hata oranlarının eksentirisiteye duyarlılığı.....	62
<b>Şekil 4.24</b>	: 5A aksında kesme kuvveti hata oranlarının eksentirisiteye duyarlılığı.....	63
<b>Şekil 4.25</b>	: 1E aksında kat öteleme oranı hata oranlarının eksentirisiteye duyarlılığı.....	64
<b>Şekil 4.26</b>	: 5A aksında kat öteleme oranı hata oranlarının eksentirisiteye duyarlılığı.....	65
<b>Şekil 4.27</b>	: 1E aksında izolatör deplasmanı hata oranlarının eksentirisiteye duyarlılığı.....	66
<b>Şekil 4.28</b>	: 5A aksında izolatör deplasmanı hata oranlarının eksentirisiteye duyarlılığı.....	67
<b>Şekil 4.29</b>	: Farklı depremler için ortalama en büyük kesme kuvveti hata oranları: (a) lokal x ve (b) lokal y yönleri için.....	70
<b>Şekil 4.30</b>	: Farklı depremler için ortalama en büyük görel kat öteleme oranı hata oranları: (a) global X ve (b) global Y yönleri için.....	71
<b>Şekil 4.31</b>	: Farklı depremler için ortalama en büyük izolatör deplasmanı hata oranları: (a) global X ve (b) global Y yönleri için.....	72
<b>Şekil 4.32</b>	: Farklı depremler için ortalama en büyük görel kat öteleme yeni hata oranları: (a) global X ve (b) global Y yönleri için.....	75
<b>Şekil 4.33</b>	: Farklı depremler için ortalama en büyük izolatör deplasmanı yeni hata oranları: (a) global X ve (b) global Y yönleri için.....	76

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 3.1</b>	: Lineer izolasyon sistemlerine ait özellikler .....	14
<b>Tablo 3.2</b>	: Lineer olmayan izolasyon sistemlerine ait özellikler .....	15
<b>Tablo 3.3</b>	: Parametreler ve model kodları.....	17
<b>Tablo 3.4</b>	: Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarına ait bilgiler .....	19
<b>Tablo 4.1</b>	: Ortalama en büyük hata oranları için deprem ortalamaları ve standart sapmalar.....	77

## SEMBOL LİSTESİ

<b>A</b>	: kauçuk mesnetin kesit alanı.
<b>a</b>	: deprem doğrultusunun yapı ana eksenleri ile yaptığı açı.
<b>B<sub>D</sub></b>	: sönüm azaltma katsayısı.
<b>b</b>	: eleman lokal eksenleri (1A, 1E, 5A ve 5E'deki köşe kolonlar) ile yapı global eksenleri arasındaki açı.
<b>C<sub>I</sub></b>	: lineer izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısı.
<b>D<sub>D</sub></b>	: maksimum yer değiştirmesi.
<b>D<sub>y</sub></b>	: akma yer değiştirmesi.
<b>DRX</b>	: birinci katın taban katına göre olan X global eksen doğrultusundaki pik görelî kat ötelenmesi.
<b>DRY</b>	: birinci katın taban katına göre olan Y global eksen doğrultusundaki pik görelî kat ötelenmesi.
<b>DRX<sub>DBX</sub></b>	: depremin DB bileşenin global X doğrultusunda etkimesi sonucu oluşan görelî kat öteleme oranı.
<b>DRX<sub>KGX</sub></b>	: depremin KG bileşenin global X doğrultusunda etkimesi sonucu oluşan görelî kat öteleme oranı.
<b>DRY<sub>DBY</sub></b>	: depremin DB bileşenin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu oluşan görelî kat öteleme oranı.
<b>DRY<sub>KGY</sub></b>	: depremin KG bileşenin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu oluşan görelî kat öteleme oranı.
<b>DRX<sup>a</sup></b>	: depremin herhangi bir a açısıyla binaya etkimesi sonucu global X doğrultusunda oluşacak pik görelî kat öteleme oranı.
<b>DRY<sup>a</sup></b>	: depremin herhangi bir a açısıyla binaya etkimesi sonucu global Y doğrultusunda oluşacak pik görelî kat öteleme oranı.
<b>DRX<sup>c</sup></b>	: global X doğrultusunda oluşacak olan pik görelî kat öteleme oranı.
<b>DRY<sup>c</sup></b>	: global Y doğrultusunda oluşacak olan pik görelî kat öteleme oranı.
<b>DRX<sup>1*</sup></b>	: global X doğrultusunda oluşacak olan yeni görelî kat öteleme oranı.
<b>DRX<sup>2*</sup></b>	: global Y doğrultusunda oluşacak olan yeni görelî kat öteleme oranı.
<b>DRX<sup>c*</sup></b>	: global X doğrultusunda oluşacak olan yeni pik görelî kat öteleme oranı.
<b>DRY<sup>1*</sup></b>	: global Y doğrultusunda oluşacak olan yeni görelî kat öteleme oranı.
<b>DRY<sup>2*</sup></b>	: global Y doğrultusunda oluşacak olan yeni görelî kat öteleme oranı.
<b>DRY<sup>c*</sup></b>	: global Y doğrultusunda oluşacak olan yeni pik görelî kat öteleme oranı.
<b>E</b>	: Elastisite modulu.
<b>e</b>	: dış merkezlik (eksentrisite).
<b>F<sub>y</sub></b>	: akma dayanımı.
<b>f<sub>v</sub></b>	: titreşimin düşey frekansı.
<b>f<sub>x</sub></b>	: X histeretik kuvvet.
<b>f<sub>y</sub></b>	: Y histeretik kuvvet.
<b>g</b>	: yerçekimi ivmesi.
<b>IDX</b>	: global X doğrultusundaki izolatör deplasmanlarının pik değeri.
<b>IDY</b>	: global Y doğrultusundaki izolatör deplasmanlarının pik değeri.

- IDX<sub>DBX</sub>** : depremin DB bileşeninin global X doğrultusunda etkimesi sonucu oluşan izolatör deplasmanı.
- IDX<sub>KGX</sub>** : depremin KG bileşeninin global X doğrultusunda etkimesi sonucu oluşan izolatör deplasmanı.
- IDY<sub>DBY</sub>** : depremin DB bileşeninin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu oluşan izolatör deplasmanı.
- IDY<sub>KGY</sub>** : depremin KG bileşeninin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu oluşan izolatör deplasmanı.
- IDX<sup>a</sup>** : depremin herhangi bir a açısıyla binaya etkimesi sonucu global X doğrultusunda oluşacak pik izolatör deplasmanı.
- IDY<sup>a</sup>** : depremin herhangi bir a açısıyla binaya etkimesi sonucu global Y doğrultusunda oluşacak pik izolatör deplasmanı.
- IDX<sup>c</sup>** : global X yönündeki izolatör deplasmanı.
- IDY<sup>c</sup>** : global Y yönündeki izolatör deplasmanı.
- IDX<sup>1\*</sup>** : global X doğrultusunda oluşacak olan yeni izolatör deplasmanı.
- IDX<sup>2\*</sup>** : global X doğrultusunda oluşacak olan yeni izolatör deplasmanı.
- IDX<sup>c\*</sup>** : global X doğrultusunda oluşacak olan maksimum yeni izolatör deplasmanı.
- IDY<sup>1\*</sup>** : global Y doğrultusunda oluşacak olan yeni izolatör deplasmanı.
- IDY<sup>2\*</sup>** : global Y doğrultusunda oluşacak olan yeni izolatör deplasmanı.
- IDY<sup>c\*</sup>** : global Y doğrultusunda oluşacak olan maksimum yeni izolatör deplasmanı.
- K<sub>ef</sub>** : etkin rijitlik veya efektif rijitlik.
- K<sub>1</sub>** : lineer izolasyon sisteminin rijitliği.
- K<sub>1</sub>** : akma öncesi rijitlik veya elastik rijitlik.
- K<sub>2</sub>** : akma sonrası rijitlik veya plastik rijitlik.
- LT** : lineer izolasyon sistemi.
- M** : yapının toplam kütlesi.
- MR<sub>DRX</sub>** : global X doğrultusunda ortalama en büyük görelî kat öteleme oranı hata oranı.
- MR<sub>DRY</sub>** : global Y doğrultusunda ortalama en büyük görelî kat öteleme oranı hata oranı.
- MR<sub>IDX</sub>** : global X yönündeki ortalama en büyük izolatör deplasmanı hata oranı.
- MR<sub>IDY</sub>** : global Y yönündeki ortalama en büyük izolatör deplasmanı hata oranı.
- MR<sub>Sx</sub>** : lokal x doğrultusunda oluşan ortalama en büyük kesme kuvveti hata oranı.
- MR<sub>Sy</sub>** : lokal y doğrultusunda oluşan ortalama en büyük kesme kuvveti hata oranı.
- MR<sup>\*</sup><sub>DRX</sub>** : global X doğrultusunda oluşacak ortalama en büyük görelî kat öteleme yeni hata oranı.
- MR<sup>\*</sup><sub>DRY</sub>** : global Y doğrultusunda oluşacak ortalama en büyük görelî kat öteleme yeni hata oranı.
- MR<sup>\*</sup><sub>IDX</sub>** : global X doğrultusunda oluşacak ortalama en büyük izolatör deplasmanı yeni hata oranı.
- MR<sup>\*</sup><sub>IDY</sub>** : global Y doğrultusunda oluşacak ortalama en büyük izolatör deplasmanı yeni hata oranı.
- NLT** : lineer olmayan izolasyon sistemi.
- Q** : karakteristik kuvvet.
- R<sub>DRX</sub>** : DRX<sup>a</sup>'in DRX<sup>c</sup>'ye oranı.

<b>R<sub>DRX</sub></b>	: DR <sup>a</sup> Y <sup>c</sup> 'in DR <sup>c</sup> Y <sup>c</sup> 'ye oranı.
<b>R<sub>IDX</sub></b>	: ID <sup>a</sup> X <sup>a</sup> 'nın ID <sup>c</sup> X <sup>c</sup> 'ye oranı.
<b>R<sub>IDY</sub></b>	: ID <sup>a</sup> Y <sup>a</sup> 'nın ID <sup>c</sup> Y <sup>c</sup> 'ye oranı.
<b>R<sub>Sx</sub></b>	: S <sup>a</sup> x'ın S <sup>c</sup> x'ye oranı.
<b>R<sub>Sy</sub></b>	: S <sup>a</sup> y'ın S <sup>c</sup> y'ye oranı.
<b>R<sup>*</sup><sub>DRX</sub></b>	: DR <sup>a</sup> X <sup>a</sup> 'nın DR <sup>c*</sup> X <sup>c*</sup> 'ye oranı.
<b>R<sup>*</sup><sub>DRY</sub></b>	: DR <sup>a</sup> Y <sup>a</sup> 'nın DR <sup>c*</sup> Y <sup>c*</sup> 'ye oranı.
<b>R<sup>*</sup><sub>IDX</sub></b>	: ID <sup>a</sup> X <sup>a</sup> 'nın ID <sup>c*</sup> X <sup>c*</sup> 'ye oranı.
<b>R<sup>*</sup><sub>IDY</sub></b>	: ID <sup>a</sup> Y <sup>a</sup> 'nın ID <sup>c*</sup> Y <sup>c*</sup> 'ye oranı.
<b>S<sub>x</sub></b>	: 1E kolonunun lokal x doğrultusundaki birinci kat kesme kuvvetlerinin pik değeri.
<b>S<sub>xDBX</sub></b>	: depremin DB bileşenin global X doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal x doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değeri.
<b>S<sub>xDBY</sub></b>	: depremin DB bileşenin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal x doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değeri.
<b>S<sub>xKGX</sub></b>	: depremin KG bileşenin global X doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal x doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değeri.
<b>S<sub>xKGY</sub></b>	: depremin KG bileşenin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal x doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değeri.
<b>S<sub>y</sub></b>	: 1E kolonunun lokal y doğrultusundaki birinci kat kesme kuvvetlerinin pik değeri.
<b>S<sub>yDBX</sub></b>	: depremin DB bileşenin global X doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal y doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değeri.
<b>S<sub>yDBY</sub></b>	: depremin DB bileşenin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal y doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değeri.
<b>S<sub>yKGY</sub></b>	: depremin KG bileşenin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal y doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değeri.
<b>S<sub>xKGY</sub></b>	: depremin KG bileşenin global X doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal y doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değeri.
<b>S<sup>a</sup><sub>x</sub></b>	: depremin herhangi bir a açısıyla binaya etkimesi sonucu bir kolonda lokal x doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti.
<b>S<sup>a</sup><sub>y</sub></b>	: depremin herhangi bir a açısıyla binaya etkimesi sonucu bir kolonda lokal y doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti.
<b>S<sup>c</sup><sub>x</sub></b>	: lokal x yönündeki kolon kesme kuvveti.
<b>S<sup>c</sup><sub>y</sub></b>	: lokal y yönündeki kolon kesme kuvveti.
<b>T<sub>ef</sub></b>	: etkin doğal periyodu.
<b>T<sub>I</sub></b>	: sönümsüz doğal izolasyon periyodu.
<b>T<sub>0</sub></b>	: akma sonrası titreşim periyodu (izolasyon periyodu).
<b>t</b>	: lokal eksenleri yapı global eksenlerine paralel olmayan elemanların (1A, 1E, 5A ve 5E'deki köşe kolonlar) kesit boyutları.
<b>U<sub>x</sub></b>	: X deplasman.
<b>U<sub>y</sub></b>	: Y deplasman.
<b>W</b>	: yapının toplam ağırlığı.
<b>Z<sub>x</sub></b>	: X histeretik değişken.
<b>Z<sub>y</sub></b>	: Y histeretik değişken.
<b>α</b>	: akma sonrası rijitliğin (K <sub>2</sub> ) akma öncesi rijitliğe (K <sub>1</sub> ) oranı.
<b>γ</b>	: kayma yer değiştirmesi.
<b>ζ<sub>I</sub></b>	: lineer izolasyon sisteminin viskoz sönüm oranı.
<b>μ</b>	: kuvvet oranı.

- $\xi_{ef}$  : lineer olmayan izolasyon sistemindeki efektif viskoz sönüm oranı.  
 $\omega_{ef}$  : lineer olmayan sismik izolasyonlu yapının etkin doğal açısal frekansı.  
 $\omega_I$  : sönümsüz doğal açısal frekans.  
 $\omega_0$  : akmadan sonraki açısal frekans.

## ÖZET

### DEPREMİN GELİŞ AÇISININ SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARA ETKİSİ

Depremlerin sebep olduğu kayıpları en aza indirebilmek için alınacak en doğru tedbir depreme dayanıklı yapıların tasarlanmasıdır. Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımına alternatif olarak ortaya çıkan ve yapının depremi neredeyse hiç hasar almadan atlatmasını sağlayan sismik izolasyon sistemleri tüm dünyada olduğu gibi yurdumuzda da giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ancak, deprem yönetmeliklerinde sismik izolasyonlu binaların tasarımını düzenleyen kısımlar henüz tamamen olgunlaşmamıştır. Taban ankastre binalarda kullanılan bazı yöntemler yapısal davranışı taban ankastre yapılardan tamamen farklı olan bu yapılar için aynen kullanılmaktadır. Bunlardan önemli bir tanesi doğrultusal birleştirme kuralıdır. Buna göre; depremin iki bileşeninin yapıya aynı anda etkimesi durumunda elde edilecek sonuçlar sadece ortogonal eksenler doğrultusunda yapılacak tek yönlü deprem analizleri ile ve sonuçlar %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralına göre birleştirilerek elde edilmektedir. Bu kural özellikle ortogonal olmayan yapısal elemanların iç kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, yapının güvenli bir şekilde hareket edebilmesi için yapının çevresinde bırakılacak sismik boşluğun belirlenmesi için sadece ortogonal eksenler doğrultusunda analiz yapılmakta ve izolatör deplasmanlarının hesaplanması için bir doğrultusal birleştirme kuralı önerilmemektedir. Bir diğer önemli husus ise depremin geliş doğrultusunun yapısal cevaba ve doğrultusal birleştirme kuralının uygulanabilirliğine olan etkisidir. Bu çalışmada, doğrultusal birleştirme kuralının sismik izolasyonlu binalarda uygulanabilirliği ve depremin geliş açısının sismik izolasyonlu yapıların dinamik cevaplarına etkisi; sismik izolasyon sisteminin mekanik özellikleri, düşey taşıyıcı elemanların eleman eksenlerinin yapı ana eksenleri ile yaptığı açı, dışmerkezlilik gibi parametreler de göz önüne alınarak gerçekleştirilecek nümerik deneylerle incelenmiştir. Oluşturulan yapısal modeller çeşitli tarihi deprem kayıtlarına farklı açılarla maruz bırakılarak sismik analizler gerçekleştirilmiş, eleman iç kuvvetleri, sismik izolatör deplasmanları ve katlar arası görelî ötelemelerin depremin geliş doğrultusuna bağlı olarak nasıl değiştiği ve %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralının sismik izolasyonlu yapılara uygulanabilirliği araştırılmıştır. Sonuçta, birleştirme kuralı ile hesaplanan yapısal niceliklere ait değerlerin gerçekte oluşabilecek en büyük değerlerden az olduğu görülmüştür.



## **SUMMARY**

### **EFFECT OF INCIDENCE ANGLE OF EARTHQUAKE ON SEISMICALLY ISOLATED BUILDINGS**

Designing earthquake resistant structures is the best precaution to minimize the losses caused by earthquakes. Seismic isolation, which is an alternative to conventional earthquake resistant design and which helps the structure survive a major earthquake almost with no damage, is being used world wide more frequently. However, the sections of seismic codes regulating the design of base-isolated structures are not mature yet. Some of the methods used for fixed-base structures are also used for base-isolated structures which have totally different structural behaviors. Of these, directional combination rule is an important one. Accordingly; the results that would be obtained via bi-directional seismic analyses are obtained approximately by combining uni-directional seismic analyses results according to the %100+%30 directional combination rule. This rule is specifically used in the calculation of the internal forces of nonorthogonal structural elements. Additionally, the seismic gap around the structure is determined via seismic analyses along the orthogonal axes only and no directional combination rule is suggested for the calculation of isolator displacements in orthogonal directions. Another important issue is the effect of angle of incidence of an earthquake on the dynamic structural response and the applicability of the directional combination rule. In this study, the applicability of the directional combination rule to seismically isolated buildings and the influence of incidence angle of an earthquake on the dynamic responses of seismically isolated buildings are investigated via numerical experiments in which the influence of various parameters including mechanical properties of the seismic isolation system, the orientation of the member axes of vertical structural members with respect to the main structural axes, and eccentricity are taken into account. Benchmark structural models are subjected to historical earthquakes with different incidence angles and the time history analyses are carried out to investigate the variation of internal member forces, displacements of seismic isolators and inter-story drifts; and the applicability of the 100%+30% directional combination rule in seismically isolated buildings. In conclusion, it is seen that the structural response quantities obtained by directional combination rule are smaller than actual ones.

## 1. GİRİŞ

### 1.1 DEPREMLER VE ETKİLERİ

Deprem, yer kabuğunun dinamik devinimine bağlı faylarda biriken enerjinin açığa çıkmasıyla oluşur. Dünyada her yıl irili ufaklı birçok deprem olmaktadır. Bu sarsıntılar, kimi zaman hissedilmemekte, kimi zaman da yapılara çok büyük zarar vermektedir. Literatüre girmiş önemli depremlerden sadece üçünde, yani 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge ve 1995 Kobe Depremleri'ndeki toplam maddi hasar 170 Milyar Dolar civarındadır (Alhan ve Gavin, 2005). Son yıllarda meydana gelen depremlerden 12 Mayıs 2008 tarihli Sichuan Depremi'nde ( $M_w = 7.9$ ) resmi kayıtlara göre en az 60 000 can kaybı meydana gelmiş ve yıkılan bölgelere harcanacak miktar 146,5 milyar dolar olarak açıklanmıştır (wikipedia, 2010).

Depremler, yer aldığı kırık kuşağının aktifliği dolayısıyla ülkemizi de ciddi bir şekilde tehdit etmektedir. Dolayısıyla, ülkemizdeki yapı stoğunun ve nüfusun büyük çoğunluğu deprem riski altındadır. Son olarak, 8 Mart 2010 tarihinde Elazığ'da meydana gelen  $M_w = 6.0$  büyüklüğündeki deprem (YDBE, 2010) 50'den fazla can kaybına ve maddi hasara yol açmıştır. Ülkemizde yaşanan her yıkıcı depremden sonra yapılarımızın neden depremde yıkıldığı sorusu sorulmuş ve depreme dayanıklı yapı tasarımının önemi her seferinde bir kez daha ortaya acı bir şekilde konmuştur.

### 1.2 DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIM YÖNTEMLERİ

Tarihsel gelişim sürecinde, yapı tasarımında önceleri yalnızca yapının kendi ağırlığı ve hareketli yükler gözönüne alınmış, deprem yükleri hesaba katılmamıştır. Ancak, yaşanan depremler sonrasında, yapıya yatay deprem yüklerinin de etkilmesi gerekliliği anlaşılmış ve deprem yüklerine karşı tasarımı içeren ilk deprem yönetmeliği 1927'de ABD'de Uniform Building Code (ICBO, 1997) adıyla yayınlamıştır (Chen ve Scawthorn, 2003). Deprem yüklerine karşı tasarımda kullanılan iki ana yöntemden

birincisi geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımı, ikincisi ise sismik izolasyon ve enerji sönümlenme yöntemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımında, ekonomik olarak mümkün olması açısından tasarım deprem yüklerinin ancak belli bir oranı elastik sınırlar içerisinde karşılanabilmektedir. Bu sınırı aşan deprem yüklemelerinde, sünekliğin devreye gireceği inelastik deformasyonlarla enerji yutulması planlanmaktadır. Dünyada mevcut pek çok deprem yönetmeliğinde olduğu gibi, Türk Deprem Yönetmeliği'nde de (TDY, 2007) bu yaklaşım esastır. Bu yönetmeliğin genel ilkeler kısmında (TDY 2007 - Bölüm 1.2) şu ifade mevcuttur: “Yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde oluşacak yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise, can güvenliğinin sağlanması amacıyla kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır”. Şiddetli depremlerde sadece toptan göçmenin önleneyeceği ancak hasarın kabul edilebileceği açıktır. Binanın deformasyonlarının ve hasar seviyesinin azaltılabilmesi için yapı elemanlarının boyutlarında artış öngörülebilir. Ancak bu durumda da, artan rijitlik dolayısıyla kat ivmeleri artacağından bina içinde bulunan eşyalar hasar görebilir (Komodromos, 2000).

Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımına alternatif olarak, son dönemde ortaya çıkan yeni yaklaşımla, yapının enerji tüketme kapasitesini inelastik deformasyonlarla arttırmak yerine sismik izolasyon yöntemi kullanılarak yapıya aktarılan deprem yüklerinin azaltılması yoluna gidilmektedir. Deprem sırasında yapının temeline ve oradan da yapıya iletilen enerji miktarını azaltmak amacıyla temel ile kolonlar arasına yatay rijitliği düşük, düşey rijitliği yüksek mesnetler yerleştirilerek sismik izolasyonlu yapılar oluşturulmaktadır. Yüksek düşey rijitlik canlı ve ölü yüklerin güvenle taşınmasını sağlarken düşük yatay rijitlik sayesinde de yapının periyodu uzatılarak deprem hakim periyodunun bulunduğu aralığın dışına çıkılır ve böylece yapıya etkiyen deprem yükleri azaltılmış olur. Ayrıca, sismik izolasyon sistemindeki sönümlenme mekanizmaları sayesinde deprem enerjisinin bir kısmı yapıya iletilmeden sönümlenir. Sismik izolasyonlu yapıların dinamik davranışının incelendiği pek çok çalışma literatürde mevcuttur (Buckle ve Mayes, 1990; Kelly, 1997; Naeim ve Kelly, 1999;

Komodromos, 2000; Ateş ve Dumanoglu, 2003; Matsagar ve Jangid, 2004; Deb, 2004; Alhan ve Gavin, 2005).

### **1.3 DEPREMİN GELİŞ AÇISININ ETKİLERİ VE DOĞRULTUSAL BİRLEŞTİRME KURALI KONUSUNDA YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Sismik izolasyonlu yapıların davranışları taban ankastre yapılardan oldukça farklıdır. Yapısal cevabın neredeyse tamamında birinci modun etkisi vardır. Sismik izolasyonlu bir yapının yapacağı deplasmanın çok büyük kısmı üst yapıya göre çok esnek olan izolasyon sisteminde meydana gelmekte ve üst yapı rijit bir blok gibi hareket etmektedir. İzolasyon sistemi lineer olmayan bir davranış göstermekte; etkin rijitlik ve etkin sönüm kullanılarak lineer modellenen sistemlerde ise üst yapı ve izolasyon sistemi arasındaki büyük sönüm farkı nedeniyle klasik olmayan sönüm ortaya çıkmaktadır (Alhan ve Gavin, 2004). Dolayısıyla, taban ankastre yapılar için deprem yönetmeliklerinde var olan bazı kuralların sismik izolasyonlu yapılar için uygulanabilirliğinin araştırılması gerekmektedir. Bunlardan önemli bir tanesi, Uniform Building Code (ICBO, 1997), International Building Code - ASCE (ASCE, 2006) ve Türk Deprem Yönetmeliği (TDY, 2007) gibi yönetmeliklerde yer alan depremin ortogonal etkilerini dikkate alan %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralıdır. Esasen, yapısal elemanların ana eleman eksenleri doğrultularındaki pik iç kuvvetleri, muhtemel her deprem doğrultusu için bir yapısal analiz yapılarak elde edilecek en büyük değerler olmaktadır. Dolayısıyla, depremin yapıya etkime doğrultusunun sismik analizlerde göz önüne alınması gerekmektedir (Cakiroğlu, 1980; Cheng ve Ger, 1990). Ancak, pratikte uygulanması zor olan bu yöntem yerine deprem yönetmeliklerinde önerilen doğrultusal birleştirme kuralı sayesinde sadece ortogonal yapı ana eksenleri doğrultusunda analizler yapılmaktadır.

Literatürde, depremin doğrultusunun yapısal cevaba olan etkilerini inceleyen araştırmalardan önemli bir tanesi %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralının yapısal niceliklerin hesaplanmasındaki yetersizliğinin de tartışıldığı çalışmadır (Wilson ve Suharwardy, 1995). Benzer şekilde, depremlerin yapılara farklı açılarla etkilmesi ile elde edilecek pik yapısal değerlerin hesaplanmasında %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralının yetersiz kaldığını gösteren çalışmalarında Fernandez-Davilla ve

diğ (2000) yer hareketine maruz kalan elastik beş katlı bir yapıyı incelemişlerdir. Tezcan ve Alhan (2001) ise taban ankastre beş katlı bir yapıda farklı oryantasyonlara sahip ortogonal olmayan perde duvarların pik iç kuvvetlerinin hesaplanmasında depremin geliş açısının etkilerinin %100+%30 kuralı ile ne derece güvenli olarak hesaba katılabileceğini incelemişlerdir. Rigato ve Medina (2007) ise depremin geliş açısının tek katlı inelastik yapılar üzerindeki etkisini 39 adet deprem kaydını simetrik ve asimetrik yapılara etkitererek yaptıkları doğrusal olmayan analizlerle incelemişler ve depremin sadece ortogonal doğrultularda etkilerek yapılacak analizlerin yetersizliğine işaret etmişlerdir. Literatürde, depremin geliş açılarının etkilerinin yapısal cevaba olan etkileri ve farklı yapısal niceliklerin en büyük değerine ulaştığı kritik deprem geliş açısının araştırıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur (Lopez ve Torres, 1997; Lopez ve diğ, 2000; MacRae ve Mattheis, 2000; Hernandez ve Lopez, 2002; Anthanatopoulou, 2005).

#### **1.4 AMAÇ VE KAPSAM**

Yukarıda özetlenen ve depremin geliş doğrultusunun ve ikili ortogonal sismik analizlerin etkilerinin incelendiği, %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralının yeterliliğinin tartışıldığı çalışmaların tümü taban ankastre yapılar için gerçekleştirilmiştir. Literatürde bu etkilerin sismik izolasyonlu yapılar kapsamında incelendiği çok az sayıda çalışma mevcuttur. Yapılan literatür taramasında, ikili ortogonal deprem etkilerinin %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralı ile sismik izolasyonlu yapıların tasarım deplasmanlarının hesaplanmasında kullanılıp kullanılmayacağı araştırıldığı çalışma (Tena-Colunga ve Perez-Osornio, 2006) ve bu etkilerin araştırılmasının önerildiği çalışma (Tena-Colunga ve Gomez-Soberon, 2002) dışında herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmalarda ise depremin geliş açılarının etkileri inceleme kapsamında değildir. İrdelenen yapısal cevap parametresi ise sadece izolatör deplasmanları olup ortogonal olmayan yapısal elemanların iç kuvvetlerinin hesabı veya katlar arası görelî ötelemeler ile ilgili bir bilgi mevcut değildir.

Bu çalışmanın amacı ve kapsamı, aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. İzolasyon periyotları farklı, lineer ve lineer olmayan davranış gösteren sismik izolasyon sistemlerine sahip, simetrik ve asimetrik yapısal modellerin SAP2000 sonlu elemanlar programında modellenerek sismik izolasyonun sismik performansı arttırıcı etkilerinin ortaya konulması.
2. Depremin sismik izolasyonlu yapılara farklı açılarla etkimesi durumunda izolatör deplasmanlarında, ortogonal olmayan yapısal elemanların iç kuvvetlerinde ve katlar arası görelî ötelemelerde meydana gelecek değişim aralığının oluşturulan modeller üzerinde yapılacak nümerik deneylerle incelenmesi.
3. Yönetmeliklerde taban ankastre yapılar için önerilen %100+%30 deprem doğrultusu birleştirme kuralının sismik izolasyonlu binalara uygulanabilirliğinin araştırılması.
4. Yukarıda belirtilen Madde 2 ve Madde 3 ile ilgili bulguların üst yapıdaki dışmerkezlik, izolasyon periyodu, izolasyon sisteminin lineer veya nonlineer olması ve kolon eksenlerinin yapı ana eksenleriyle yaptığı açı gibi parametrelere olan duyarlılığının incelenmesi.

## 2. GENEL KISIMLAR

Geçen yüzyıl içerisinde, binaların altına binayı zeminden ayıracak kayar türde çeşitli mesnetlerin veya kum benzeri tabakaların kullanıldığı, sismik izolasyon adını verebileceğimiz yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan ilk yapılanlardan kayda değer örnekler arasında kayar mesnetler üzerine inşa edilmiş olan Sivastopol'daki bina ve Mexico City'de bulunan beş katlı okul binası sayılabilir. Çin'de yapılan ilk örneklerden birisi olan bina ile temeli arasına, deprem esnasında kayabilmesini sağlamak amacıyla bir kum katmanı yerleştirilmiştir (Bertero ve Bozorgnia, 2004).

1960'lı yıllara gelindiğinde sismik izolasyon tekniği modern anlayışa kavuşmuş ve 1969 yılında kauçuk mesnetlerin kullanıldığı bir izolasyon sistemine sahip olan üç katlı yapı Yugoslavya'da inşa edilmiştir (Tezcan ve Cimilli, 2002). 1980'li yıllara gelindiğinde, günümüzde de sismik izolasyonun en yaygın olarak kullanıldığı ülkeler olan Japonya, Amerika Birleşik Devletleri ve Yeni Zelanda'da ilk uygulamalar ortaya çıkmıştır (Komodromos, 2000; Kelly, 1997). Bu ülkelerle birlikte 2000'li yıllara gelindiğinde, Ermenistan, Şili, Çin, Endonezya, İtalya ve Özbekistan gibi ülkeleri de kapsayacak şekilde sismik izolasyon uygulamaları yaygınlaşmaya başlamıştır (Bertero ve Bozorgnia, 2004).

Ülkemizde ilk olarak Adana-Tarsus-Gaziantep Otoyolu Proje'sinin Atatürk Viyadüğü'nde kullanılmış olan sismik izolasyon daha sonra Bolu Dağı Viyadüklerinde ve Atatürk Havalimanı'nda Dış Hatlar Terminal Bina'sının çatı kısmı ile kolon bağlantılarında kullanılmıştır. Antalya Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı Uluslararası Terminal Binası ve MR Uçak Hangarı sismik izolasyon tekniğinin ülkemizdeki diğer uygulama örnekleridir. Ayrıca Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi, Erzurum Devlet Hastanesi ve Tarabya Oteli'nin güçlendirilmesinde; Ankara Büyükşehir Belediyesi Ego Genel Müdürlüğü Söğütözü Kongre ve Ticaret Merkezi'nde ve Aliğa'da sıvı doğal gaz depolarında sismik izolasyon sistemi kullanılmıştır (Arkitera, 2009; Erdik, 2009).

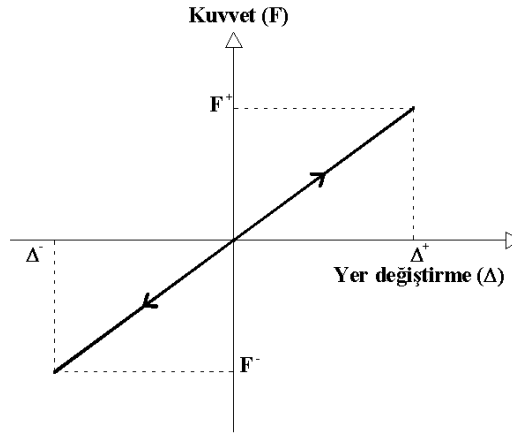
Deprem esnasında oluşan deprem dalgaları yer kabuğundan temele ulaşır. Temele ulaşan bu titreşim hareketi temelden diğer yapı elemanlarına ve binanın üst katlarına

doğru iletilir. Bu titreşim hareketi yapının taşıyıcı sisteminde atalet kuvvetleri oluşturarak taşıyıcı sistemde zorlanmalara neden olur. Bu zorlanmaları engellemek amacıyla yapının temeliyle taşıyıcı elemanları ayrılarak veya kolonların ve perdelerin alt, orta veya üst kısımlarına kayıcı veya elastomer mesnetler konularak sismik yalıtım sistemleri oluşturulmuştur (Celep ve Kumbasar, 2004). Sismik yalıtım sayesinde alçak ve orta katlı binaların doğal periyotları uzatılır ve depremlerin hakim periyotlarının da bulunduğu aralığa denk gelen yaklaşık 0.2 s-0.7 s aralığından çıkartılarak yaklaşık 2 s - 3 s aralığına çekilir. Böylece yapıya gelen deprem yüklerinde önemli azalmalar sağlanır (Buckle et al, 1990; Alhan ve Göktaş, 2009; Alhan ve Altun, 2009).

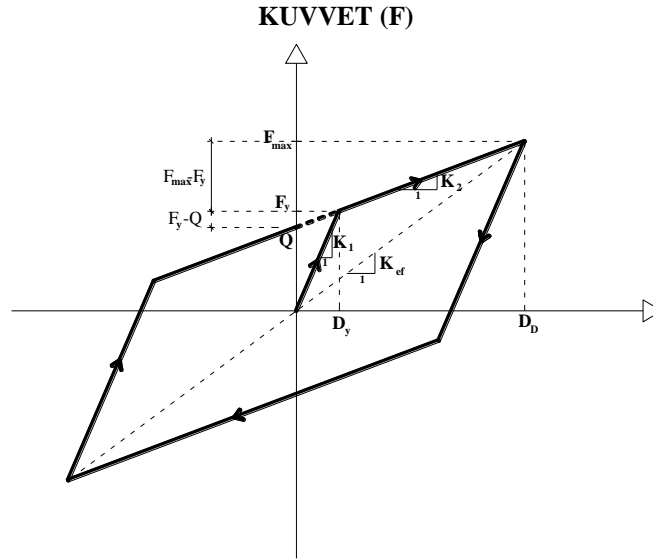
Sismik yalıtım sistemlerinin birçok çeşidi olmakla birlikte elastomer ve kauçuk mesnetler veya kayma yüzeyleri teflon veya paslanmaz çelik olan kayıcı sistemler en fazla kullanılan türlerdenidir (Naeim ve Kelly, 1999). Kayıcı mesnetler sürtünme prensibine dayanır. Kuvvet belli bir seviyeye kadar iletilmekte; sınır değeri aşıldığında ise ötelenme hareketi başlamaktadır. Sistemde kullanılan kayma yüzeyleri genelde paslanmaz çelik veya teflondan yapılmaktadır. En çok kullanılan çeşidi sürtünmeli sarkaç mesnetidir (Zayas et al, 1987). Ayrıca Fransız Elektrik Kurumu sistemi, TASS sistemi ve EERC Bileşik Sistemi de kayıcı mesnetlerin birer çeşididir (Nagarajaiah et al, 1991b).

Elastomer (kauçuk) mesnetler doğal veya yapay kauçuk kullanılarak yapılır. Kauçuk tabakalarının arasına düşey rijitliği artırmak için ince çelik levhalar konur. Elastomer mesnetler düşük sönümlü kauçuk mesnetler, yüksek sönümlü kauçuk mesnetler ve kurşun saplamalı kauçuk mesnetler olmak üzere üç sınıfa ayrılır (Ateş ve Dumanoglu, 2003; Deb, 2004; Baştuğ, 2004; Kelly, 1997). Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin sönüm oranı %5 civarındadır ve doğrusal (lineer) davranış sergiler (Şekil 2.1). Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin sönüm oranı artırılmış olup (%10 civarında) ikili lineer modellenebilecek lineer olmayan (nonlineer) davranış sergilerler (Şekil 2.2). Kurşun çekirdekli mesnetlerde; düşük ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerden farklı olarak yüksek sönüm elde etmek için (%10 ile %20 arasında) mesnetin ortasına kurşun çekirdek konulmuştur. Şekil değiştirme davranışı olarak yüksek sönümlü kauçuk mesnetin şekil değiştirme davranışına benzerdir (Built, 1982; Kelly, 2001; Nagarajaiah et al, 1991a).



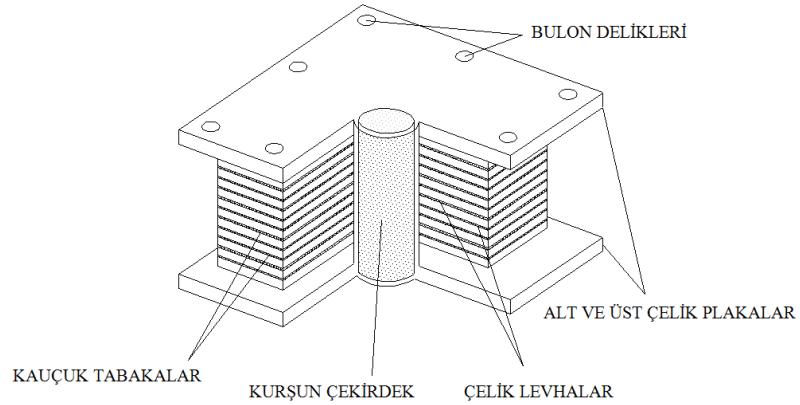


Şekil 2.1: Lineer davranış gösteren kauçuk mesnet (Şahin, 2008)



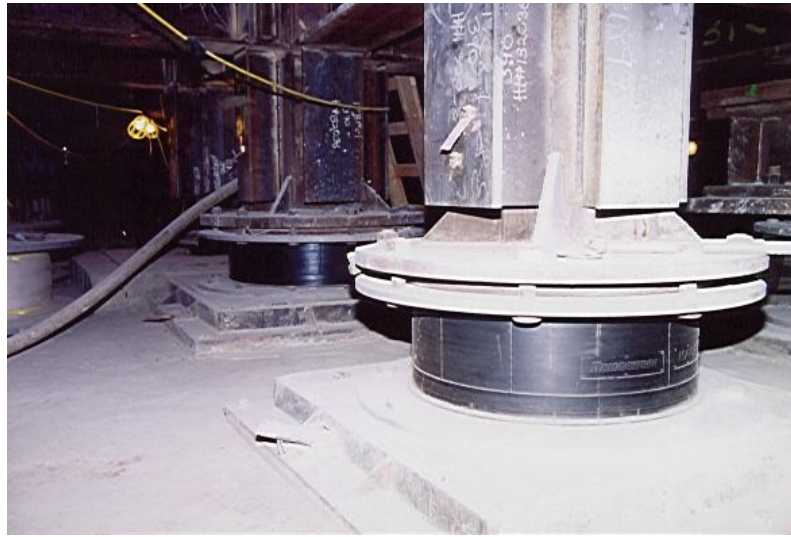
Şekil 2.2: Lineer olmayan davranış gösteren kauçuk mesnet (Şahin, 2008)

Elastomer mesnetler düşük yatay rijitliğe ve yüksek düşey rijitliğe sahiptir. Düşük yatay rijitlik sayesinde yapının doğal periyodu arttırılıp kat ivmeleri önemli ölçüde düşürülürken yüksek düşey rijitlik sayesinde de canlı ve ölü yükler rahatlıkla taşınır (Celeb ve Kumbasar, 2004; Kelly, 1997). Elastomer mesnetler genellikle kare veya dairesel kesite sahiptir. Yatayda düşük rijitliği sağlayan kauçuk tabakaların düşeyde yüksek rijitliği sağlayan çelik levhalarla birlikte kullanıldığı tipik bir kauçuk sismik izolatör Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Şekildeki kurşun çekirdek sadece kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerde bulunup düşük sönümlü ve yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerde bulunmamaktadır.



Şekil 2.3: Kauçuk Sismik İzolatör (Şahin,2008)

Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Kaliforniya Eyaleti'nde bulunan Los Angeles Şehri'ndeki Los Angeles City Hall Binası'nın depreme karşı güçlendirilmesinde sismik izolasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yapıda kullanılan yüksek sönümlü kauçuk mesnetler Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4: Los Angeles City Hall Binası'nın sismik izolasyonu  
(Fotoğraf: Seismic Isolation Engineering-SIE Inc.)

Şekil 2.5'te ise yine Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Kaliforniya Eyaleti'nde bulunan UC Berkeley Üniversitesi Hearst Memorial Mining Building Binası'nın depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılan yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerine ait deneyden bir fotoğraf görülmektedir. Bu fotoğraftan da açıkça görüleceği üzere kauçuk mesnetler çok büyük deformasyon kapasitesine sahiptirler.



Şekil 2.5: UC Berkeley - Hearst Memorial Mining Building Binası için kullanılan kauçuk mesnetlerin prototip deneyi (Fotoğraf: Seismic Isolation Engineering-SIE Inc.)

Lineer davranış gösteren kauçuk mesnetlerin oluşturduğu lineer izolasyon sistemlerinin modellemesinde,  $K_1$  izolasyon sisteminin rijitliği,  $\xi_1$  izolasyon sisteminin viskoz sönüm oranı,  $C_1$  lineer izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısı,  $T_1$  sönümsüz doğal izolasyon periyodu ve  $\omega_1$  sönümsüz doğal açılal frekans olmak üzere, izolasyon sisteminin üstündeki yapının rijit bir blok gibi hareket ettiği göz önüne alınarak ve tek serbestlik dereceli sistem davranışı kabulü ile

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_1 g}}$$

(2.1)

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}$$

(2.2)

$$\xi_1 = \frac{C_1}{2M\omega_1}$$

(2.3)

olarak verilebilir (Skinner et al, 1993). Burada,  $W$  yapının toplam ağırlığı,  $M$  yapının toplam kütesini ifade etmektedir. Lineer olmayan davranış gösteren kurşun çekirdekli veya yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin modellenmesi çeşitli kaynaklarda detaylı bir şekilde anlatılmıştır (Naeim ve Kelly, 1999, Tezcan ve Cimilli, 2002; Şahin, 2008) ve

burada kısaca özetlenecektir. Bu sistemlerin modellemesinde öncelikle etkin rijitlik,  $K_{ef}$  tanımı yapılır

$$K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_D} \quad D \geq D_y$$

(2.4)

Burada  $D_y$  akma yer değiştirmesi,  $D_D$  maksimum yer değiştirme ve  $Q$  karakteristik kuvvettir (Şekil 2.2).

Karakteristik kuvvet

$$Q = F_y - K_2 D_y$$

(2.5)

olarak da verilebilir. Akma sonrası rijitliğin ( $K_2$ ) akma öncesi rijitliğe ( $K_1$ ) oranı

$$\alpha = \frac{K_2}{K_1}$$

(2.6)

ve akma öncesi rijitlik ile akma deplasmanı arasındaki bağıntı

$$\frac{F_y}{D_y} = K_1 \quad (D \leq D_y)$$

(2.7)

şeklinde ifade edilir. İki farklı rijitlik bulunması dolayısıyla, tek bir periyottan söz edilemez ve lineer olmayan sismik izolasyonlu yapının etkin doğal açısal frekansı ve etkin doğal periyodu sırasıyla,

$$\omega_{ef} = \sqrt{\frac{K_{ef} g}{W}} = \sqrt{K_2 \frac{g}{W} + \frac{Qg}{WD}} = \sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}}$$

(2.8)

$$T_{ef} = \frac{2\pi}{\omega_{ef}}$$

(2.9)

şeklinde verilir. Burada,  $\mu = Q/W$  kuvvet oranı olarak bilinir ve  $g$  yerçekimi ivmesidir.

$\omega_0$  akma sonrası açısal frekans

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_2}{M}}$$

(2.10)

ayrıca, akma sonrası titreşim periyodu (izolasyon periyodu)  $T_0$

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_2}}$$

(2.11)

şeklinde verilir.

Benzer şekilde tek bir sönüm oranından söz edilemeyeceğinden etkin viskoz sönüm oranı tanımı yapılır. Buna göre etkin viskoz sönüm oranı :

$$\xi_{ef} = \frac{W_D}{2\pi\Gamma_{ef}D^2}$$

(2.12)

veya

$$\xi_{ef} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi\Gamma_{ef}D^2}$$

(2.13)

Kauçuk mesnetin hareketi sırasında, x ve y doğrultusunda  $Z_x$  ve  $Z_y$  histeretik değişkenler ve  $U_x$  ve  $U_y$  deplasmanlar olmak üzere, enine ve boyuna doğrultuda oluşan histeretik kuvvetler,  $f_x$  ve  $f_y$ ;

$$f_x = \alpha \frac{F_y}{D_y} U_x + (1 - \alpha) F_y Z_x$$

(2.14a)

$$f_y = \alpha \frac{F_y}{D_y} U_y + (1 - \alpha) F_y Z_y$$

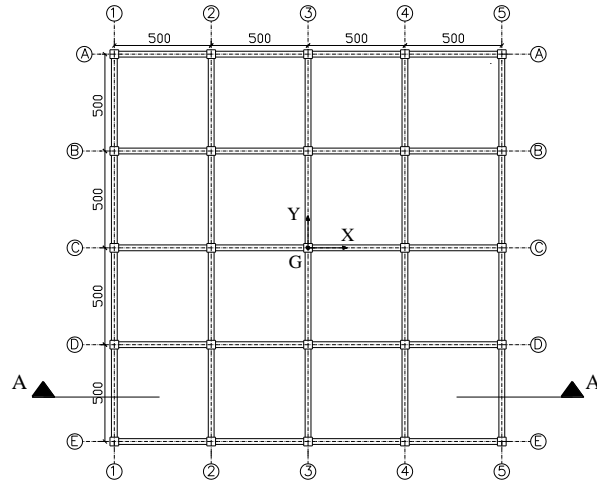
(2.14b)

şeklinde ifade edilir (Nagarajiah, 1991; Tezcan ve Cimilli, 2002). Sismik izolasyonlu sistemlerin modellenmesinde sıklıkla kullanılan SAP2000 programı (CSI, 2005), kauçuk mesnetlere ait akma kuvveti, akma öncesi rijitlik, akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı, etkin rijitlik ve eşdeğer viskoz sönüm katsayısının girdi olarak verilmesi durumunda bu sistemlerin lineer ve lineer olmayan zaman tanım alanında analizlerini yapabilmektedir.

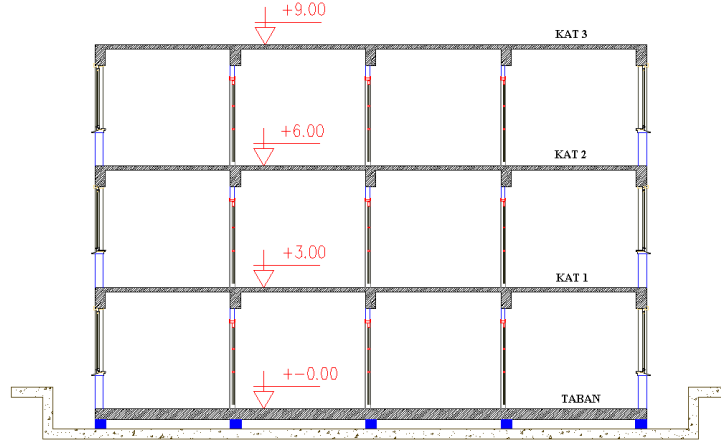
### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1.ÜST YAPININ ÖZELLİKLERİ

Bu çalışma kapsamında kullanılan sismik izolasyonlu bina modeli üç katlı olup taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve olarak seçilmiştir. Tipik kat planları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Binaya ait A-A kesiti Şekil 3.2’de verilmiş olup, aynı prototip üst yapı modeli Alhan ve Göktaş (2009) ve Alhan ve Altun (2009) tarafından yapılan çalışmalarda da kullanılmıştır. Her katta X ve Y yatay yönlerinde ve Z ekseninde olmak üzere 3 adet serbestlik derecesi vardır. Toplam serbestlik derecesi taban katı dahil olmak üzere 12 adettir. Her katın kütlesi 320 ton olup G kütle merkezinde toplanmış olarak modellenmiştir. Katlara ait kütle atalet momentleri ise 21333 tm’dır. Yapı toplam kütlesi taban katı dahil  $M=4 \times 320=1280$  ton ve buna göre toplam yapı ağırlığı  $W=12557$  kN’dur. Beton kalitesi C30 ve elastisite modülü  $E=32000$  MPa’dır. X ve Y yönünde 500 cm’lik 4 adet açıklık olup kat yükseklikleri 3.0 m’dir. Tüm kirişler  $30 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$  ve tüm kolonlar  $45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$  olarak modellenmiştir. Ancak köşe kolonların boyutları ve oryantasyonları daha sonra detaylı olarak anlatılacağı üzere parametrik çalışma kapsamında farklı analizler için kullanılan modellerde farklılık gösterebilmektedir. Taban ankastre periyodu her iki yatay yönde (X ve Y) 0.35 s ve üst yapı modal sönüm oranı 0.05’dir.



Şekil 3.1: Model binaya ait tipik kat planı (Tüm birimler cm’dir).



Şekil 3.2: Model binaya ait A-A kesiti (Alhan ve Altun, 2009).

### 3.2.SİSMİK İZOLASYON SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ

Sismik izolasyon sistemi kolonlar ile temel arasına yerleştirilen kauçuk mesnetlerden oluşmaktadır. Lineer ve lineer olmayan davranışa sahip iki tip izolasyon sistemi de göz önüne alınmıştır.

#### 3.2.1 Lineer İzolasyon Sistemi

$T_1 = 2$  s ve  $T_1 = 3$  s olmak üzere iki farklı izolasyon periyoduna sahip ve izolasyon sönüm oranları  $\zeta_1 = \%10$  olan lineer izolasyon sistemleri modellenmiştir ve sırasıyla LT2 ve LT3 olarak adlandırılmıştır. Bu sistemlere ait doğal açılal frekanslar, izolasyon sistemi rijitlikleri ve viskoz sönüm katsayıları Denklem (2.1) - (2.3) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Lineer izolasyon sistemlerine ait özellikler

İzolasyon Sistemi	$T_1$ (s)	$\omega_1$ (s)	$\zeta_1$ (%)	$K_1$ (kN/m)	$C_1$ (kNs/m)
LT2	2.0	3.140	10	12633	804
LT3	3.0	2.093	10	5615	536

#### 3.2.2 Lineer Olmayan İzolasyon Sistemi

İki farklı akma sonrası izolasyon periyoduna ( $T_0 = 2$  s ve  $T_0 = 3$  s) sahip olan izolasyon sistemleri modellenmiştir. Lineer olmayan izolasyon sistemlerinde akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı  $\alpha$ , tipik olarak 0.1 ile 0.2 arasında değerler

almaktadır. Benzer şekilde, akma deplasmanları tipik olarak 5 mm ile 15 mm arasında değişmektedir. Bu çalışmada göz önüne alınan lineer olmayan izolasyon sistemlerine ait  $\alpha$  değeri 0.1 olarak kabul edilmiştir.  $T_0 = 2$  s ve  $T_0 = 3$  s olan sistemlere ait akma deplasmanları ise sırasıyla 5 mm ve 8 mm'dir. Bu sistemlere ait doğal açılal frekanslar, izolasyon sistemi rijitlikleri, akma rijitlikleri, karakteristik kuvvetler ve kuvvet oranları Denklem (2.5)-(2.7) ve (2.10)-(2.11) kullanılarak hesaplanarak Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Lineer olmayan izolasyon sistemlerine ait özellikler

İzolasyon Sistemi	$T_0$ (s)	$\omega_0$ (rad/s)	$K_2$ (kN/m)	$\alpha$ (-)	$F_y$ (kN)	$K_1$ (kN/m)	$D_y$ (mm)	Q (kN)	$\mu=Q/W$ (%)
NLT2	2.0	3.14	12633	0.1	631.7	126330	5	568.5	4.53
NLT3	3.0	2.09	5615	0.1	449.2	56150	8	404.3	3.22

### 3.3.PARAMETRİK ÇALIŞMA

Deprem doğrultusunun, sismik izolasyonlu binalardaki lokal eksenleri yapı global eksenlerine paralel olmayan elemanların iç kuvvetleri, görelil kat deplasmanları ve sismik izolatör deplasmanlarına olan etkilerini araştırmak üzere yapılan bu çalışmada göz önüne alınan ana parametreler şunlardır:

- i. deprem doğrultusunun yapı ana eksenleri ile yaptığı açı, a
- ii. eleman lokal eksenleri (1A, 1E, 5A ve 5E'deki köşe kolonlar) ile yapı global eksenleri arasındaki açı, b
- iii. dış merkezlik (eksentrisite), e
- iv. lokal eksenleri yapı global eksenlerine paralel olmayan elemanların (1A, 1E, 5A ve 5E'deki köşe kolonlar) kesit boyutları, t

Yukarıda bahsedilen parametreler, t kesit boyutları hariç, tipik kat planının üzerine işlenerek Şekil 3.3'de sunulmuştur. Şekil 3.4'te ise t kesit boyutları ile ilgili bilgi mevcuttur. Ayrıca, Bölüm 3.2'de tarif edildiği üzere farklı davranış özelliklerine sahip dört çeşit izolasyon sistemi (LT2, LT3, NLT2 ve NLT3) irdelenmiştir.



Deprem doğrultusunun yapı ana eksenleri ile yaptığı  $\alpha$  açısı 0 dereceden başlayarak 180 dereceye kadar 10'ar derecelik artışlar şeklinde göz önüne alınmıştır. Bu kapsamda, Bölüm 3.4' te belirtilen tarihi deprem kayıtlarının Kuzey-Güney (KG) ve Doğu-Batı (DB) bileşenleri, Şekil 3.3'te görüldüğü gibi muhtemel tüm deprem doğrultularını tarayacak şekilde ( $\alpha = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots, 180^\circ$ ) tüm yapısal modellere etki ettirilerek zaman tanım alanı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Eleman lokal eksenleri ile yapı global eksenleri arasındaki açının etkisi plan simetrisini bozmayacak şekilde köşe kolonların hepsi aynı anda Şekil 3.3'de gösterilen yönde  $\beta$  açısı kadar (30, 45 ve 60 derece) döndürülerek elde edilmiştir.

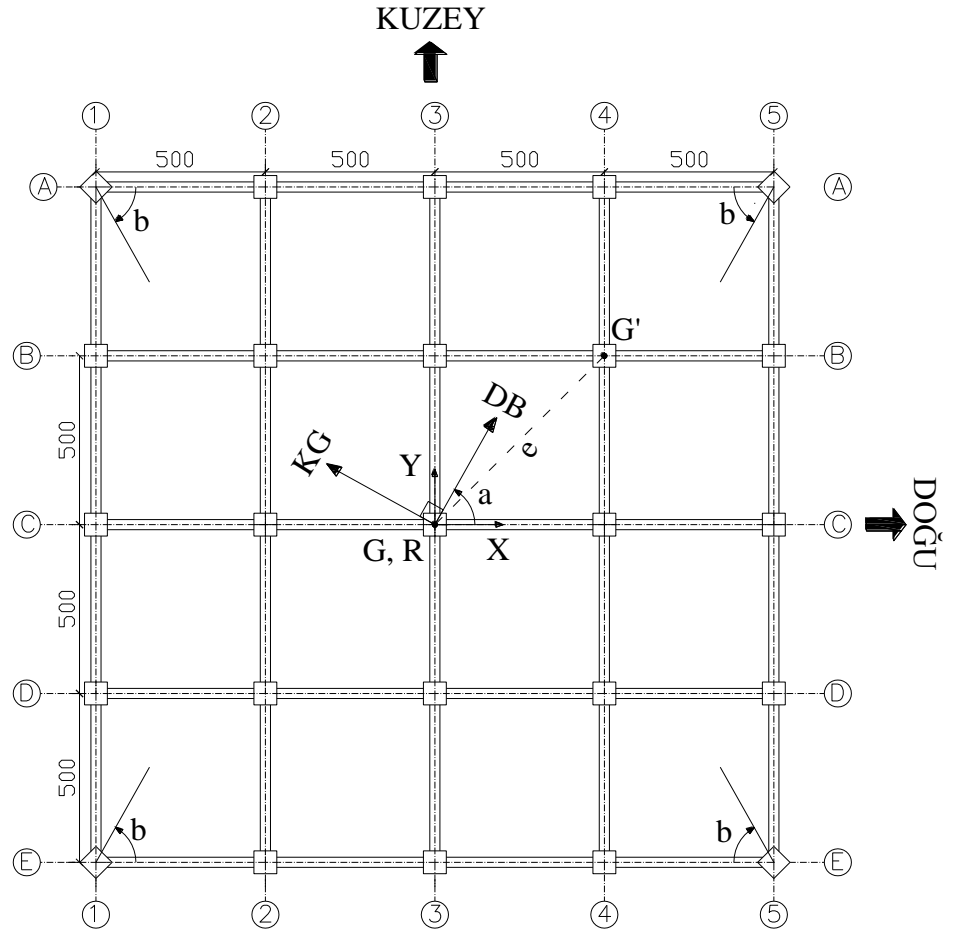
Eksentrisitenin davranış üzerindeki etkisi ise kütle merkezi aynı anda hem +X hem de +Y yönlerinde plan boyutunun %25'i kadar ( $e_x = e_y = 5$  m) kaydırılarak göz önüne alınmıştır. Yani eksentrisitenin bulunduğu durumda ağırlık merkezi (G') Şekil 3.3'de gösterildiği gibi binanın R rijitlik merkezinin ve eksentrisitenin olmadığı ilk duruma ait (G) ağırlık merkezinin  $e = 5\sqrt{2}$  metre kuzeydoğusundadır.

Ayrıca, lokal eksenleri yapı global eksenlerine paralel olmayan elemanların (1A, 1E, 5A ve 5E'deki köşe kolonlar) kesit boyutlarından bir tanesi 45 cm olarak sabit kalmak üzere diğer boyut,  $t = 45$  cm ve  $t = 90$  cm olmak üzere iki farklı şekilde göz önüne alınmıştır (Şekil 3.4).

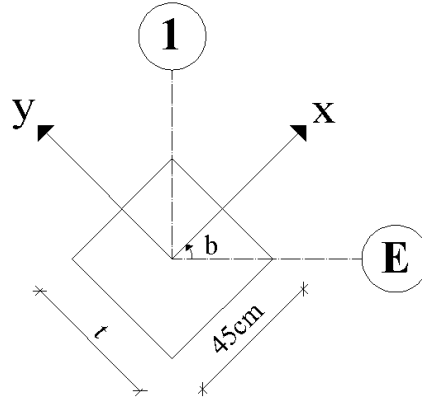
Bölüm 3.4'te detaylı olarak anlatıldığı üzere toplam 13 adet deprem kaydı kullanılarak tüm farklı durumlara ait modeller incelenmiştir. Her bir duruma ait kod isimlendirilmesi "İzolasyon sistemi\_e eksentrisitesi\_b açısı\_t boyutu" şeklinde düzenlenilerek Tablo 3.3'te verilmiştir. Örneğin izolasyon periyodu  $T_1 = 2$  s olan lineer izolasyon sistemine ait, X ve Y yönünde % 25 eksentrisitenin bulunduğu, köşe kolonları  $b = 30$  derece döndürülmüş ve köşe kolon kesit boyutları  $45$  cm  $\times$   $t=90$  cm olan modelin kodu LT2\_e25\_b30\_t90 olacaktır.

Tablo 3.3 Parametreler ve model kodları.

İzolasyon sistemi		Lineer	Lineer	Nonlinear	Nonlinear	
Parametreler		$T_1 = 2$ s	$T_1 = 3$ s	$T_0 = 2$ s	$T_0 = 3$ s	
$e_x=e_y=5$ m ( %0 )	t=45 cm	b=30°	LT2_e0_b30_t45	LT3_e0_b30_t45	NLT2_e0_b30_t45	NLT3_e0_b30_t45
		b=45°	LT2_e0_b45_t45	LT3_e0_b45_t45	NLT2_e0_b45_t45	NLT3_e0_b45_t45
		b=90°	LT2_e0_b90_t45	LT3_e0_b90_t45	NLT2_e0_b90_t45	NLT3_e0_b90_t45
	t=90 cm	b=30°	LT2_e0_b30_t90	LT3_e0_b30_t90	NLT2_e0_b30_t90	NLT3_e0_b30_t90
		b=45°	LT2_e0_b45_t90	LT3_e0_b45_t90	NLT2_e0_b45_t90	NLT3_e0_b45_t90
		b=90°	LT2_e0_b90_t90	LT3_e0_b90_t90	NLT2_e0_b90_t90	NLT3_e0_b90_t90
$e_x=e_y=5$ m ( %25 )	t=45 cm	b=30°	LT2_e25_b30_t45	LT3_e25_b30_t45	NLT2_e25_b30_t45	NLT3_e25_b30_t45
		b=45°	LT2_e25_b45_t45	LT3_e25_b45_t45	NLT2_e25_b45_t45	NLT3_e25_b45_t45
		b=90°	LT2_e25_b90_t45	LT3_e25_b90_t45	NLT2_e25_b90_t45	NLT3_e25_b90_t45
	t=90 cm	b=30°	LT2_e25_b30_t90	LT3_e25_b30_t90	NLT2_e25_b30_t90	NLT3_e25_b30_t90
		b=45°	LT2_e25_b45_t90	LT3_e25_b45_t90	NLT2_e25_b45_t90	NLT3_e25_b45_t90
		b=90°	LT2_e25_b90_t90	LT3_e25_b90_t90	NLT2_e25_b90_t90	NLT3_e25_b90_t90



Şekil 3.3: Parametrelerin tipik kat planı üzerinde şematik gösterimi.



Şekil 3.4: Köşe kolonların lokal eksenleri ve boyutları – örnek: 1E kolonu.

### 3.4. TARİHİ DEPREM KAYITLARI

Bu çalışma kapsamında 13 adet tarihi deprem kaydı kullanılmıştır. Depremler <http://peer.berkeley.edu/smcat> adresinde bulunan Berkeley Üniversite'sine ait "Peer Strong Motion Databank" (Berkeley, 2009) isimli data bankasından elde edilmiştir. Depremlerin isimleri, kodları, tarihleri, faya en yakın olan uzaklıkları, pik yer ivmeleri, pik yer hızları ve pik yer ötelenmeleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

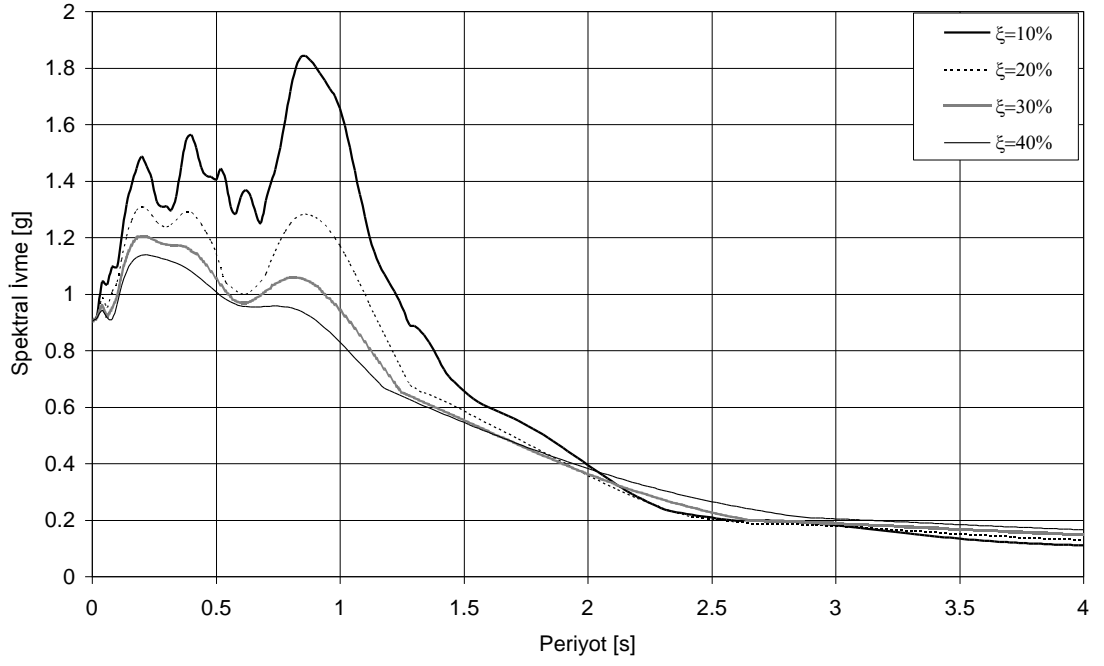
Ayrıca, bu depremlerin Kuzey-Güney (K-G) ve Doğu-Batı (D-B) yatay bileşenlerinin ivme spektrumları Şekil 3.4-3.33'te verilmiştir. Deprem kayıtları faya hem yakın hem uzak mesafeleri içerecek şekilde seçilmiştir. Bunlardan Taft, Friuli ve El Centro kayıtları yüksek frekans içeriğine sahip tipik uzak-mesafe depremleri olup, diğerleri özellikle izolasyonlu yapıları tehdit eden, uzun periyotlu büyük hız impulsarı içeren yakın mesafe depremleridir.

Tablo 3.4 Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarına ait bilgiler.

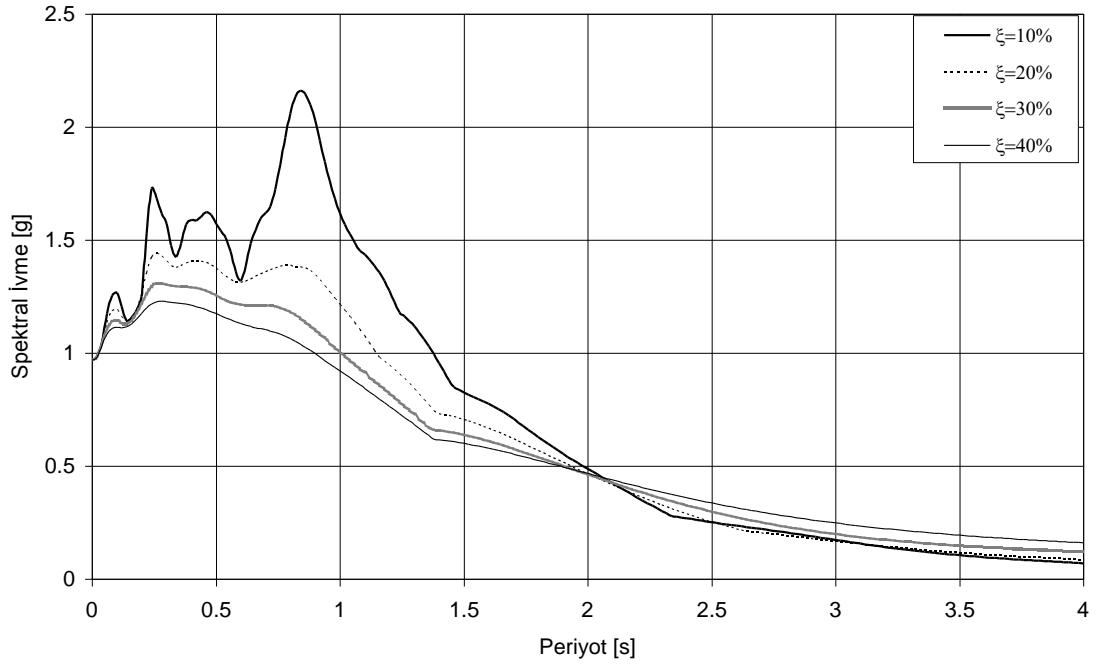
Deprem Adı	Deprem Kodu	Kayıt Tarihi	İstasyon Adı	Uzaklık (km)	Süre (sn)	DOĞU-BATI			KUZZEY-GÜNEY				
						Kayıt Adı	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	Kayıt Adı	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
Chi-Chi,Tayvan	CHY080	20/09/1999	CHY080	6.95*	90.0	CHICHI/CHY080-W	0.968	107.50	18.60	CHICHI/CHY080-N	0.902	102.40	33.97
Chi-Chi,Tayvan	CHY101	20/09/1999	CHY101	11.64*	90.0	CHICHI/CHY101-W	0.353	70.60	45.28	CHICHI/CHY101-N	0.440	115.00	68.75
Düzce, Türkiye	DUZ	12/11/1999	Düzce	8.2*	25.9	DUZCE/DZC180	0.348	60.00	42.09	DUZCE/DZC270	0.535	83.50	51.59
Friuli, İtalya	FRI	06/05/1976	Tolmezzo	37.7†	36.3	FRIULI/A-TMZ000	0.351	22.00	4.10	FRIULI/A-TMZ270	0.315	30.80	5.10
Imperial Valley, ABD	EL	19/05/1940	El Centro	8.3*	40.0	IMPVALL/I-ELC180	0.313	29.80	13.32	IMPVALL/I-ELC270	0.215	30.20	23.91
Imperial Valley, ABD	MELO	15/10/1979	Meloland	0.5*	40.0	IMPVALL/H-EMO000	0.314	71.70	25.53	IMPVALL/H-EMO270	0.296	90.50	31.71
Tabas, İran	TAB	16/09/1978	Tabas	3.0†	32.8	TABAS/TAB-LN	0.836	97.80	36.92	TABAS/TAB-TR	0.852	121.40	94.58
Kobe, Japonya	KO	16/01/1995	KIMA	0.6*	48.0	KOBE/KJM000	0.821	81.30	17.68	KOBE/KJM090	0.599	74.30	19.95
Kocaeli, Türkiye	KOC	17/08/1999	Düzce	12.7*	27.2	KOCAELI/DZC180	0.312	58.80	44.11	KOCAELI/DZC270	0.358	46.40	17.61
Loma Prieta, ABD	LP	18/10/1989	LGPC	6.1*	25.0	LOMAP/LGP000	0.563	94.80	41.18	LOMAP/LGP090	0.605	51.00	11.50
Northridge, ABD	SYL	17/01/1994	Sylmar	6.4*	40.0	NORTH/RYL090	0.604	78.20	16.05	NORTH/RYL360	0.843	129.60	32.68
Northridge, ABD	RI	17/01/1994	Rinaldi	7.1*	15.0	NORTH/RRS228	0.838	166.10	28.78	NORTH/RRS318	0.472	73.00	19.76
Taft, ABD	TAF	21/07/1952	Taft	41*	54.2	KERN/TAF021	0.156	15.30	9.25	KERN/TAF111	0.178	17.50	8.99

PGA: Pik yer ivmesi, PGV: Pik yer hızı, PGD: Pik yer ötelenmesi

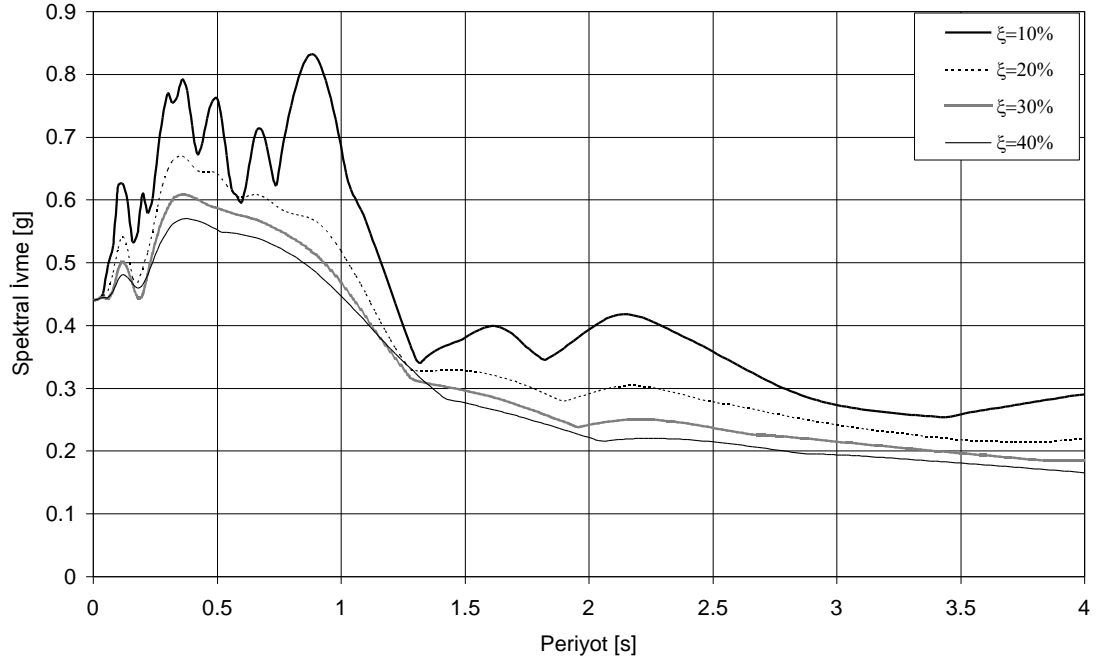
\* Faya En Yakın Uzaklık, † Odak Uzaklığı



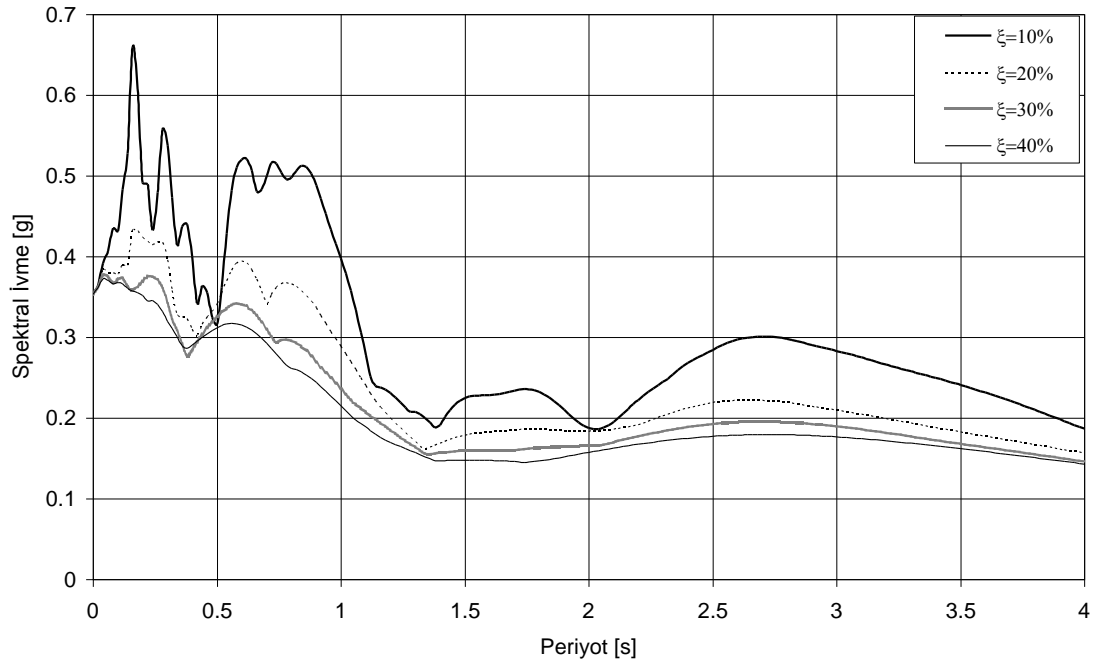
Şekil 3.5: Chi-Chi Depremi CHY080 istasyonuna ait CHY080-N kaydının ivme spektrumu.



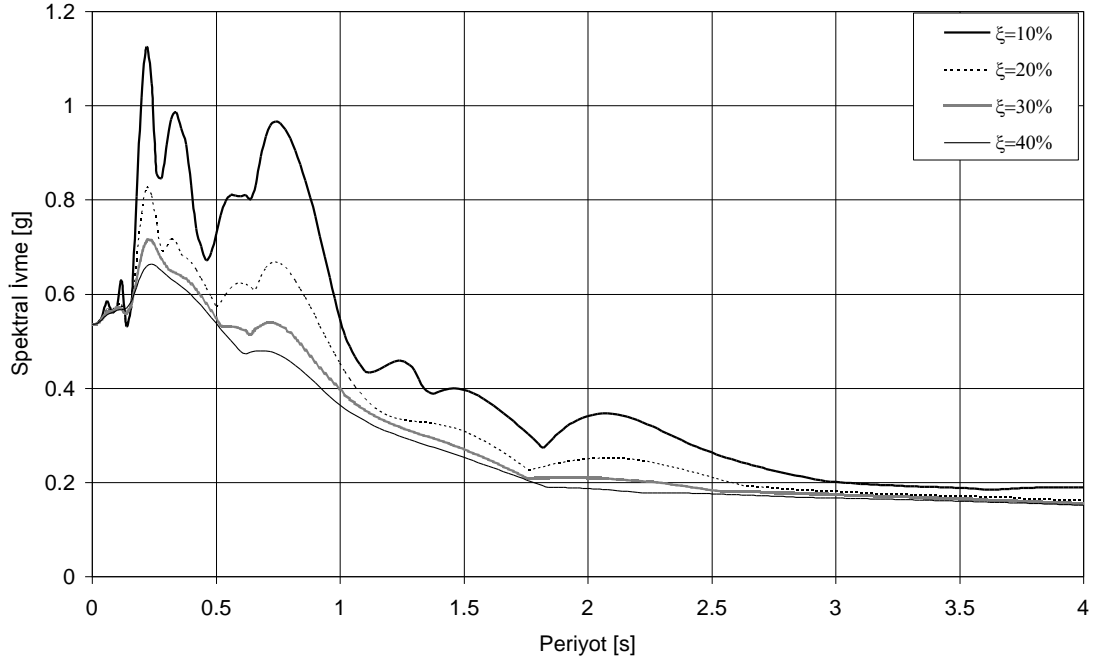
Şekil 3.6: Chi-Chi Depremi CHY080 istasyonuna ait CHY080-W kaydının ivme spektrumu.



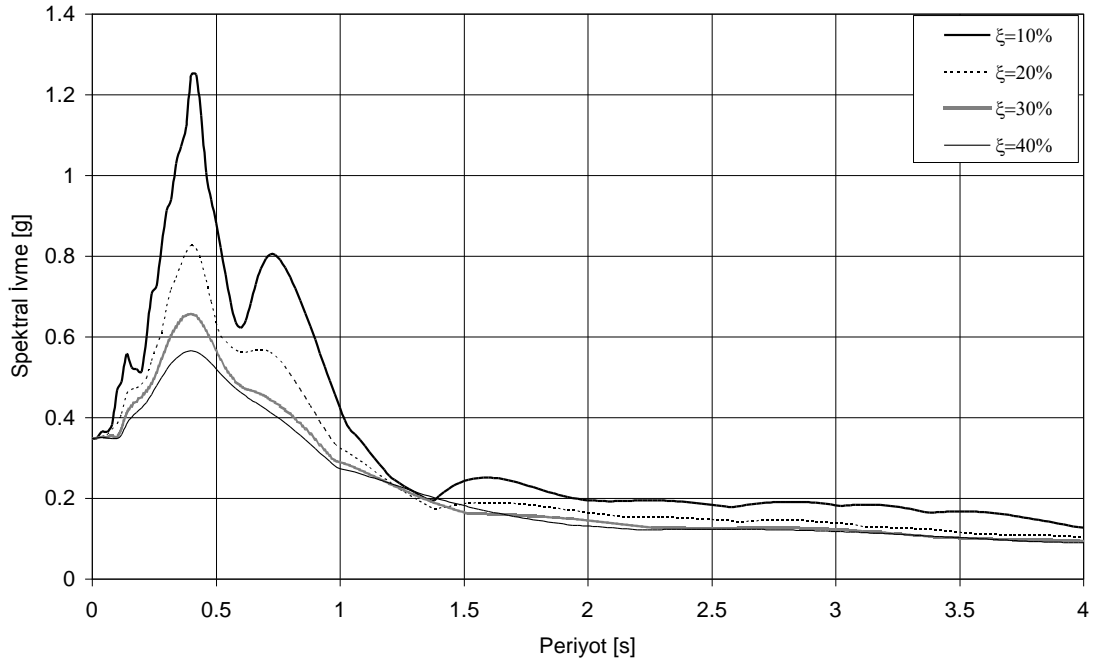
Şekil 3.7: Chi-Chi Depremi CHY101 istasyonuna ait CHY101-N kaydının ivme spektrumu.



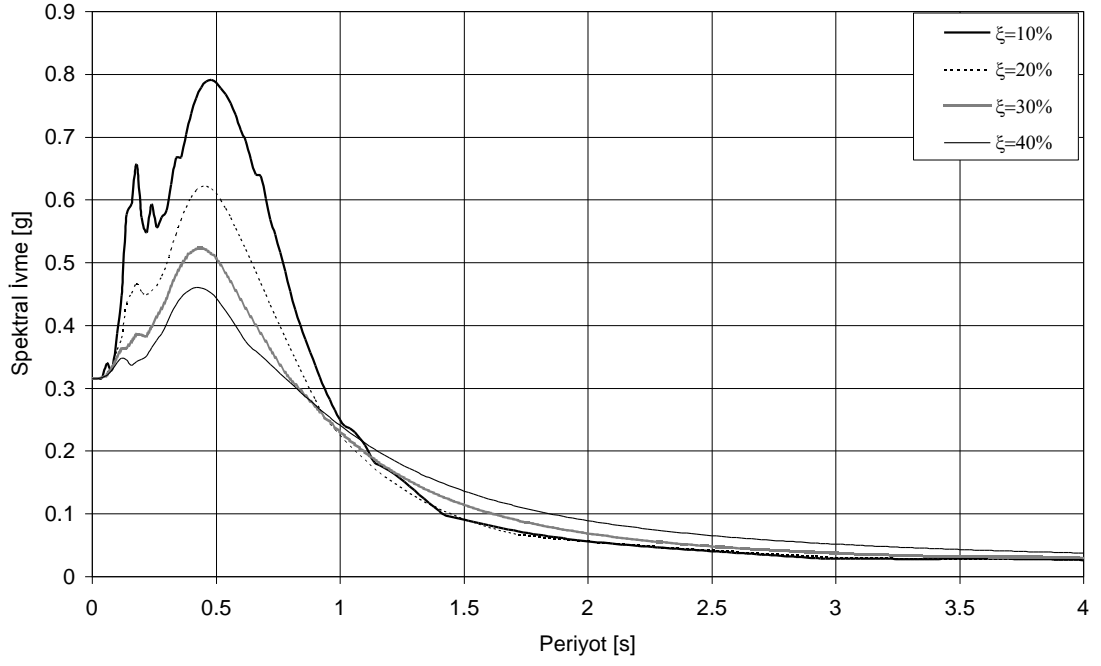
Şekil 3.8: Chi-Chi Depremi CHY101 istasyonuna ait CHY101-W kaydının ivme spektrumu.



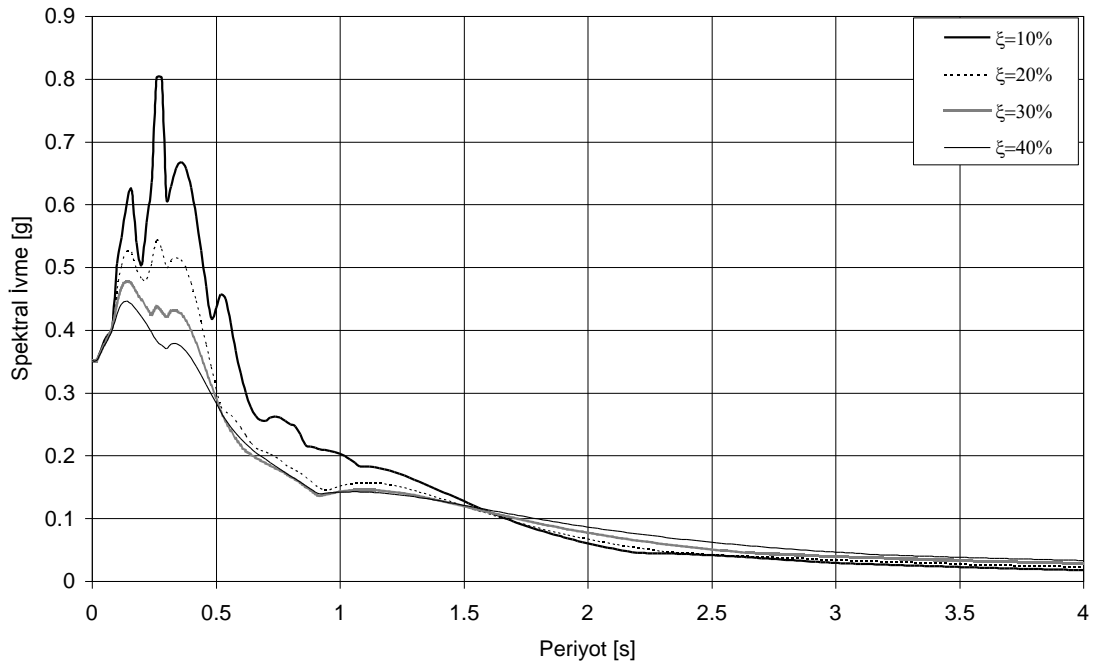
Şekil 3.9: Düzce Depremi Düzce istasyonuna ait DUZCE/DZC270 kaydının ivme spektrumu.



Şekil 3.10: Düzce Depremi Düzce istasyonuna ait DUZCE/DZC180 kaydının ivme spektrumu.

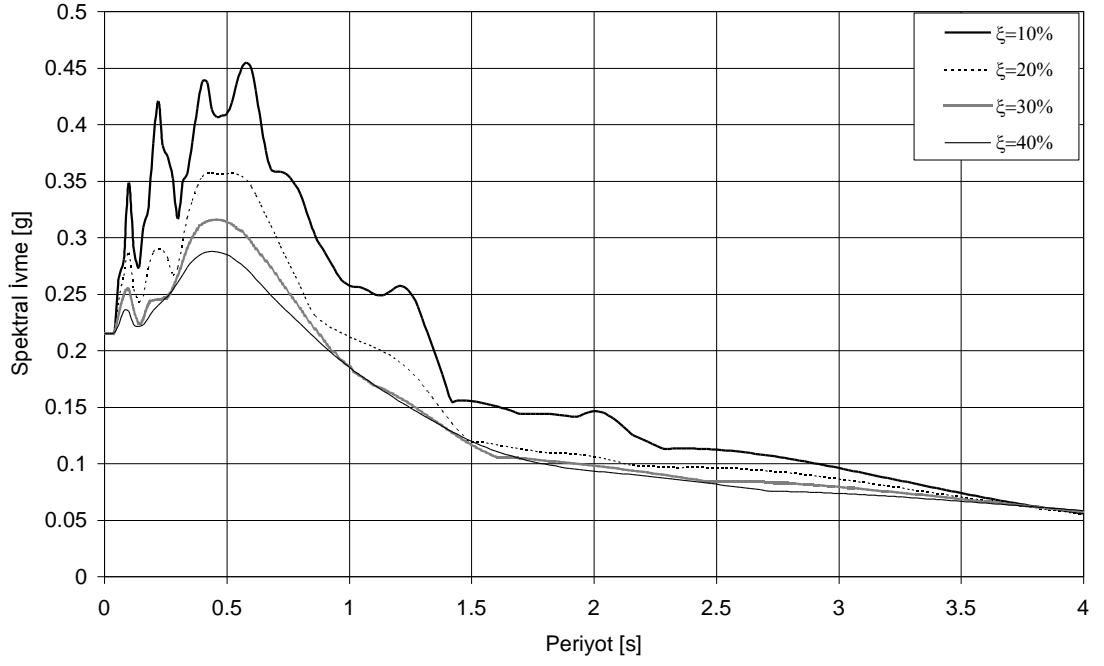


Şekil 3.11: Friuli Depremi Tolmezzo istasyonuna ait FRIULI/A-TMZ270 kaydının ivme spektrumu.

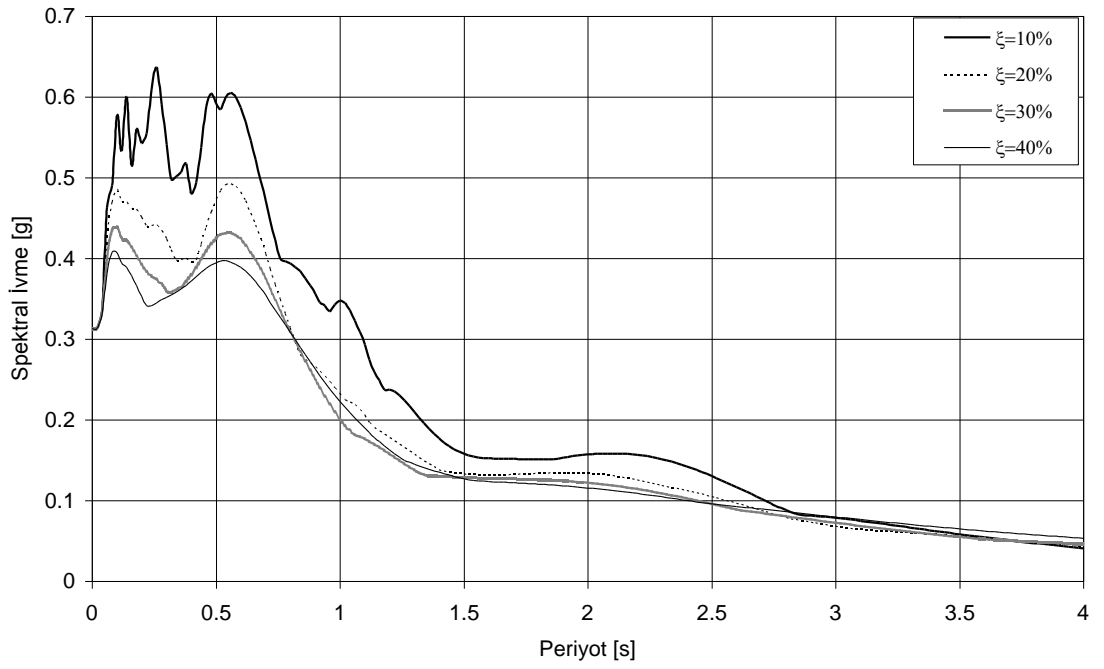


Şekil 3.12: Friuli Depremi Tolmezzo istasyonuna ait FRIULI/A-TMZ000 kaydının ivme spektrumu.

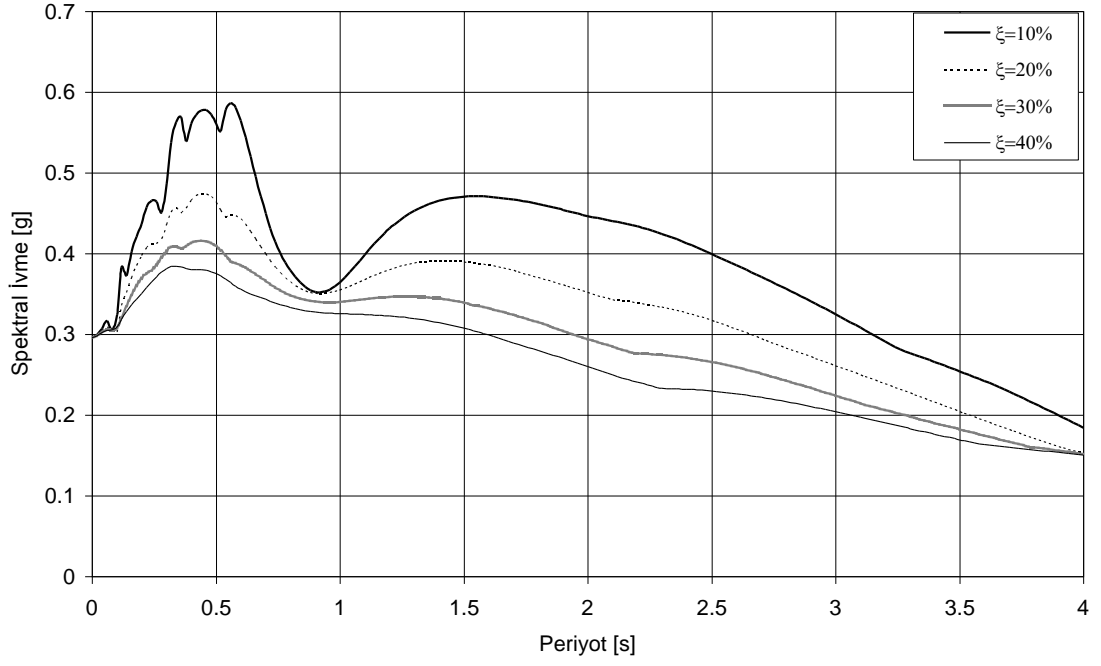




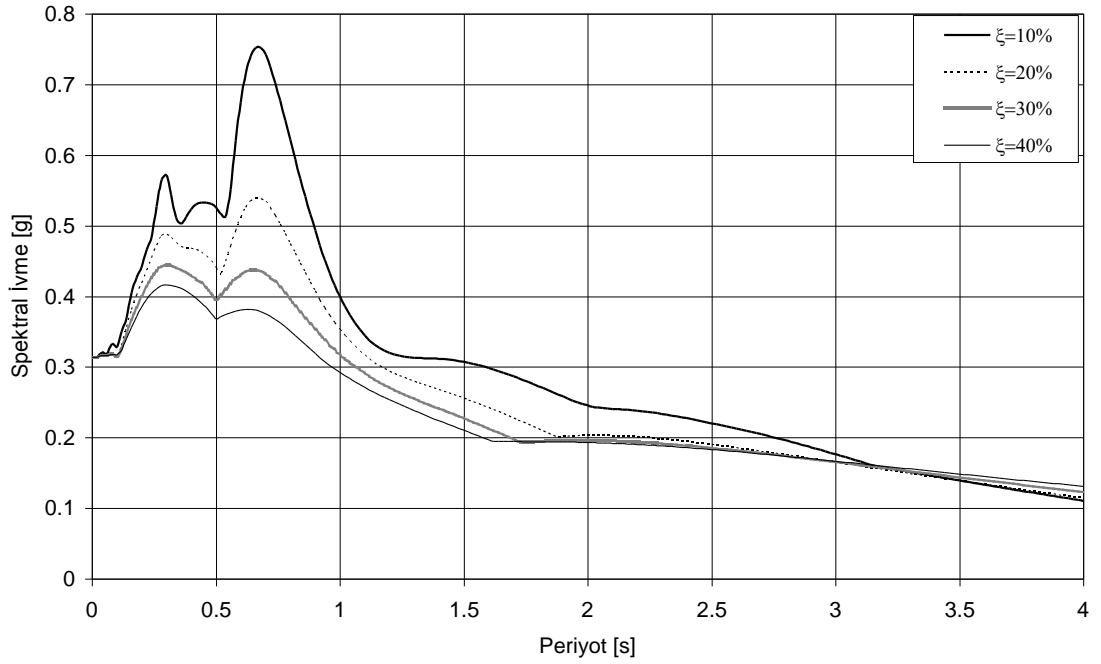
Şekil 3.13: Imperial Valley Depremi El Centro istasyonuna ait IMPVALL/I-ELC270 kaydının ivme spektrumu.



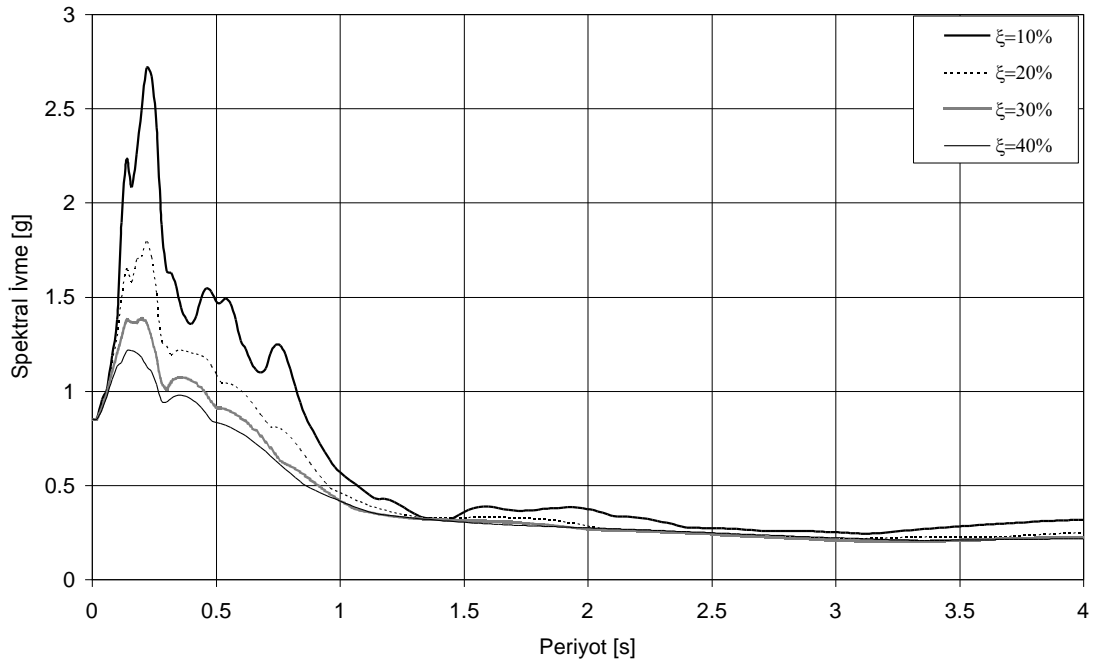
Şekil 3.14 Imperial Valley Depremi El Centro istasyonuna ait IMPVALL/I-ELC180 kaydının ivme spektrumu.



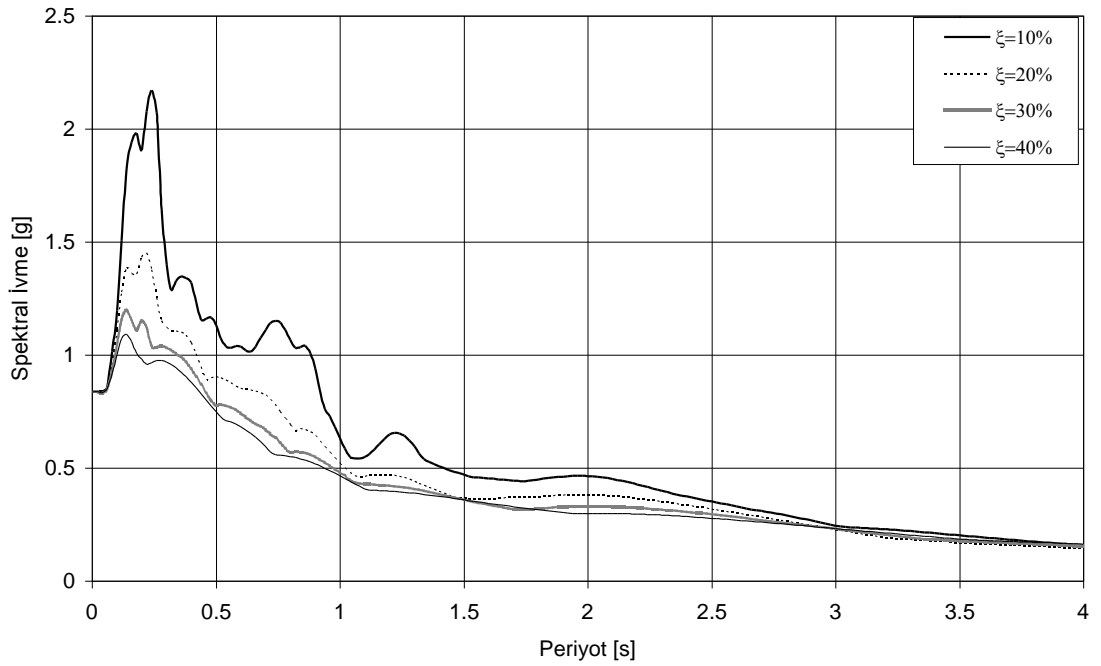
Şekil 3.15: Imperial Valley Depremi Meloland istasyonuna ait IMPVALL/H-EMO270 kaydının ivme spektrumu.



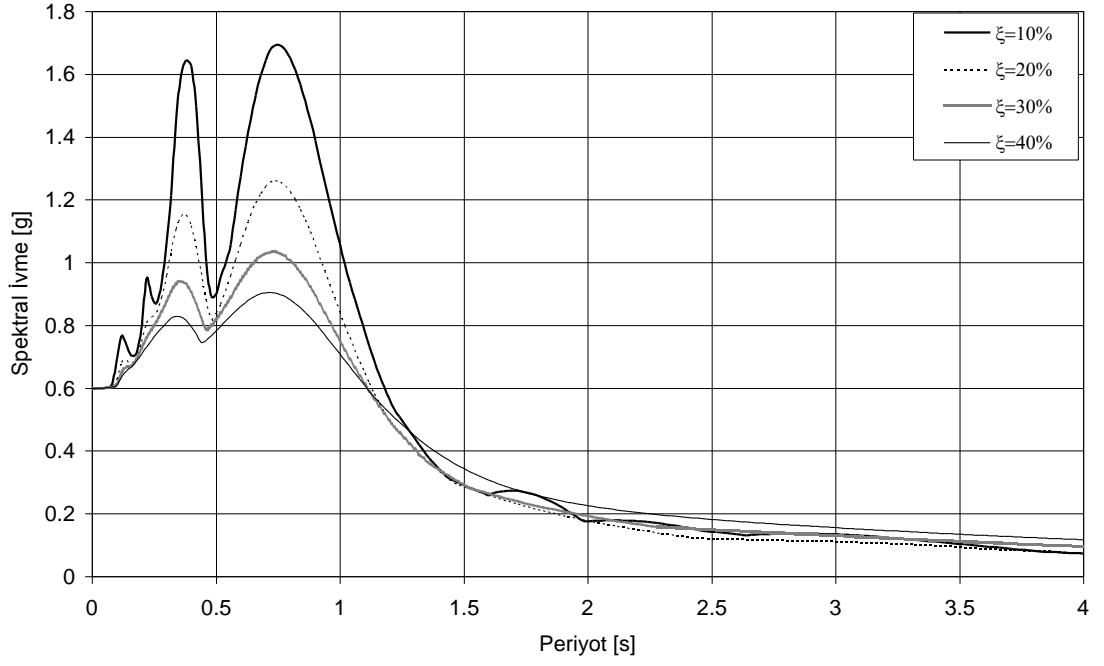
Şekil 3.16: Imperial Valley Depremi Meloland istasyonuna ait IMPVALL/H-EM000 kaydının ivme spektrumu.



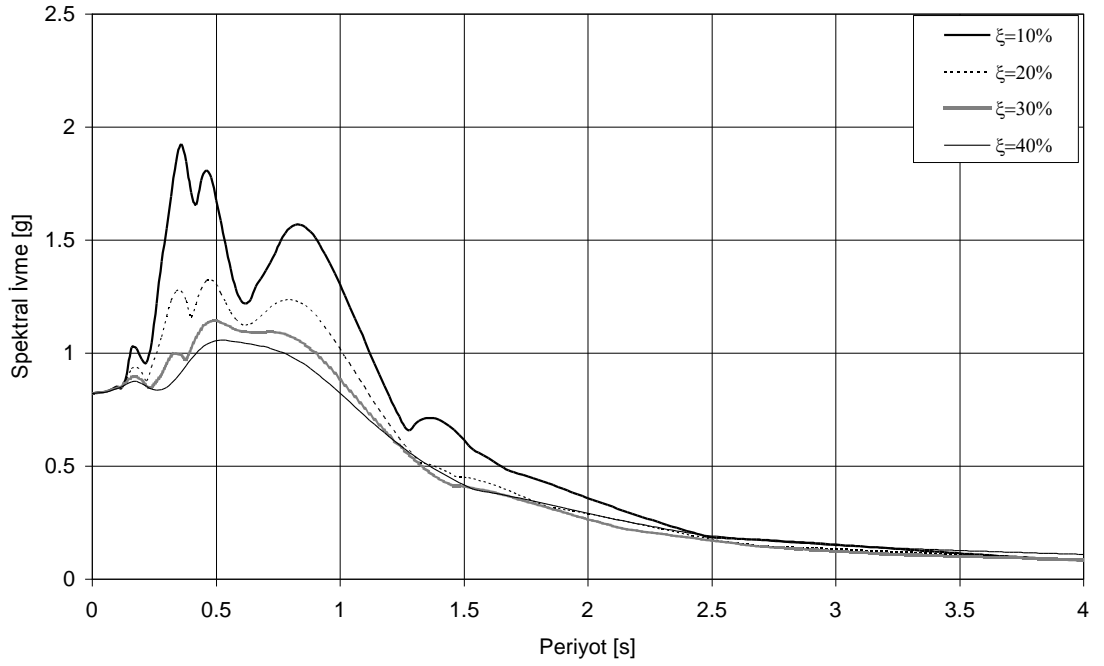
Şekil 3.17: Tabas Depremi Tabas istasyonuna ait TABAS/TAB-TR kaydının ivme spektrumu.



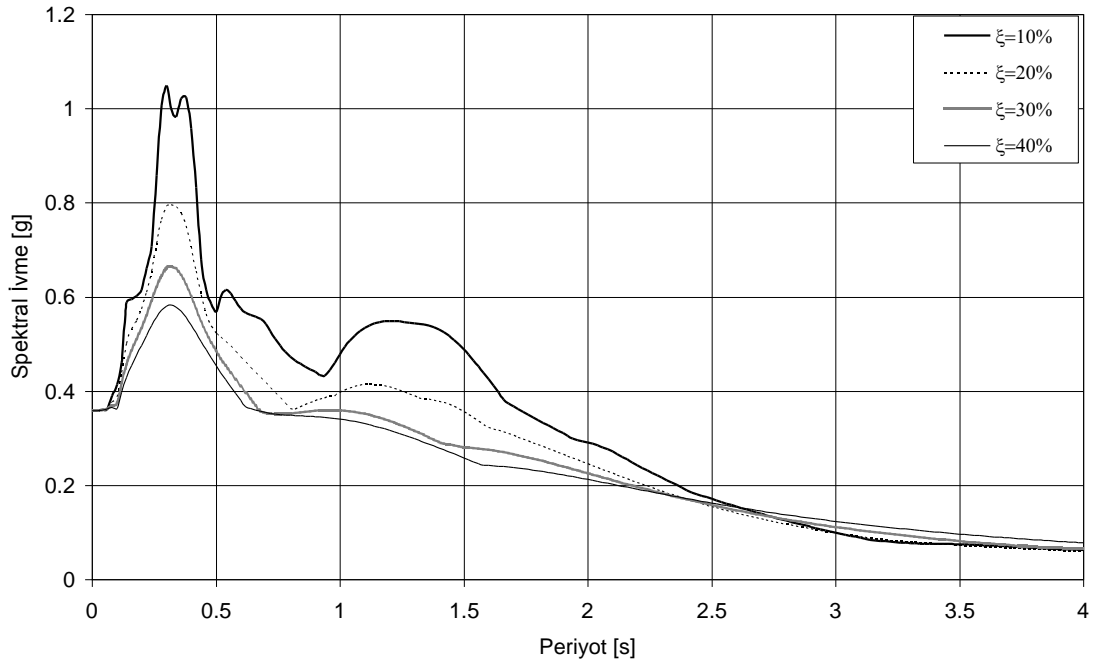
Şekil 3.18: Tabas Depremi Tabas istasyonuna ait TABAS/TAB-LN kaydının ivme spektrumu.



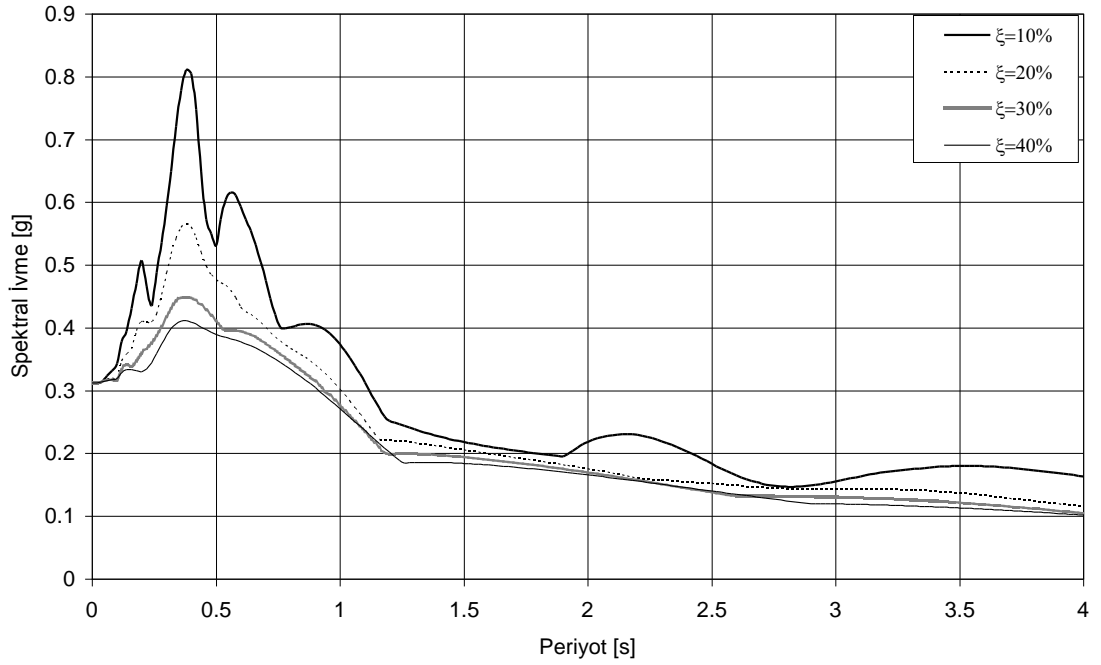
Şekil 3.19: Kobe Depremi KJMA istasyonuna ait KOBE/KJM090 kaydının ivme spektrumu.



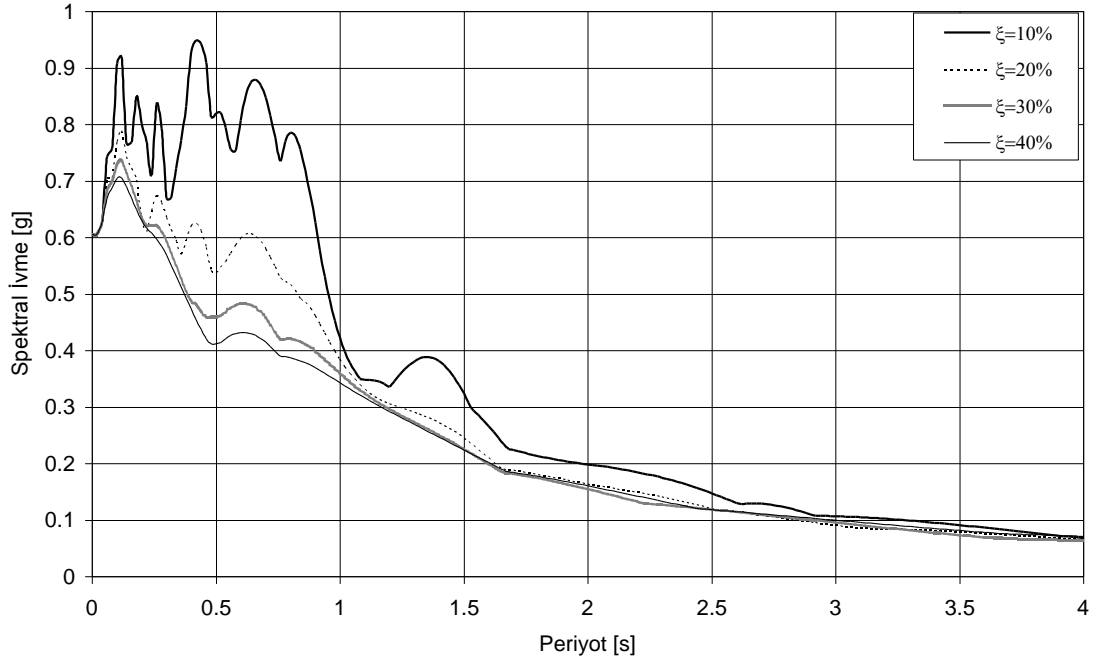
Şekil 3.20: Kobe Depremi KJMA istasyonuna ait KOBE/KJM000 kaydının ivme spektrumu.



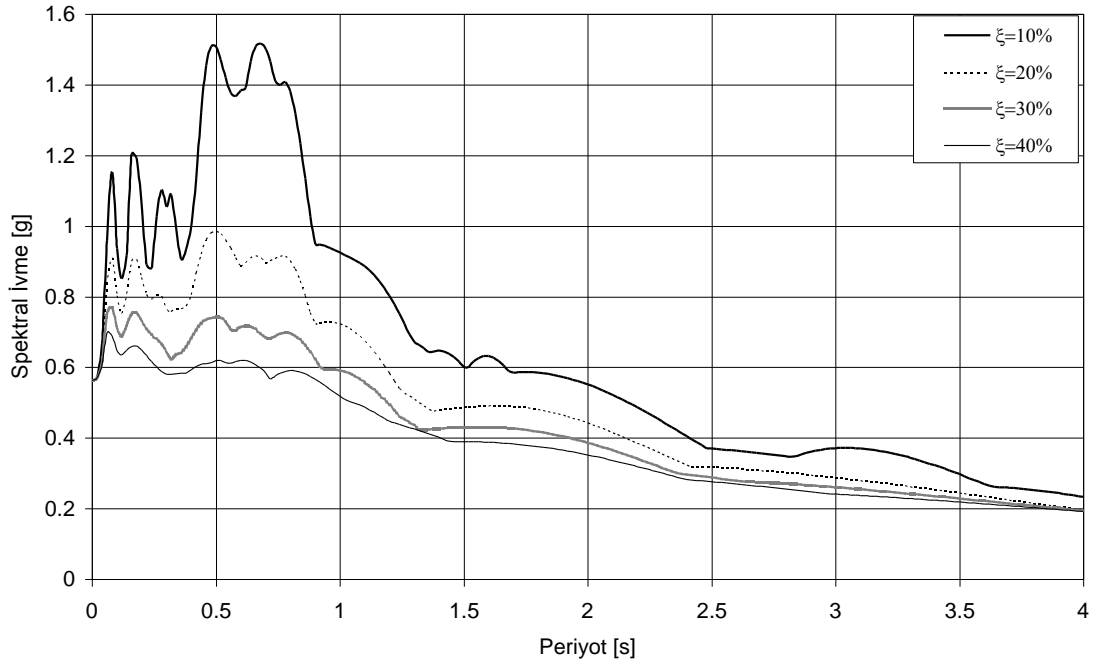
Şekil 3.21: Kocaeli Depremi Düzce istasyonuna ait KOCAELI/DUZ270 kaydının ivme spektrumu.



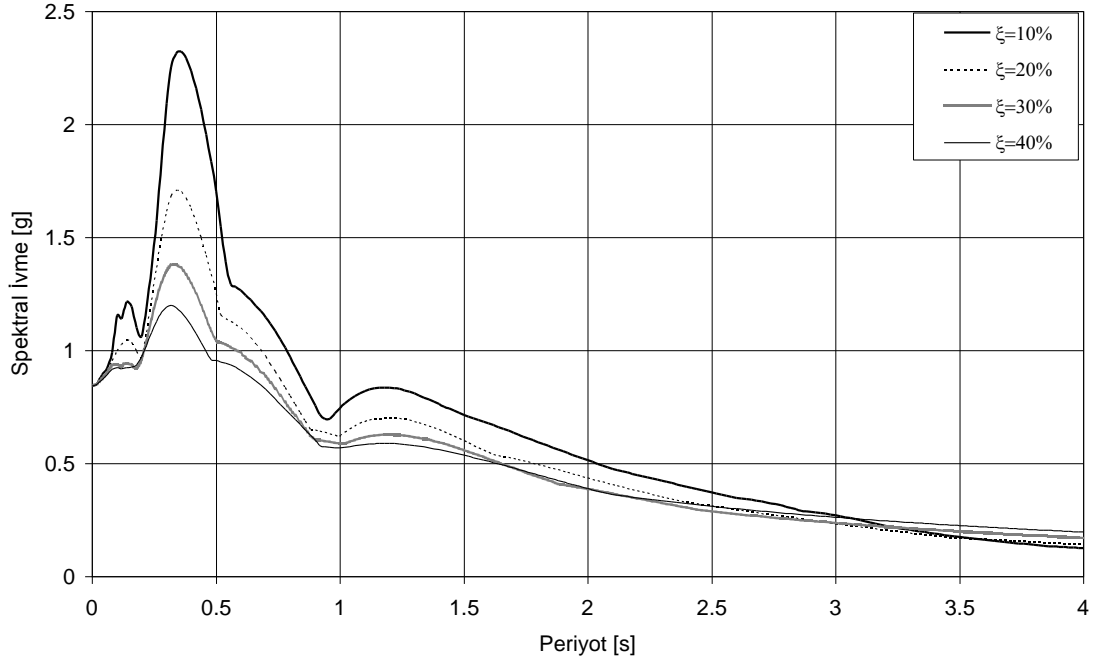
Şekil 3.22: Kocaeli Depremi Düzce istasyonuna ait KOCAELI/DUZ180 kaydının ivme spektrumu.



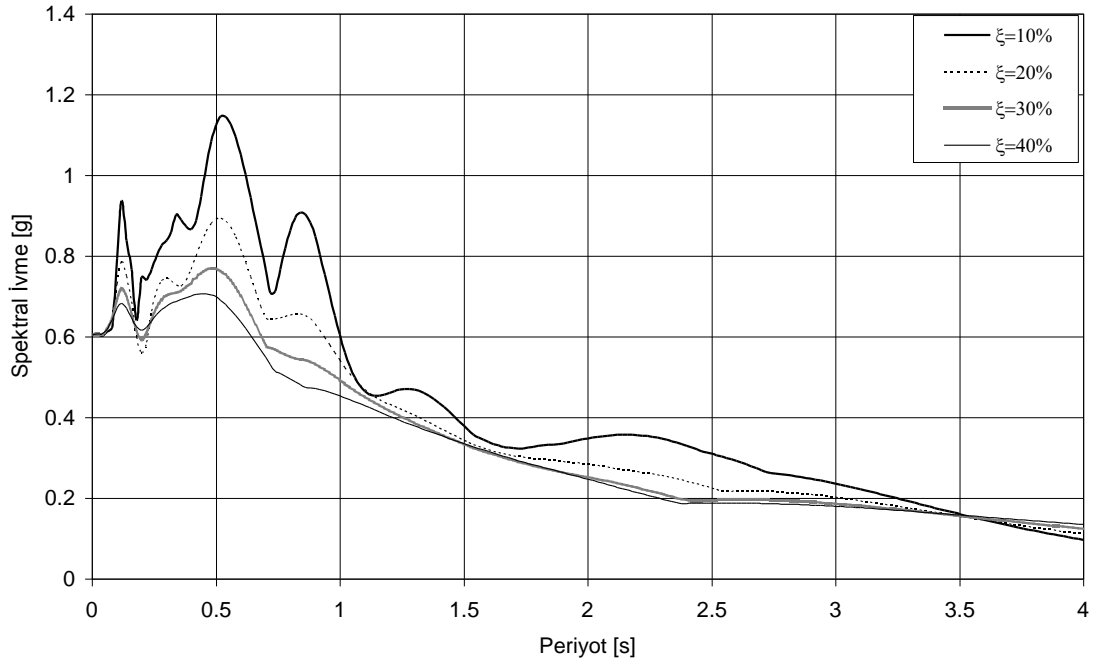
Şekil 3.23: Loma Prieta Depremi LGPC istasyonuna ait LOMAP/LGP090 kaydının ivme spektrumu.



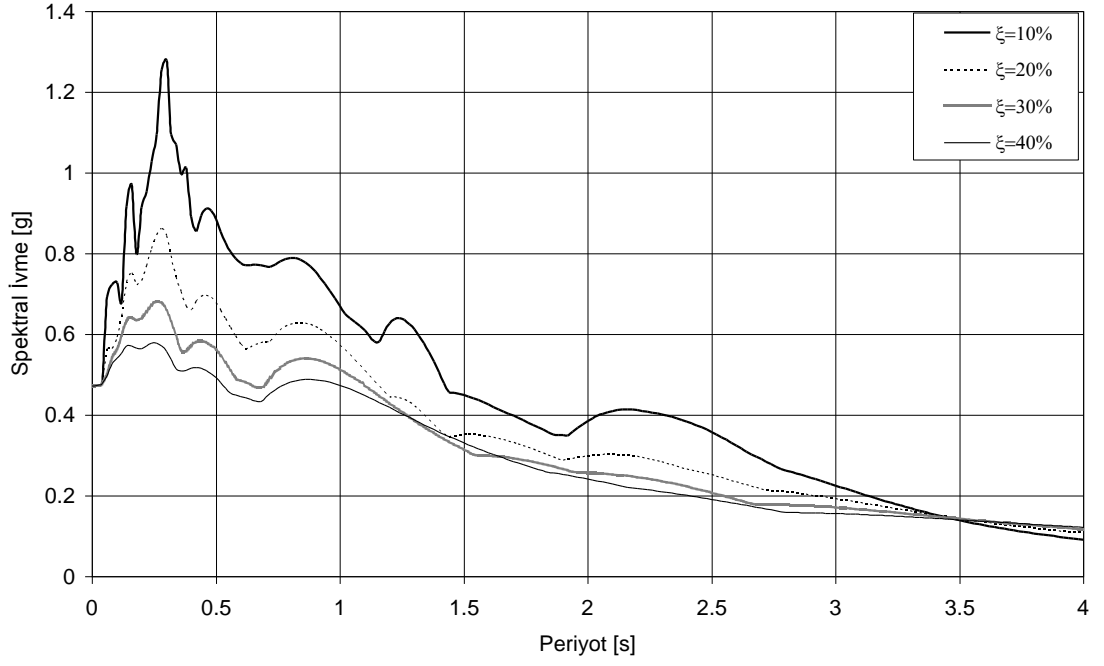
Şekil 3.24: Loma Prieta Depremi LGPC istasyonuna ait LOMAP/LGP000 kaydının ivme spektrumu.



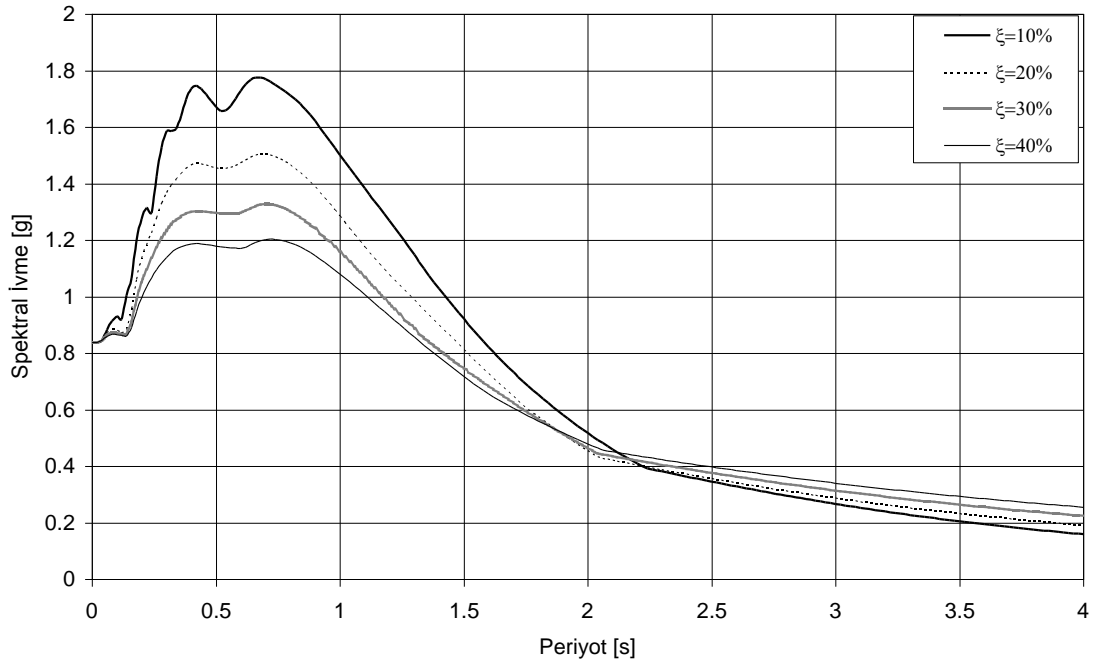
Şekil 3.25: Northidge Depremi Sylmar istasyonuna ait NORTHHR/SYL360 kaydının ivme spektrumu.



Şekil 3.26: Northidge Depremi Sylmar istasyonuna ait NORTHHR/SYL090 kaydının ivme spektrumu.

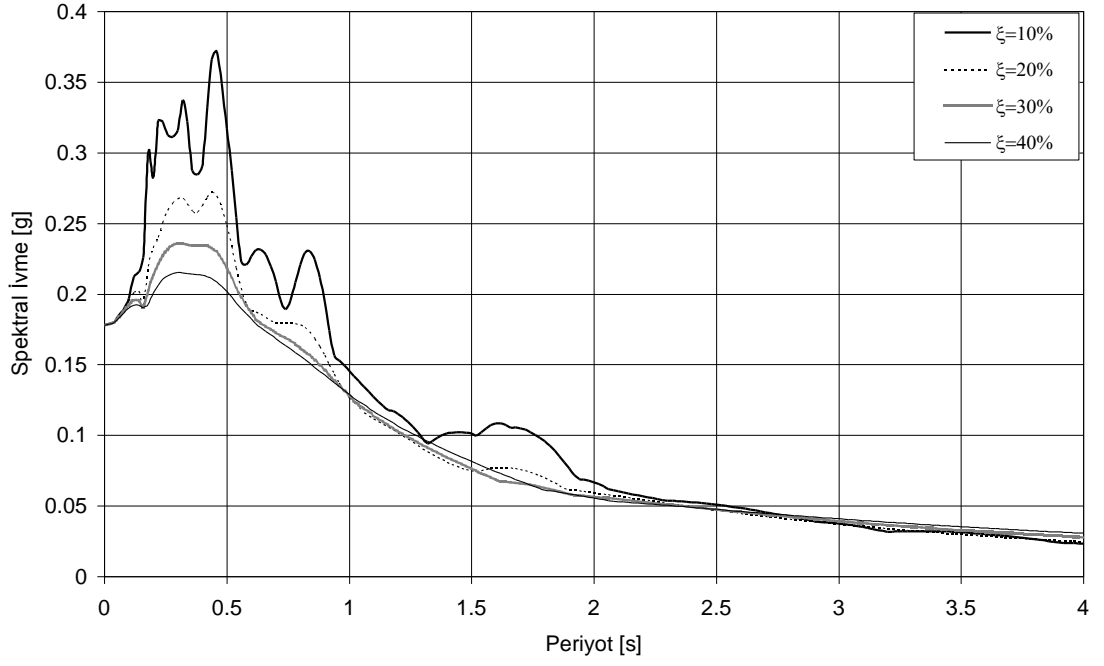


Şekil 3.27: Northidge Depremi Rinaldi istasyonuna ait NORTHHR/RRS318 kaydının ivme spektrumu.

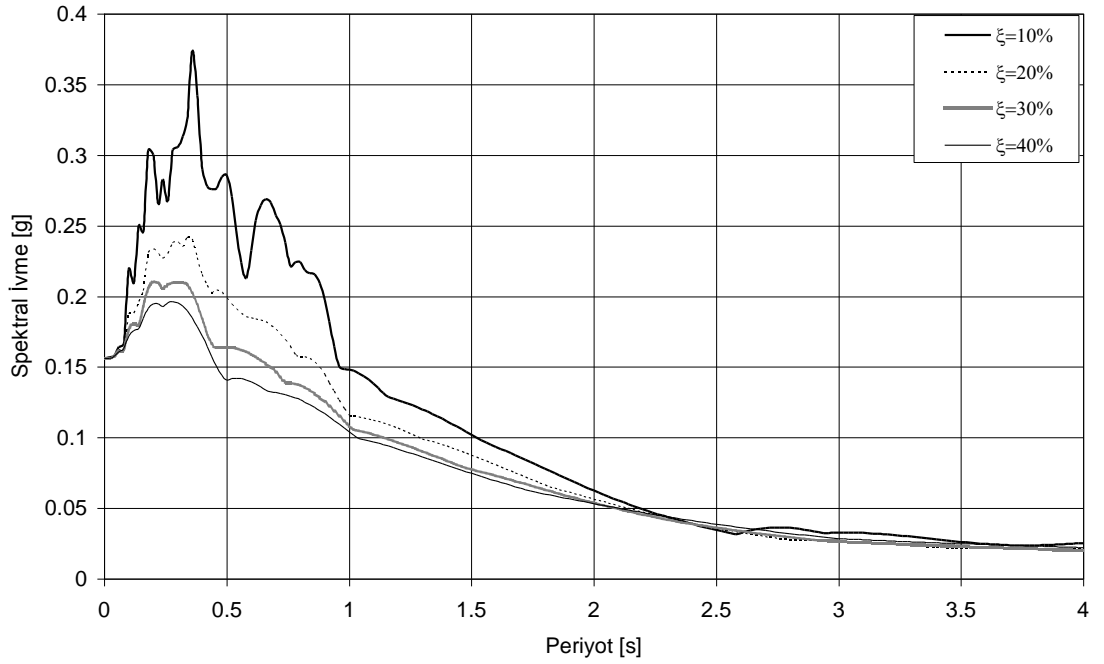


Şekil 3.28: Northidge Depremi Rinaldi istasyonuna ait NORTHHR/RRS228 kaydının ivme spektrumu.





Şekil 3.29: Taft Depremi Taft Lincon School istasyonuna ait KERN/TAF111 kaydının ivme spektrumu.



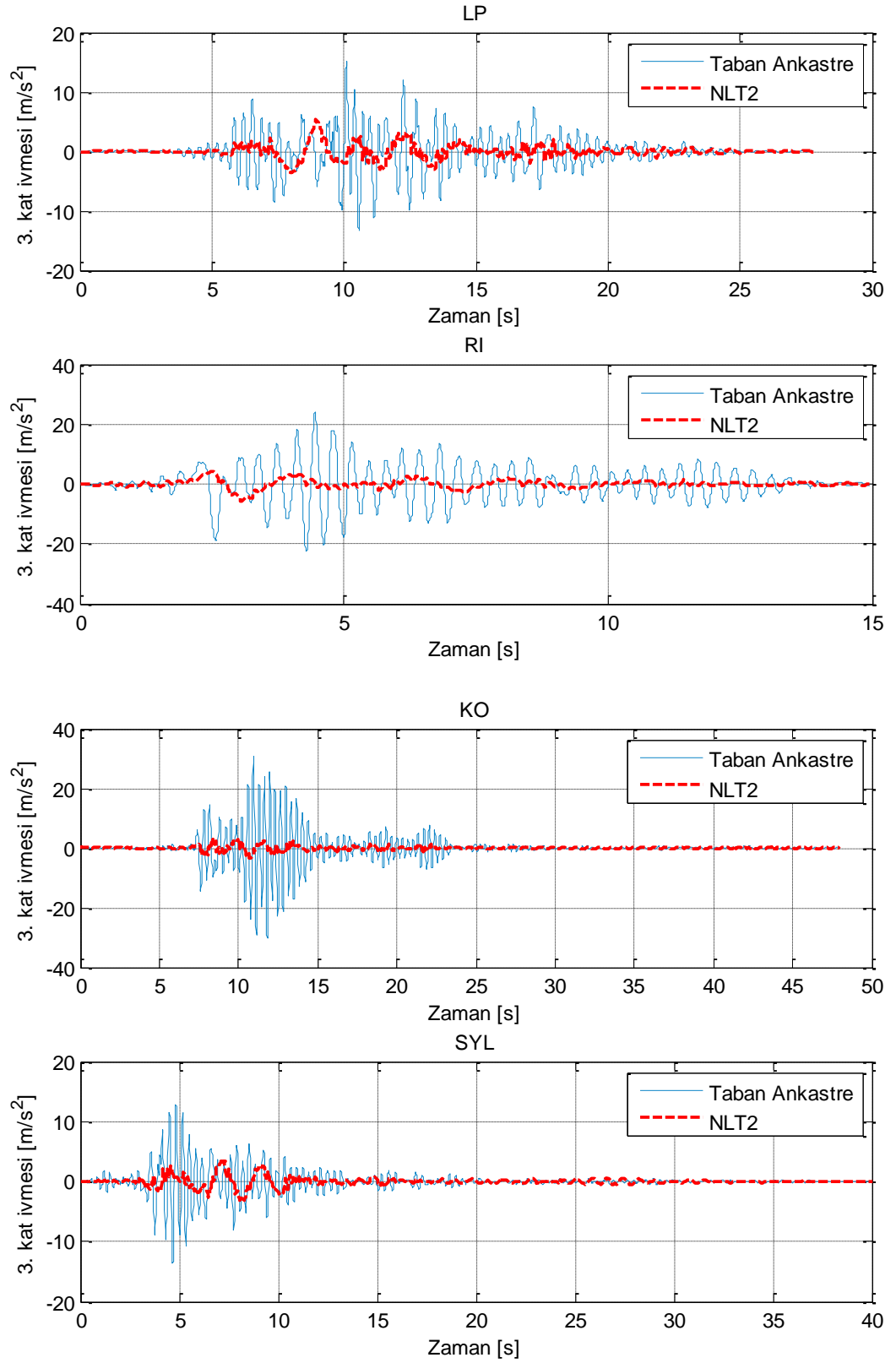
Şekil 3.30: Taft Depremi Taft Lincon School istasyonuna ait KERN/TAF021 kaydının ivme spektrumu.

## 4. BULGULAR

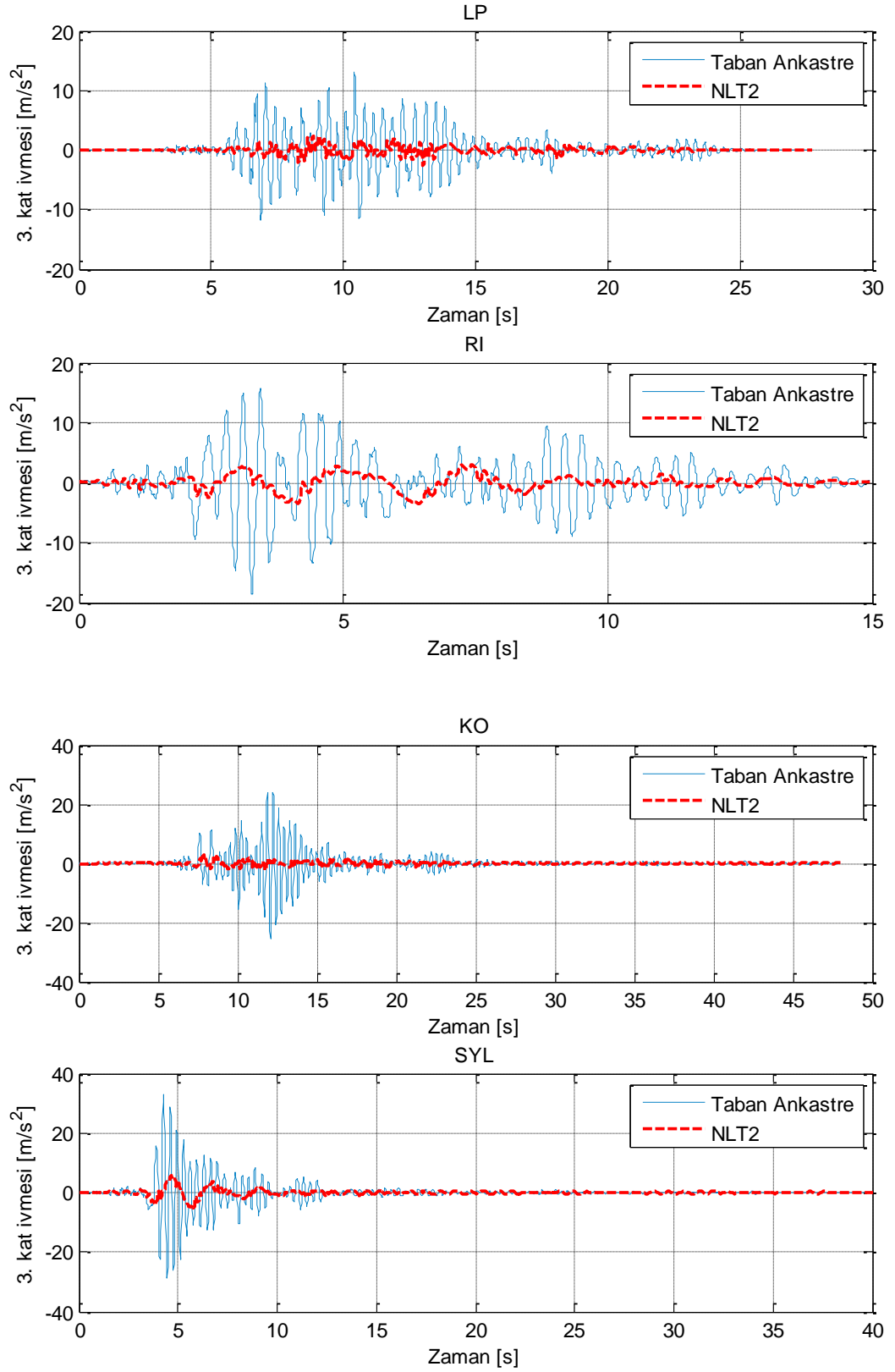
### 4.1. SİSMİK İZOLASYONUN ETKİLERİ

Bölüm 2’de sismik izolasyon sayesinde bir binaya gelen deprem etkilerinin uzatılan bina doğal periyodu sayesinde azaltılabileceğinden bahsedilmişti. Bölüm 3’ te ise bu çalışmada ele alınan binaya ait sismik izolasyon sistemleri hakkında bilgi verilmişti. Bu kısımda ise, bu çalışmada kullanılan bina modelinin taban ankastre olması durumu ile sismik izolasyonlu olması durumu arasındaki davranış farklılıkları ortaya konulacaktır. Farklı depremler altında ortaya çıkan en üst kat ivmeleri, ilk kata ait görelî kat öteleme oranları ve 1E aksında bulunan kolonun ilk kat kesme kuvvetleri karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

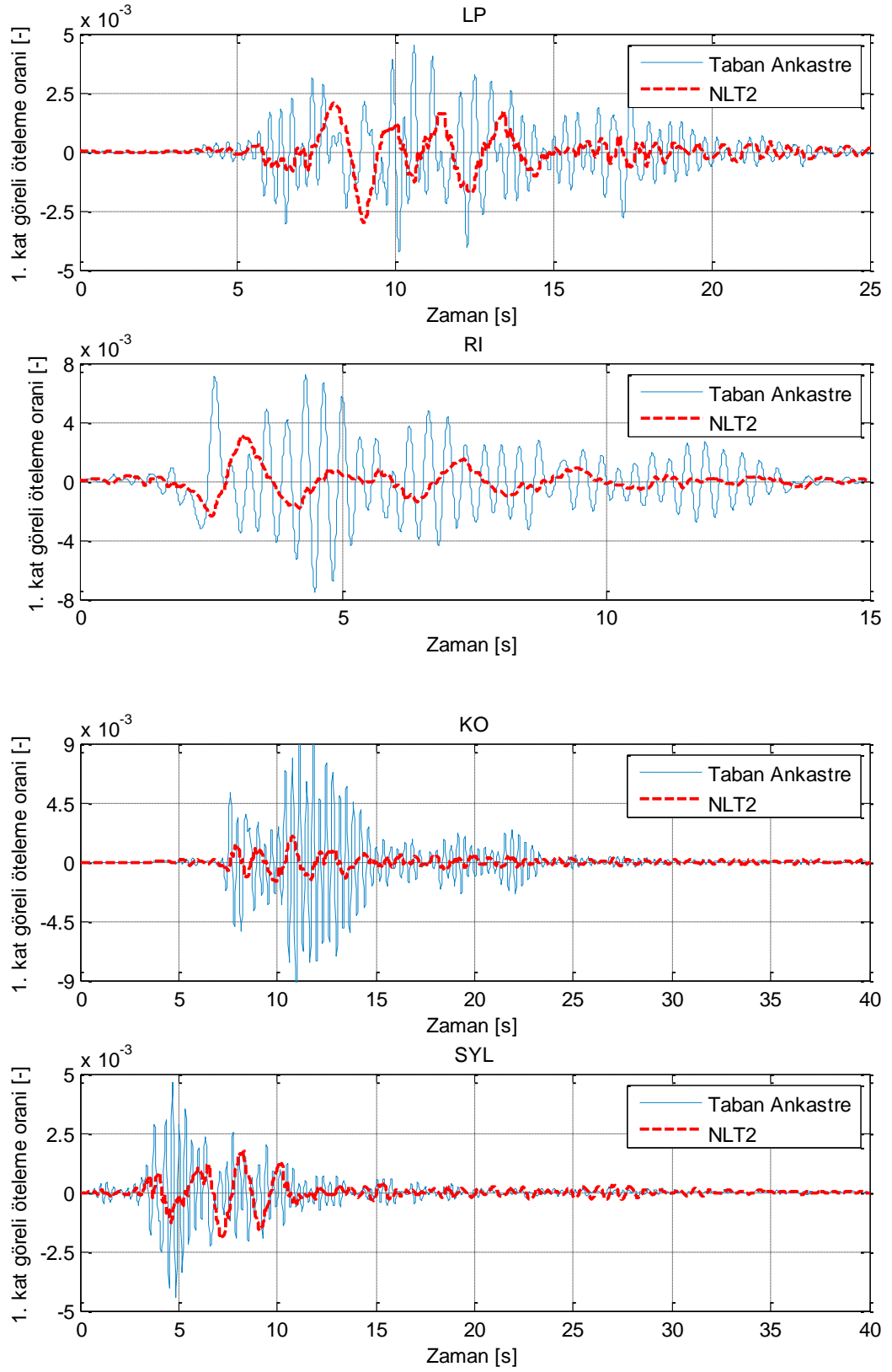
Bu çalışmada nominal parametrelere sahip model,  $T_0=2$  s,  $e = 0$  m,  $b = 45^\circ$  ve  $t = 45$  cm olan model (NLT2\_e0\_b45\_t45) olarak göz önüne alınmıştır. Dolayısıyla, sismik izolasyonun deprem etkilerini nasıl azalttığının gösterildiği bu kısımda temsili olarak sadece bu modelin analizlerine ait grafikler sunulacaktır. Ancak, elde edilen bulgulara göre diğer bina modellerinin ve izolasyon sistemlerinin davranışları da, sismik izolasyonun etkisi açısından benzerlik göstermektedir. Ayrıca, Bölüm 3.4’te bahsedilen depremlerden bu kısımda sunulan grafikler sadece Loma Prieta, Rinaldi, Kobe ve Sylmar Depremleri’ne aittir. Bu depremlerinin D–B ve K–G bileşenleri modellere aynı anda X ve Y doğrultularında etkilmiştir. En üst katlara ait ivme grafikleri X ve Y doğrultuları için Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Taban katı deplasmanının birinci kat deplasmanından çıkartılarak kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edilen görelî kat öteleme oran grafikleri Şekil 4.3 ve 4.4’de verilmiştir. 1E aksında bulunan kolonun ilk kat kesme kuvveti grafikleri Şekil 4.5 ve 4.6’da sunulmuştur. İrdelenen bu yapısal cevap parametrelerindeki azalma oranları farklı depremler için farklı miktarlarda gerçekleşmekle birlikte, tüm depremler için sismik izolasyon sayesinde yapısal cevapta çok önemli azalmalar meydana geldiği grafiklerden açıkça görülmektedir. Tasarlanan sismik izolasyon sistemleri kendisinden beklenen davranışı sergilemiştir.



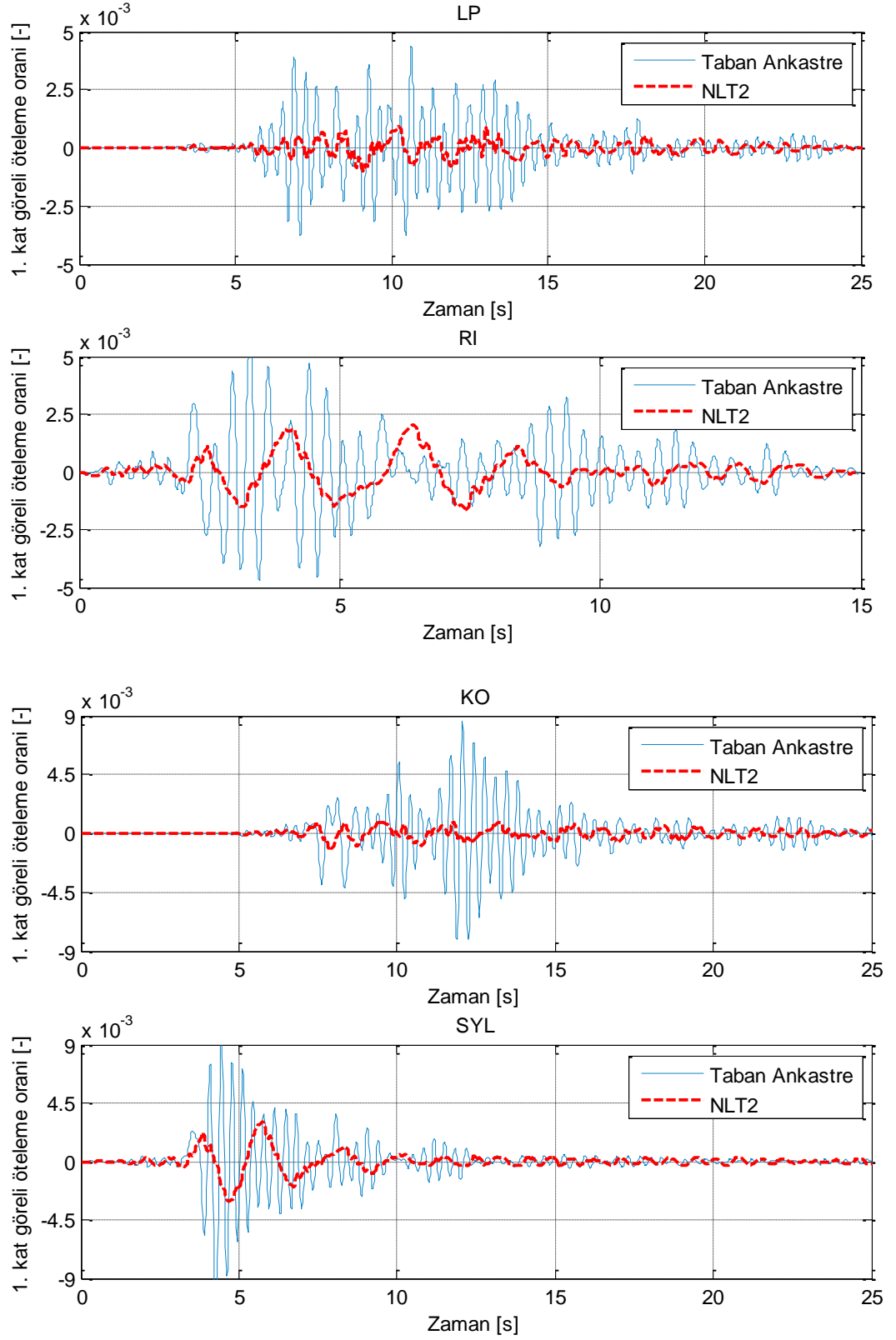
Şekil 4.1: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2\_e0\_b45\_t45) binaların X doğrultusundaki üst kat ivmeleri.



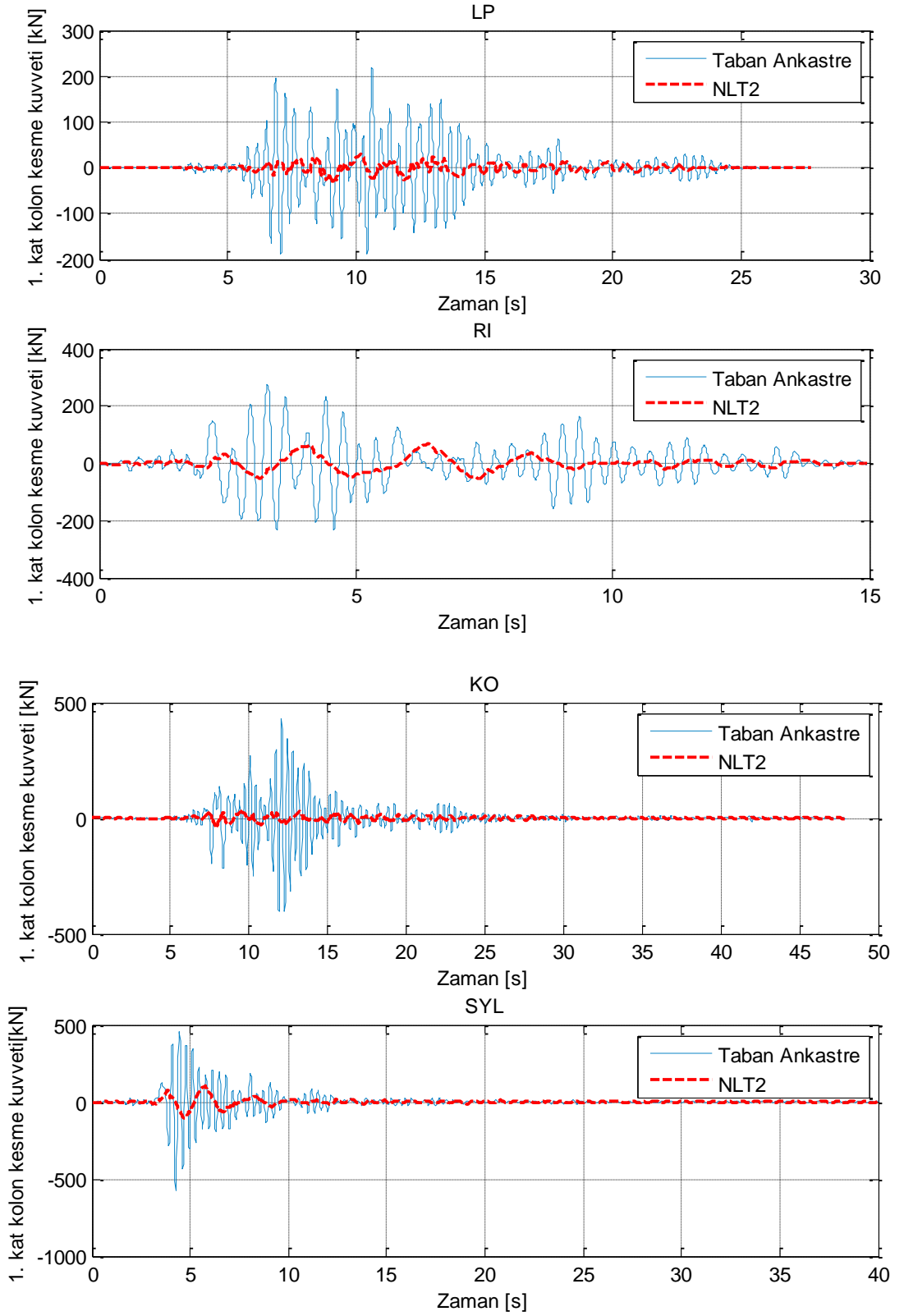
Şekil 4.2: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2\_e0\_b45\_t45) binaların Y doğrultusundaki üst kat ivmeleri.



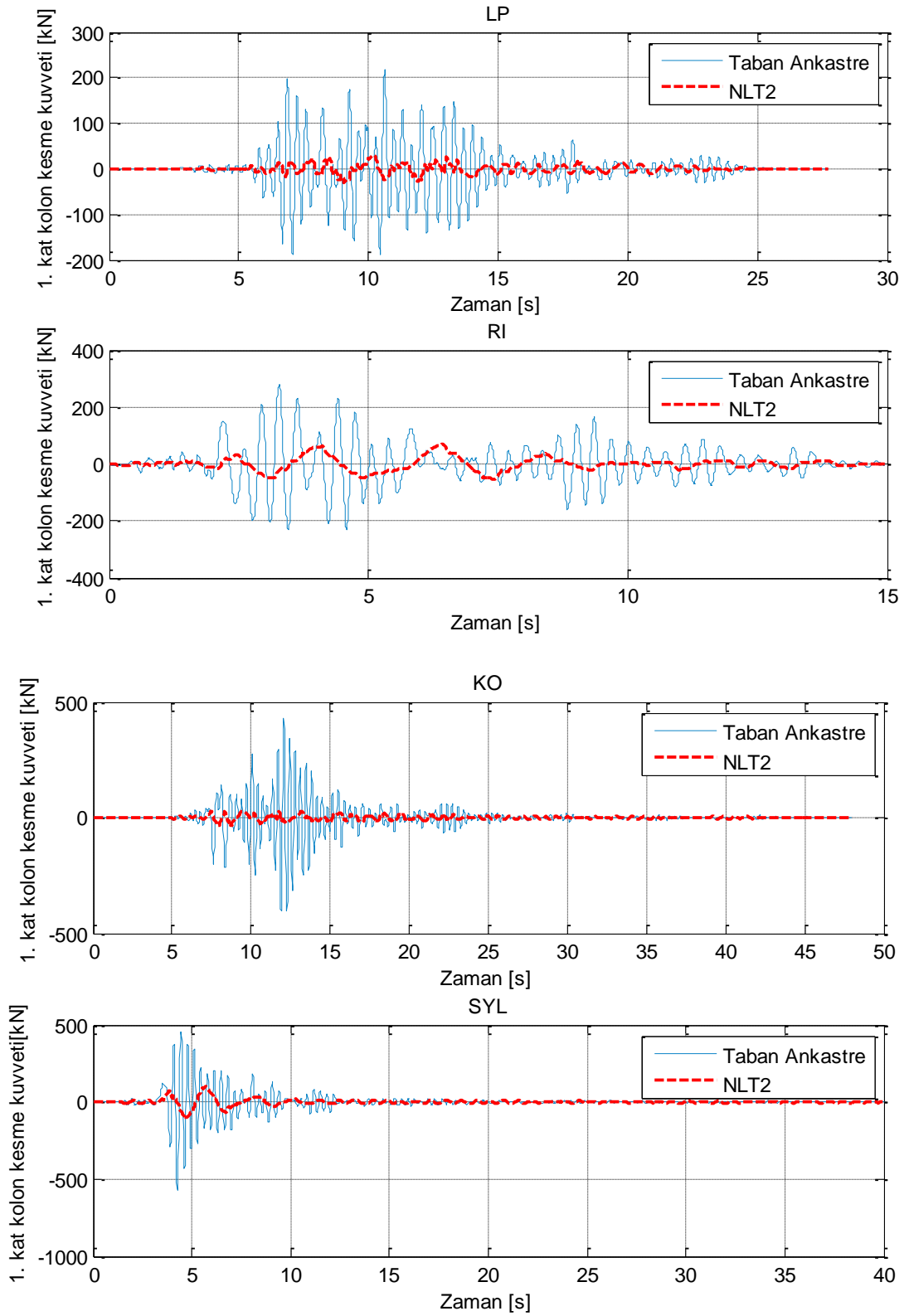
Şekil 4.3: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2\_e0\_b45\_t45) binaların X doğrultusundaki 1. kat görelî öteleme oranları.



Şekil 4.4: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2\_e0\_b45\_t45) binaların Y doğrultusundaki 1. kat göreceli öteleme oranları.



Şekil 4.5: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2\_e0\_b45\_t45) binaların X doğrultusundaki 1. kat 1E kolon kesme kuvveti.



Şekil 4.6: Taban ankastre ve sismik izolasyonlu (NLT2\_e0\_b45\_t45) binaların Y doğrultusundaki 1. kat 1E kolon kesme kuvveti.



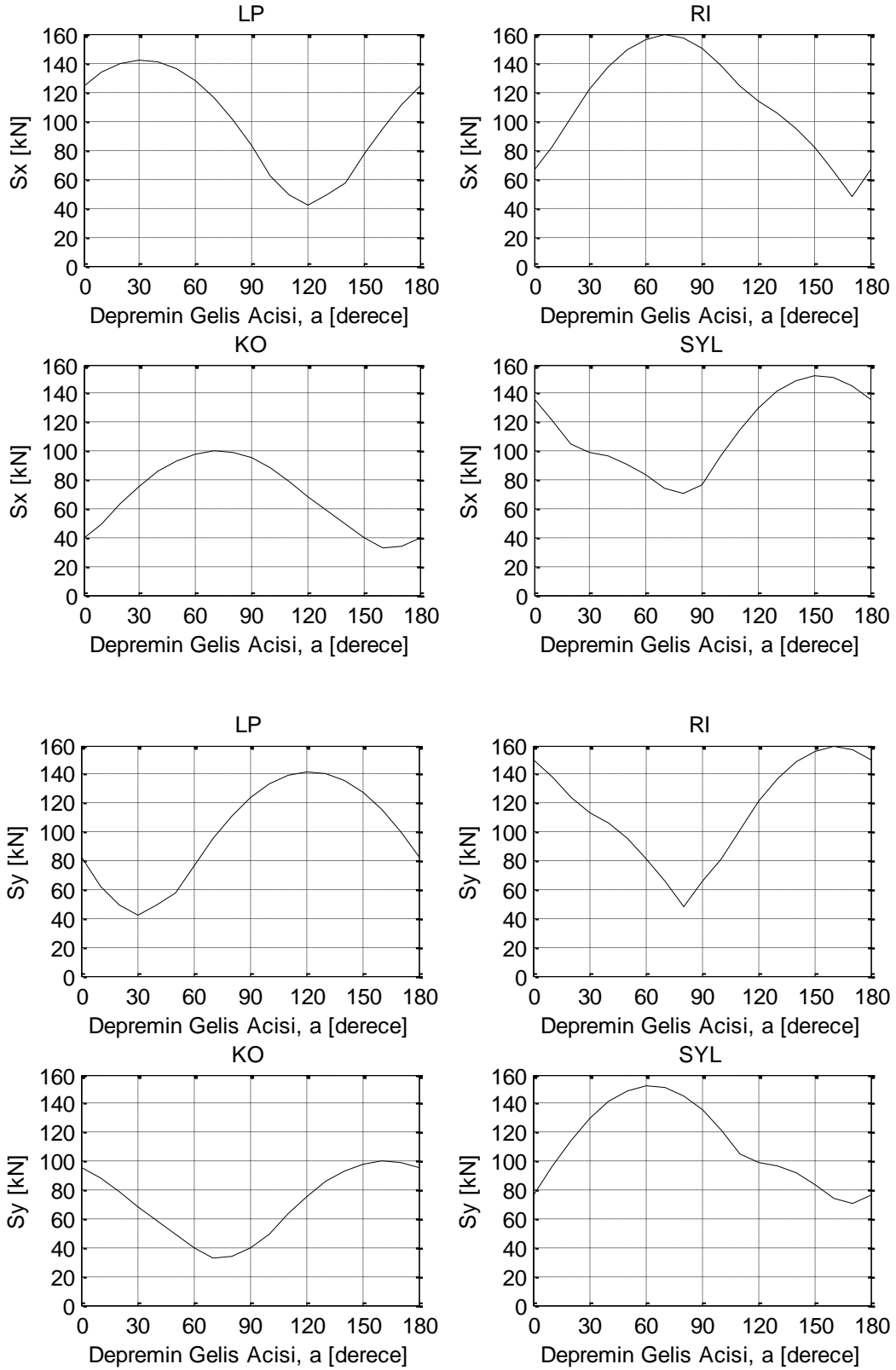
#### 4.2.DEPREMİN GELİŞ AÇISININ ETKİLERİ

Bu kısımda, depremin geliş açısının ortogonal olmayan kolonların iç kuvvetleri, üst yapının görelî kat ötelemeleri ve sismik izolatörlerin deplasmanları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sunulan grafikler, Bölüm 4.1’de olduğu gibi, sadece NLT2\_e0\_b45\_t45 modeli için sunulmuştur. Ancak, yapılan analizler sonucu elde edilen bulgulara göre diğer bina modelleri ve izolasyon sistemleri için de benzer eğilimler söz konusudur. Ayrıca, Bölüm 4.1’de olduğu gibi bu bölümde de Bölüm 3.4’te bahsedilen depremlerden Loma Prieta, Rinaldi, Kobe ve Sylmar Depremleri altındaki analiz sonuçları sunulmuştur. Doğu – Batı ve Kuzey – Güney bileşenleri modellere aynı anda X ve Y doğrultularında etkilmiştir.

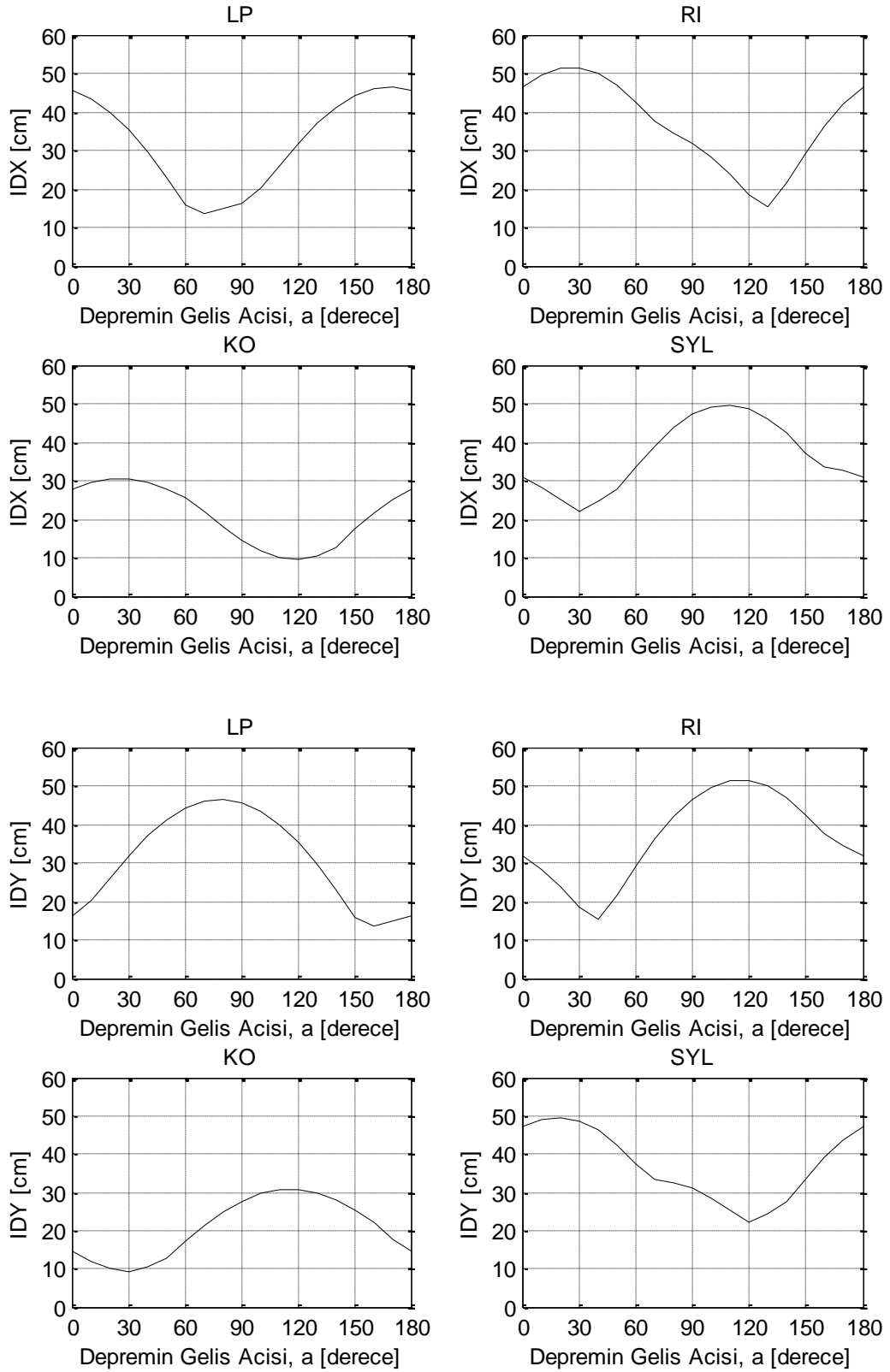
Ortogonal olmayan köşe kolonlardan 1E kolonunun lokal x ve y doğrultularındaki (Şekil 3.4) birinci kat kesme kuvvetlerinin pik değerlerinin ( $S_x$  ve  $S_y$ ) depremin geliş açısına bağılı olarak değişimi Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.7’de görüldüğü üzere pik kesme kuvveti değerleri depremin doğrultusuna bağılı olarak önemli değişiklikler göstermektedir. Ayrıca, değişim aralıkları depreme bağılı olarak da farklılıklar göstermektedir. Örneğin, sunulan grafikler arasında en küçük farklılığın görüldüğü Sylmar Depremi’nde en büyük kesme kuvveti olan 152 kN, en küçük kesme kuvveti olan 71 kN’un 2.14 katı iken; en büyük farklılığın görüldüğü Loma Prieta Depremi’nde bu oran  $142 \text{ kN} / 42 \text{ kN} = 3.38$  kata kadar çıkmaktadır.

İzolatör deplasmanlarının global X ve Y doğrultularındaki pik değerlerinin (IDX ve IDY) depremin geliş açısına bağılı olarak değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir. Pik kesme kuvvetlerinde olduğu gibi, izolatör deplasmanları da depremin doğrultusuna bağılı olarak değişmektedir. Sunulan grafikler arasında en küçük farklılığın görüldüğü Sylmar Depremi’nde en büyük pik izolatör deplasmanı olan 50 cm en küçük pik izolatör deplasmanı olan 22 cm’in 2.27 katı iken; en büyük farklılığın görüldüğü Loma Prieta Depremi’nde bu oran  $47 \text{ cm} / 14 \text{ cm} = 3.36$  kata kadar çıkmaktadır.

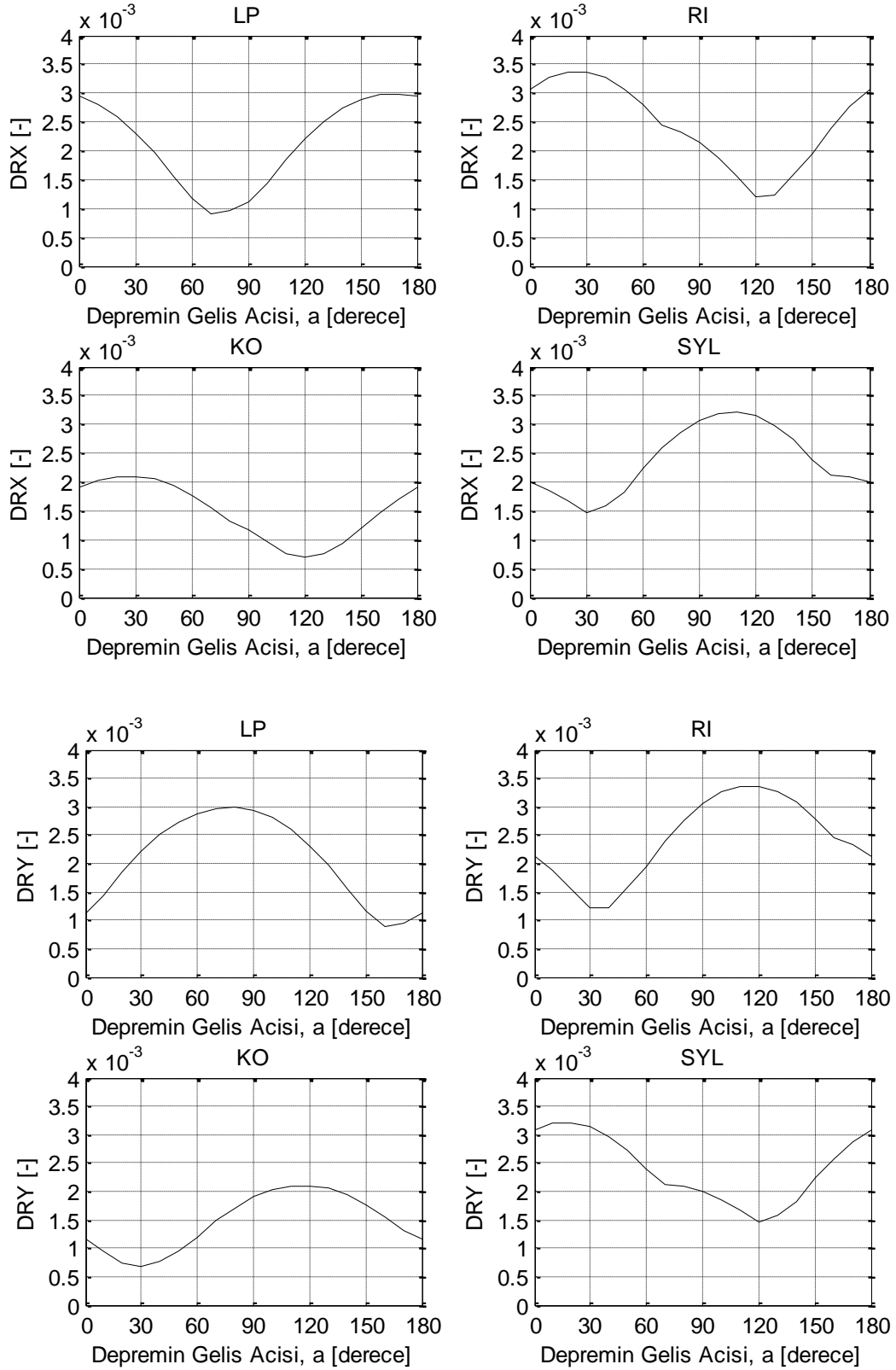
Şekil 4.9’da birinci katın taban katına göre olan X ve Y global eksen doğrultularındaki pik görelî kat ötelemelerinin (DRX ve DRY) depremin geliş açısına bağılı olarak değişimi verilmiştir. Sunulan sonuçlar arasında, deprem doğrultusuna bağılı olarak görelî kat ötelemelerinde meydana gelen değişiklikler Sylmar Depremi için en az miktarda ortaya çıkarken Loma Prieta Depremi için en fazla miktarda olmuştur.



Şekil 4.7: 1E kolonu, birinci kat pik kesme kuvvetlerinin depremin geliş açısına göre değişimi.



Şekil 4.8: Pik sismik izolator deplasmanlarının depremin geliş açısına göre değişimi.



Şekil 4.9: Birinci katın taban katına göre olan pik kat ötelenme oranının depremin geliş açısına göre değişimi.

### 4.3. DEPREM DOĞRULTUSU BİRLEŞTİRME KURALI

Depremlerin bir yapıya hangi doğrultuda etkiyeceği önceden bilinmemektedir. Bunun için, kolaylık sağlaması bakımından, depremin iki bileşeninden bir tanesi yapının ortogonal eksenlerinden biriyle çakışacak şekilde, diğeri de buna dik diğeri eksenle çakışacak şekilde yapıya etkiltilerek analiz gerçekleştirilir. Ayrıca, bu bileşenlerin aynı anda etkiltilmesi yerine, ayrı ayrı olmak üzere tek doğrultuda analiz yapılmasına yönetmelikler izin vermektedir. Ancak bunun karşılığında, %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralı olarak bilinen uygulamayı zorunlu kılmaktadır. Böylece, aynı anda iki doğrultuda analiz sonucu ortaya çıkabilecek etkiler dolaylı olarak göz önüne alınmış olur. Doğrultusal birleştirme kuralı, daha ziyade eleman eksenleri yapı ana eksenleriyle çakışmayan yapısal elemanların iç kuvvetlerinin hesaplanması için gerekli olmakla birlikte tüm yapı elemanları için zorunlu kılınmaktadır. Yukarıda bahsedilen kural taban ankastre yapılar için verilmiş olup, izolasyonlu yapı uygulamalarının hayata geçmesinden sonra bu yapılardaki yapısal elemanlar için de aynen uygulanmaya devam edilmiştir. Ayrıca, izolasyonlu yapılarda bulunan izolatör deplasmanlarının hesaplanmasında veya görelî kat ötelemelerinin hesaplanmasında doğrultusal birleştirme ile ilgili açık bir kural bulunmamaktadır. Bu kısımda, %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralının geçerliliği, aşağıda tarif edilen R hata oranlarının hesaplanmasıyla kontrol edilecektir. R hata oranları, herhangi bir kat için tarif edilmiştir.

a) Kesme kuvvetlerinin hesaplanmasında

%100+%30 doğrultusal birleştirme kuralına göre lokal x ve y yönlerindeki kolon kesme kuvvetleri olan  $S_x^c$  ve  $S_y^c$ , şu şekilde hesaplanmıştır:

$$S_x^1 = \max [(S_{x_{DBX}} + 0.3 S_{x_{KGY}}), (0.3 S_{x_{DBX}} + S_{x_{KGY}})] \quad (4.1a)$$

$$S_x^2 = \max [(S_{x_{DBY}} + 0.3 S_{x_{KGX}}), (0.3 S_{x_{DBY}} + S_{x_{KGX}})] \quad (4.1b)$$

$$S_x^c = \max(S_x^1, S_x^2) \quad (4.1c)$$

ve

$$S_y^1 = \max [(S_{y_{DBX}} + 0.3 S_{y_{KGY}}), (0.3 S_{y_{DBX}} + S_{y_{KGY}})] \quad (4.2a)$$

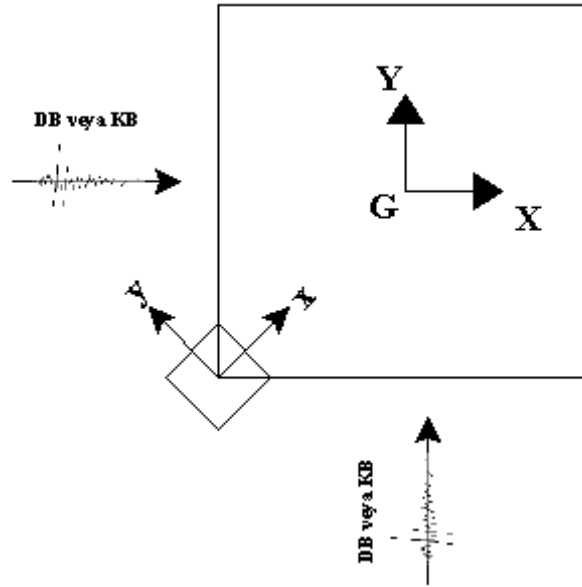
$$S_y^2 = \max [(S_{y_{DBY}} + 0.3 S_{y_{KGX}}), (0.3 S_{y_{DBY}} + S_{y_{KGX}})] \quad (4.2b)$$

$$S_y^c = \max(S_y^1, S_y^2) \quad (4.2c)$$

Deprem bileşenlerinin tek doğrultuda yapıya etkimleri, global eksenler (X, Y) ve lokal eksenler (x, y) Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Denklem (4.1a)'daki  $S_x^1$  değerinin

hesaplanmasında kullanılan  $S_{XDBX}$  depremin DB bileşeninin global X doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal x doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değerini,  $S_{XKGY}$  depremin KG bileşeninin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal x doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değerini göstermektedir. Benzeri şekilde, Denklem (4.1b)'deki  $S^2_x$  değerinin hesaplanmasında kullanılan  $S_{XDBY}$  depremin DB bileşeninin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal x doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değerini,  $S_{XKGX}$  depremin KG bileşeninin global X doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal x doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değerini göstermektedir.

Denklem (4.2a)'daki  $S^1_y$  değerinin hesaplanmasında kullanılan  $S_{YDBX}$  depremin DB bileşeninin global X doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal y doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değerini,  $S_{YKGY}$  depremin KG bileşeninin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal y doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değerini göstermektedir. Benzeri şekilde, Denklem (4.2b)'deki  $S^2_y$  değerinin hesaplanmasında kullanılan  $S_{YDBY}$  depremin DB bileşeninin global Y doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal y doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değerini,  $S_{YKGX}$  depremin KG bileşeninin global X doğrultusunda etkimesi sonucu kolonun lokal y doğrultusunda oluşacak pik kesme kuvveti değerini göstermektedir.



Şekil 4.10 Deprem bileşenlerinin tek doğrultuda yapıya etkimesi.

Depremin herhangi bir  $\alpha$  açısıyla binaya etkimesi sonucu (Şekil 3.3) bir kolonda lokal x ve y yönlerinde oluşacak pik kesme kuvvetleri  $S_x^a$  ve  $S_y^a$  olmak üzere, esas değerlerin yönetmelik değerlerine oranı, x ve y yönleri için bu çalışmada

$$R_{S_x} = \frac{S_x^a}{S_x^c} \quad (4.3)$$

$$R_{S_y} = \frac{S_y^a}{S_y^c} \quad (4.4)$$

olarak tanımlanmıştır. Bu hata oranının bire eşit olması durumunda yönetmeliğin gerçek durumu tam olarak öngörmüş olduğu anlaşılır. Bu oranın birin üstünde olması durumunda yönetmeliğin güvensiz, birin altında olması durumunda ise güvenli fakat ekonomik olmayan sonuçlar ortaya koymuş olarak değerlendirilecektir.

b) Görelî kat ötelemelerinin hesaplanmasında

Yönetmeliklerde, görelî kat ötelemeleri için herhangi bir doğrultusal birleştirme kuralı öngörülmemiştir. Sadece, global X ve Y doğrultularında görelî kat ötelemeleri deprem bileşenlerinin yapı ana eksenleri doğrultusuna etkimesi sonucu tek doğrultuda yapılacak analizlerle belirlenmektedir. Buna göre, görelî kat öteleme oranları

$$DRX^c = \max (DRX_{DBX}, DRX_{KGX}) \quad (4.5)$$

ve

$$DRY^c = \max (DRY_{DBY}, DRY_{KGY}) \quad (4.6)$$

şeklinde hesaplanır. Depremin herhangi bir  $\alpha$  açısıyla binaya etkimesi sonucu (Şekil 3.3) global X ve Y yönlerinde oluşacak pik görelî kat öteleme oranları  $DRX^a$  ve  $DRY^a$  olmak üzere, esas değerlerin yönetmelik değerlerine oranı

$$R_{DRX} = \frac{DRX^a}{DRX^c} \quad (4.7)$$

$$R_{DRY} = \frac{DRY^a}{DRY^c} \quad (4.8)$$

olarak tanımlanmıştır. Bu oranın bire eşit olması durumunda yönetmeliğin gerçek durumu tam olarak öngörmüş olduğu anlaşılır. Bu oranın birin üstünde olması durumunda

yönetmeliğin güvensiz, birin altında olması durumunda ise güvenli fakat ekonomik olmayan sonuçlar ortaya koymuş olarak değerlendirilecektir.

c) İzolatör deplasmanlarının hesaplanmasında

Yönetmeliklerde, izolatör deplasmanları için herhangi bir doğrultusal birleştirme kuralı öngörülmemiştir. Sadece, global X ve Y doğrultularındaki izolatör deplasmanları deprem bileşenlerinin yapı ana eksenleri doğrultusuna etkimesi sonucu tek doğrultuda yapılacak analizlerle belirlenmektedir. Buna göre, göreceli kat öteleme oranları

$$IDX^c = \max (IDX_{DBX}, IDX_{KGX}) \quad (4.9)$$

ve

$$IDY^c = \max (IDY_{DBY}, IDY_{KGY}) \quad (4.10)$$

şeklinde hesaplanır. Depremi herhangi bir  $\alpha$  açısıyla binaya etkimesi sonucu (Şekil 3.3) global X ve Y yönlerinde oluşacak pik izolatör deplasmanları  $IDX^a$  ve  $IDY^a$  olmak üzere, esas değerlerin yönetmelik değerlerine oranı

$$R_{IDX} = \frac{IDX^a}{IDX^c} \quad (4.11)$$

$$R_{IDY} = \frac{IDY^a}{IDY^c} \quad (4.12)$$

olarak tanımlanmıştır. Bu oranın bire eşit olması durumunda yönetmeliğin gerçek durumu tam olarak öngörmüş olduğu anlaşılır. Bu oranın birin üstünde olması durumunda yönetmeliğin güvensiz, birin altında olması durumunda ise güvenli fakat ekonomik olmayan sonuçlar ortaya koymuş olarak değerlendirilecektir.

#### 4.3.1 Duyarlılık Analizleri

Bu kısımda, depremin geliş açısının sismik izolasyonlu binalar için hesaplanan hata oranları ( $R_{Sx}$ ,  $R_{Sy}$ ,  $R_{DRX}$ ,  $R_{DRY}$ ,  $R_{IDX}$ ,  $R_{IDY}$  – Denklem (3)-(4), (7)-(8), (11)-(12)) üzerindeki etkilerinin, çalışma kapsamında göz önüne alınan parametrelere olan duyarlılığı incelenmiştir. Duyarlılık analizlerinde nominal NLT2\_e0\_b45\_t45 modeli kullanılmış ve duyarlılığı incelenen parametre değişken olarak göz önüne alınırken diğer parametreler sabit tutulmuştur. İncelenen parametrelerden, lokal eksenleri global eksenlere paralel olmayan kolonların boyutlarının (t), kolon lokal eksenlerinin yapı global eksenleri ile yaptığı açının (b), akma sonrası izolasyon



periyodunun ( $T_0$ ), izolasyon sisteminin karakteristik özelliklerinin (LT ve NLT) ve eksentrisitenin ( $e$ ) hata oranlarının üzerindeki etkinliği, yapılan hassasiyet analizleri ile irdelenerek sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur. Eksentrisite hariç, diğer tüm parametrelere olan hassasiyet sadece 1E aksı için sunulmuştur. 5A aksı için aynı sonuçlar çıkmaktadır. Ancak, eksentrisite söz konusu olduğunda, sonuçlar kaydırılmış ağırlık merkezine en uzak ve en yakın akslar için ayrı ayrı irdelenmiş ve grafikler hem 1E hem de 5A aksı için sunulmuştur. Ayrıca, Bölüm 4.1 ve 4.2’de olduğu gibi bu bölümde de Bölüm 3.4’te bahsedilen depremlerden Loma Prieta, Rinaldi, Kobe ve Sylmar depremleri altındaki analiz sonuçları sunulmuştur. Bu depremlerinin D–B ve K–G bileşenleri modellere aynı anda X ve Y doğrultularında etkilmiştir. Bu kısımda, sadece birinci kata ait kolon kesme kuvveti hata oranları ve görelî kat öteleme hata oranları sunulmuştur. Diğer katlar için sonuçlar benzerlik arz etmektedir. Analizler sonucu oluşturulan grafikler Şekil 4.11- 4.28’de verilmiştir.

Lokal eksenleri global eksenlere paralel olmayan kolonların boyutlarının etkisinin incelendiği duruma ait grafikler Şekil 4.11- Şekil 4.13’te sunulmuştur. Sunulan bu hata oranı grafiklerinin tamamında deprem farkı gözetmeksizin farklı kolon boyutları için oluşturulan eğrilerin hemen hemen üst üste çıktığı, dolayısıyla kolon boyutlarının hesaplanan hata oranları üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

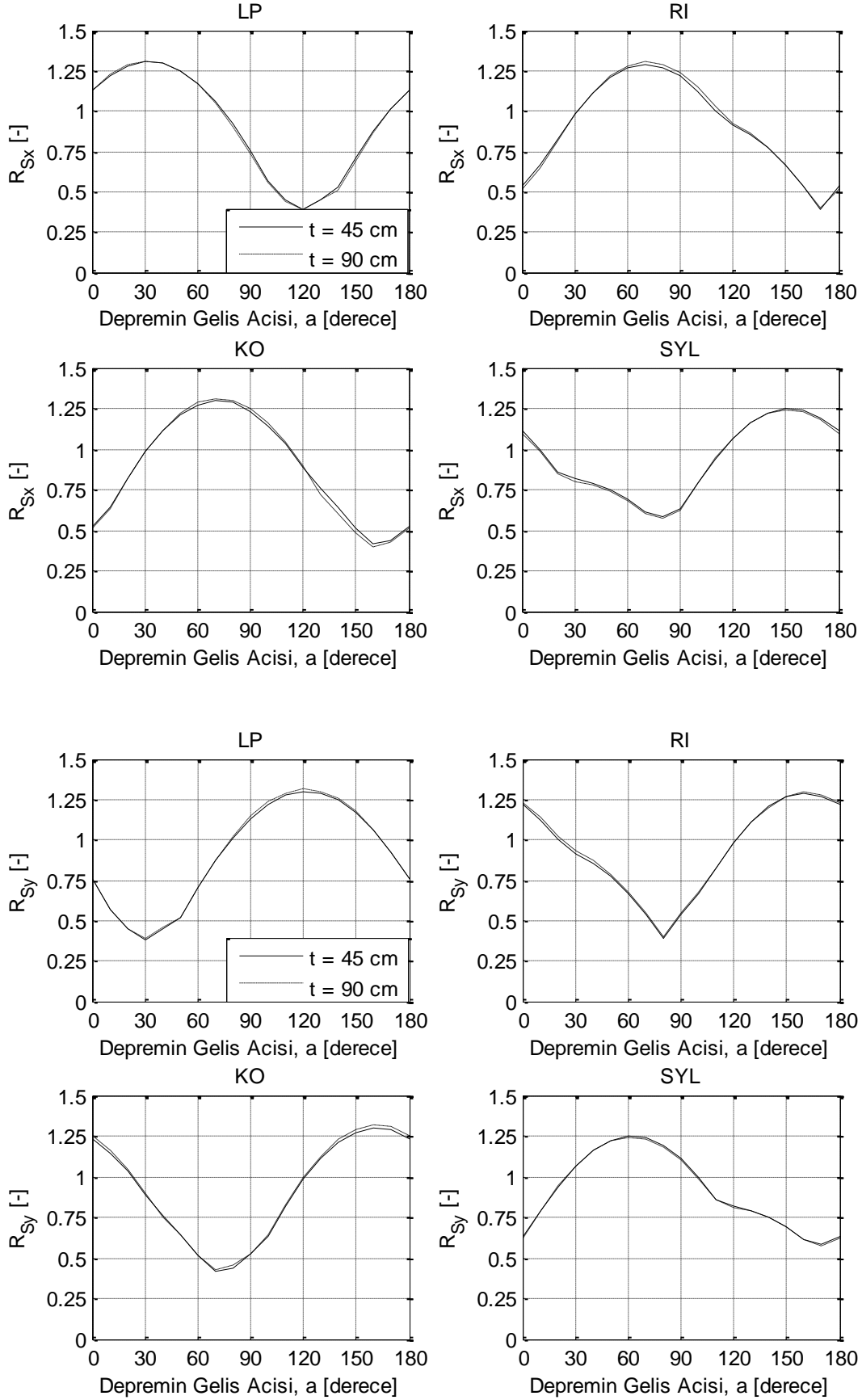
Lokal eksenleri global eksenlere paralel olmayan kolonların lokal eksenlerinin yapı global eksenleri ile yaptığı açı ( $b$ )’ye göre yapılan duyarlılık incelemesi sonuçları Şekil 4.14- Şekil 4.16’da sunulmuştur. Şekil 4.14’te  $R_{Sx}$  ve  $R_{Sy}$  değerlerinin  $b$  parametresine göre değişimi verilmiştir. Her bir deprem için  $b = 30, 45$  ve  $60$  derece olması durumunda ortaya çıkan duyarlılık eğrilerinde farklılıklar söz konusudur. Kesme kuvvetleri için gözlenen en büyük hata oranları, kolonun duruş  $b = 45$  derecelik duruş açısına sahip olduğu durumlarda gözlenmektedir. Öte yandan, tümler açı olan  $b = 30$  ve  $60$  derece için en büyük hata oranları aynı çıkmaktadır. Ayrıca, farklı kolon duruş açıları ve farklı depremler için hata oranlarının en büyük değerine ulaştığı a deprem geliş açısının farklı olduğu da gözlenmiştir. Şekil 4.15 ve 4.16’da sunulan kat öteleme oranı ve izolatör deplasmanlarına ait hata oran grafiklerinde tüm  $b$  açıları için hata oranı eğrilerinin üst üste çıktığı görülmekte ve dolayısıyla bu yapısal cevapların kolonun duruş açısından bağımsız olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 4.17 - 4.19’da akma sonrası izolasyon periyodunun hata oranlarına etkisi incelenmiştir.  $T_0 = 2$  sn ve  $T_0 = 3$  sn olması durumları karşılaştırıldığında, kesme kuvveti (Şekil 4.17) ve

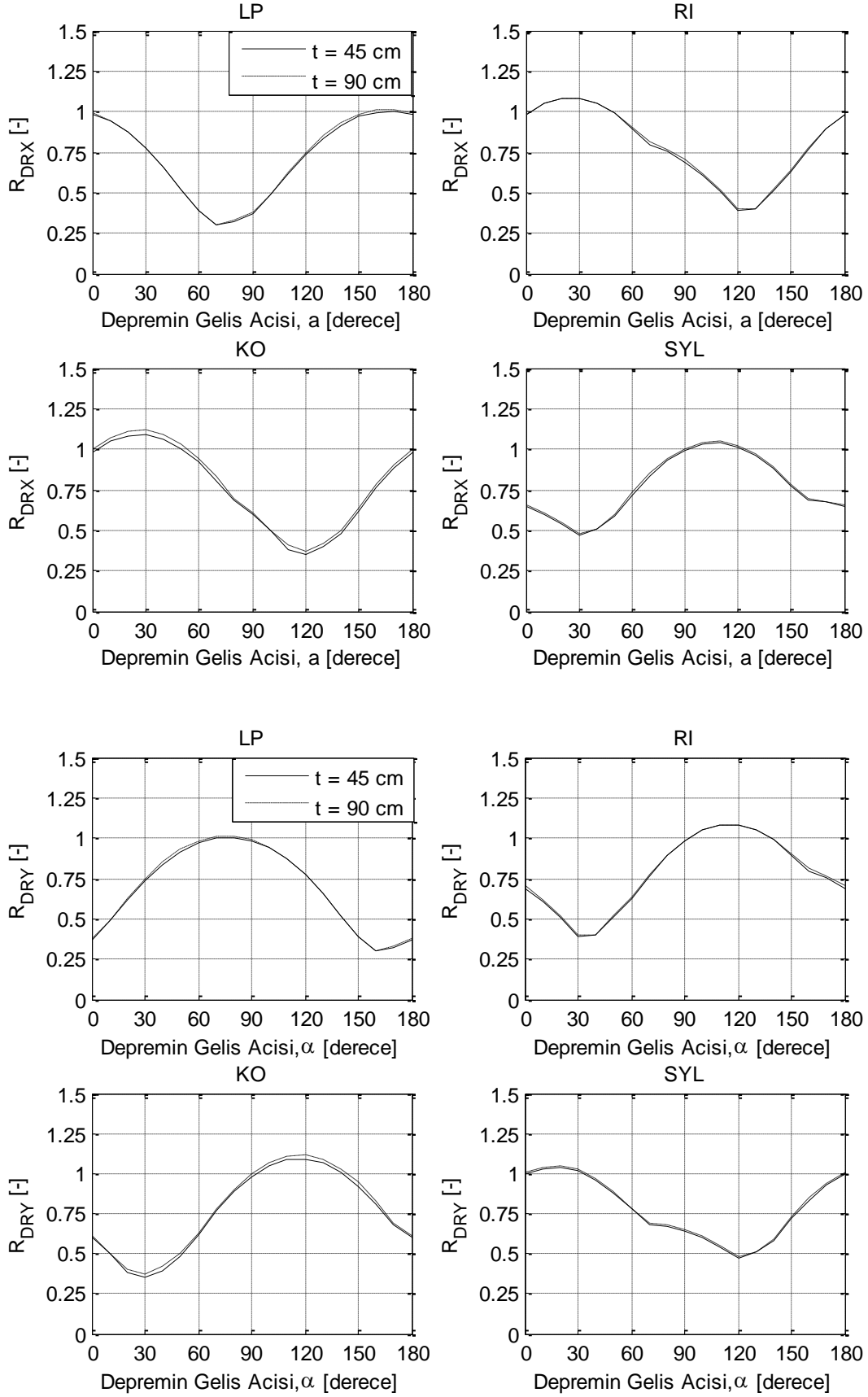
görelî kat öteleme oranı (Şekil 4.18) için oluşturulan hata oranlarına ait çoğu grafikte aynı depremler altında oluşan eğriler arasında ancak küçük farklılıklar olduğu görülmektedir. Öte yandan, izolasyon sistemini doğrudan ilgilendiren bu parametre izolatör deplasmanı hata oranlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu durum, Şekil 4.19'da, özellikle Kobe Depremi için açıkça gözlenmektedir.

Şekil 4.20 - 4.22'de izolasyon sisteminin karakteristik özellikleri (lineer veya nonlineer olması) durumu incelenmiştir. Bu amaçla NLT2\_e0\_b45\_t45 modeli ile LT2\_e0\_b45\_t45 modelinin karşılaştırılması yapılmıştır. Grafikler incelendiğinde, modelleme tekniğinin yok denecek kadar az etkisinin olduğu gözlenmiştir.

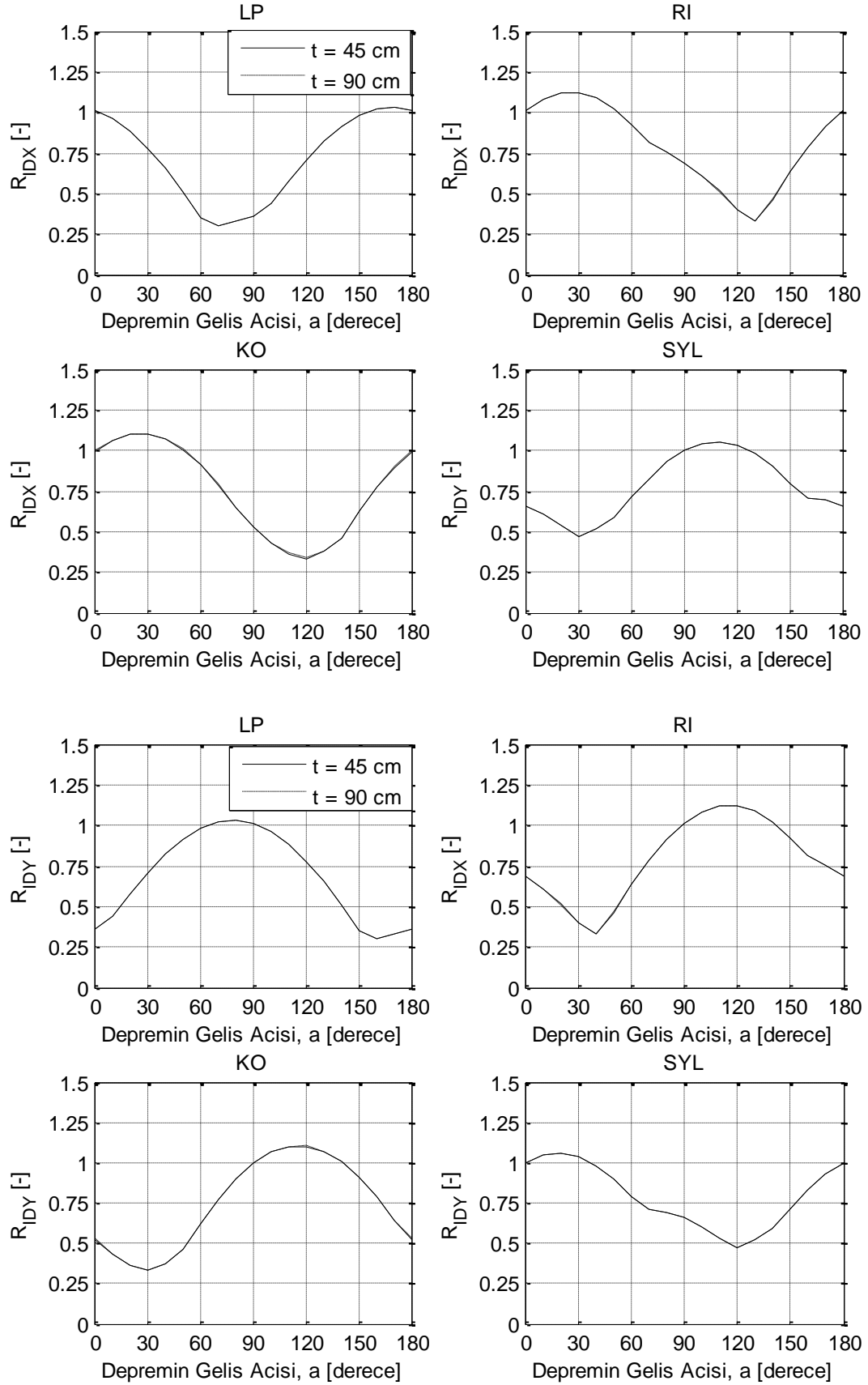
Şekil 4.23 - 4.28'de eksentrisitenin hata oranlarına etkisi  $e = \% 0$  ve  $e = \% 25$  durumları karşılaştırılarak incelenmiştir. Bunlardan, Şekil 4.23, 4.25, 4.27'de verilen grafikler 1E aksına, Şekil 4.24, 4.26, 4.28'de verilen grafikler ise 5A aksına aittir. Kaydırılmış ağırlık merkezine göre en yakın aks 5A iken en uzak aks 1E aksıdır (Şekil 3.3). Kolon kesme kuvvetleri açısından durum incelendiğinde, eksentrisitenin hata oranlarına bir miktar etkisi bulunmaktadır. Eksentrisitenin varlığı hata oranlarını arttırmakta, bu artışlar 5A aksı için SYL örneğinde olduğu gibi 1.25 düzeyinden 1.50 düzeyine %20 civarında olabilmektedir. Ayrıca, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 karşılaştırmalı olarak incelendiğinde grafiklerin farklı olduğu görülmekte, ağırlık merkezine yakınlık ve uzaklığın da kesme kuvveti hata oranları üzerinde etkisi olduğu ortaya çıkmaktadır. Görelî kat ötelemeleri açısından durum daha çarpıcıdır. Eksentrik durum, simetrik duruma göre hata oranlarında büyük artışlar sebebiyet vermektedir. Simetrik durumlar için 1.0 civarında olan en büyük hata oranları, eksentrisite ile birlikte en kötü durumlar için (SYL, KO) 1.50 değerlerini aşmaktadır. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26 karşılaştırmalı olarak incelendiğinde grafiklerin tamamen farklı olduğu görülmekte, ağırlık merkezine yakınlık ve uzaklığın da görelî kat öteleme oranı hata oranları üzerinde etkisi olduğu ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.27 ve 4.28'de sunulan izolatör deplasmanları ise görelî kat ötelemeleri ile aynı eğilimi sergilemektedir.



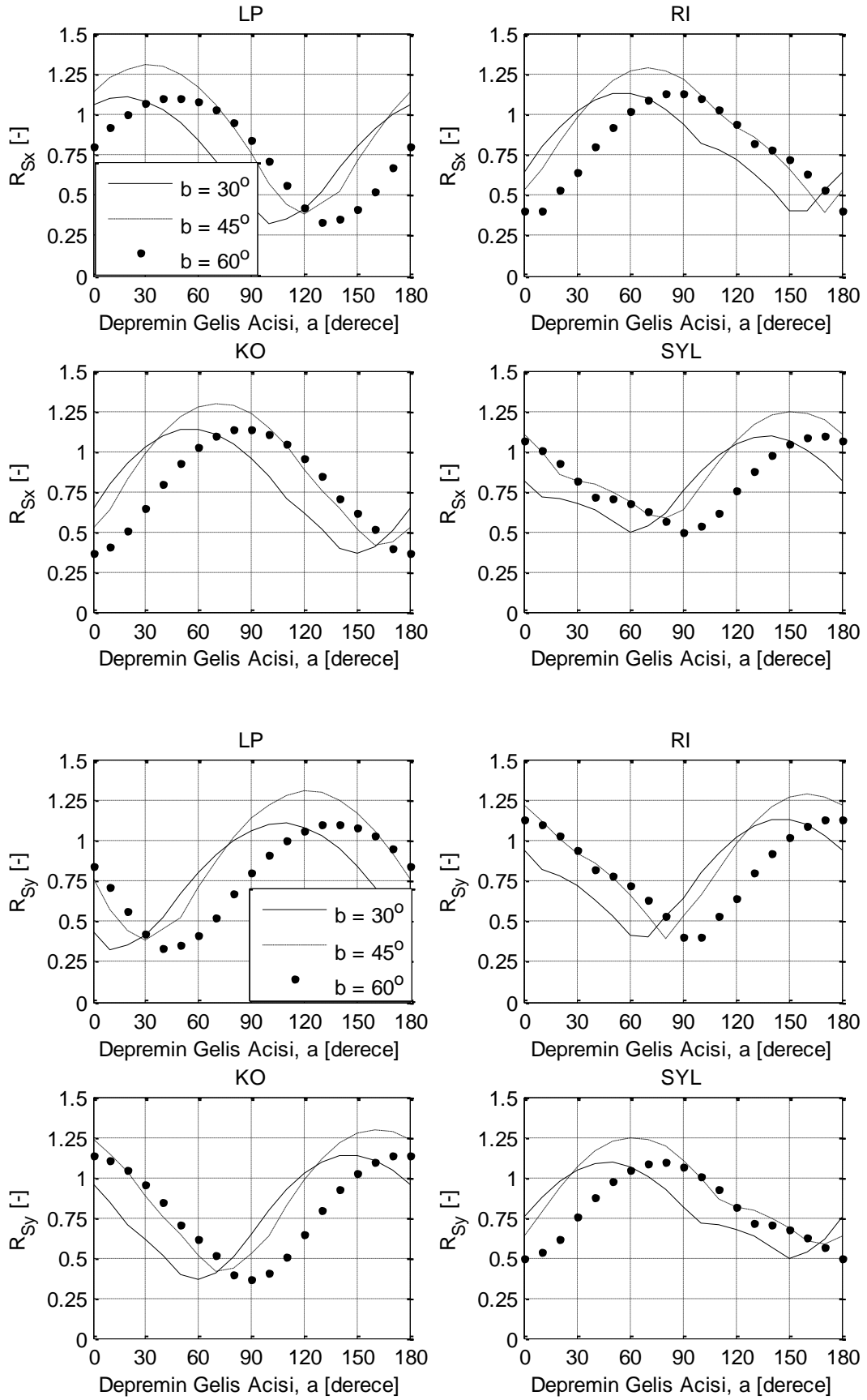
Şekil 4.11: Kesme kuvveti hata oranlarının kolonun  $t$  boyutuna duyarlılığı.



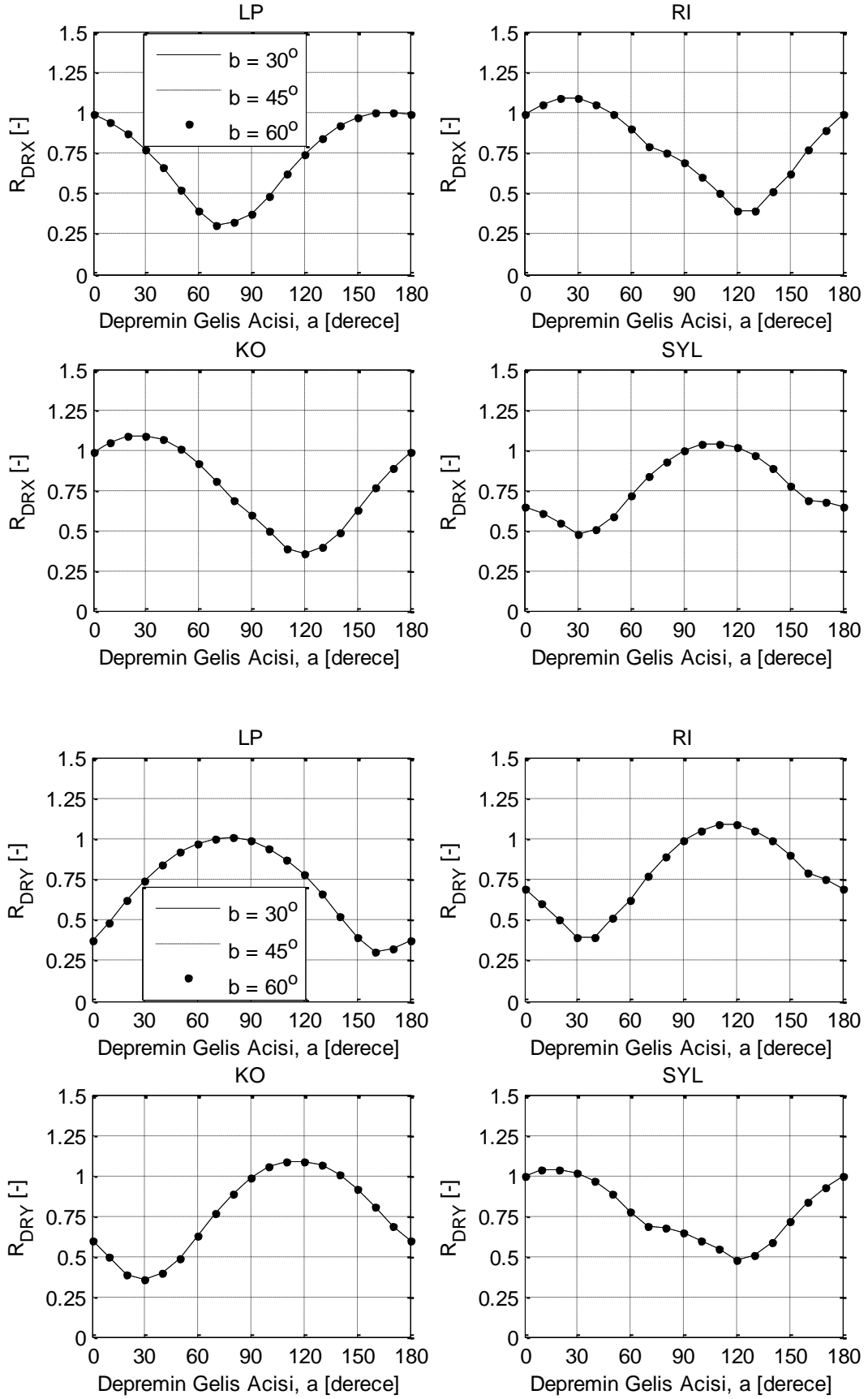
Şekil 4.12: Kat ötelemesi oranı hata oranlarının kolonun  $t$  boyutuna duyarlılığı.



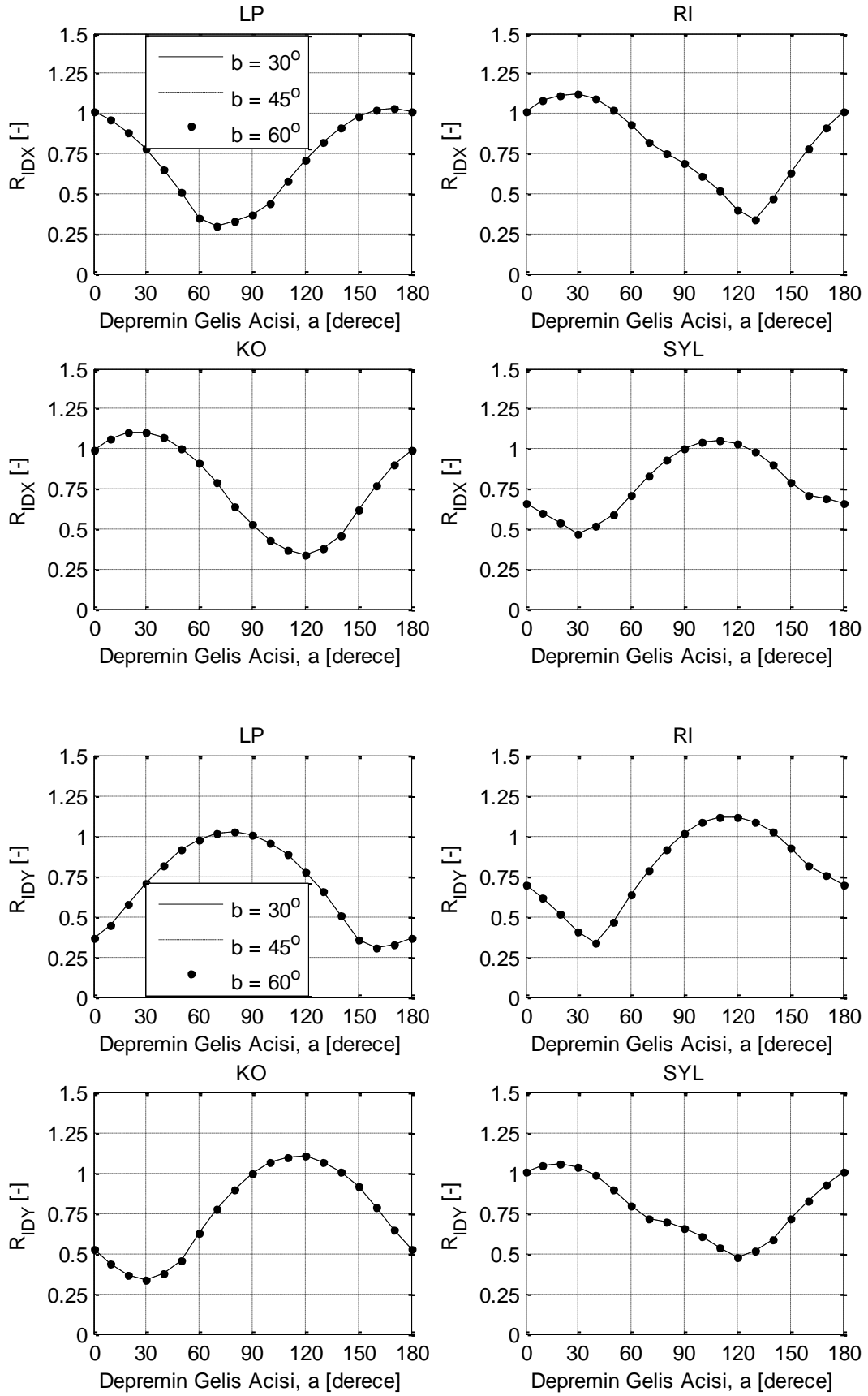
Şekil 4.13: İzolator deplasmanı hata oranlarının kolonun  $t$  boyutuna duyarlılığı.



Şekil 4.14: Kesme kuvveti hata oranlarının kolonun  $b$  oryantasyonuna duyarlılığı.

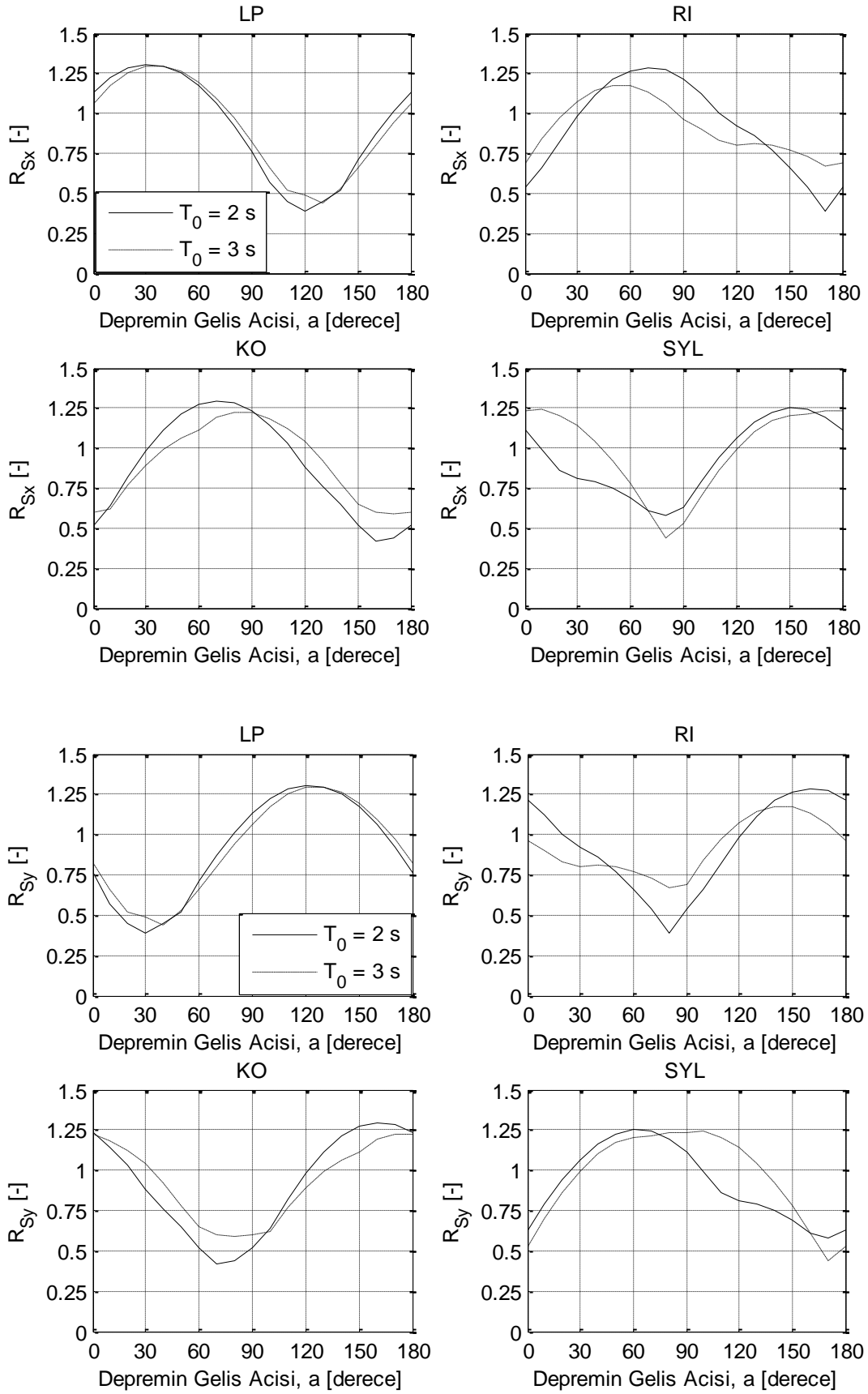


Şekil 4.15: Kat öteleme oranı hata oranlarının kolonun  $b$  oryantasyonuna duyarlılığı.

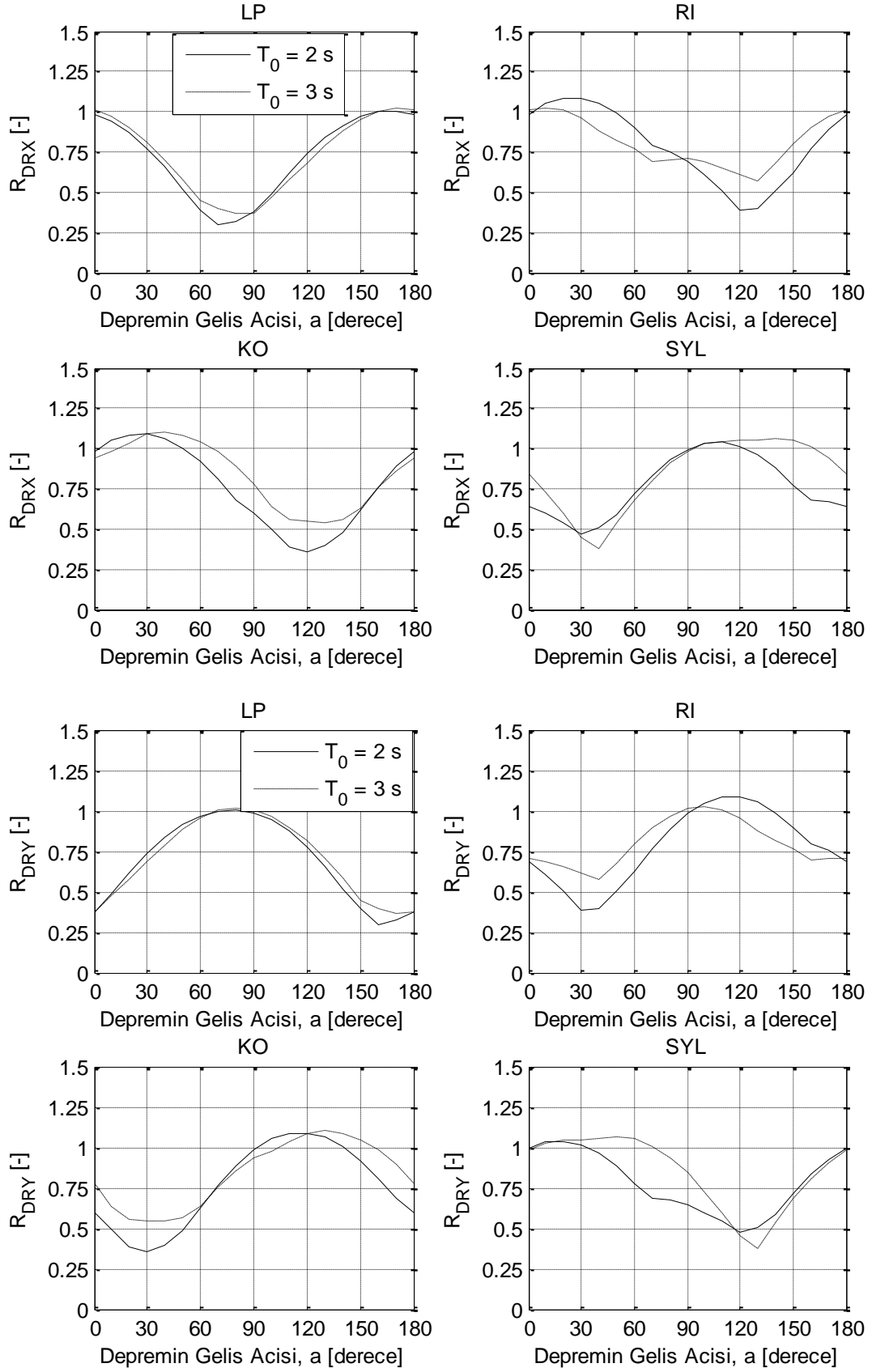


Şekil 4.16: İzolator deplasmanı hata oranlarının kolonun  $b$  oryantasyonuna duyarlılığı.

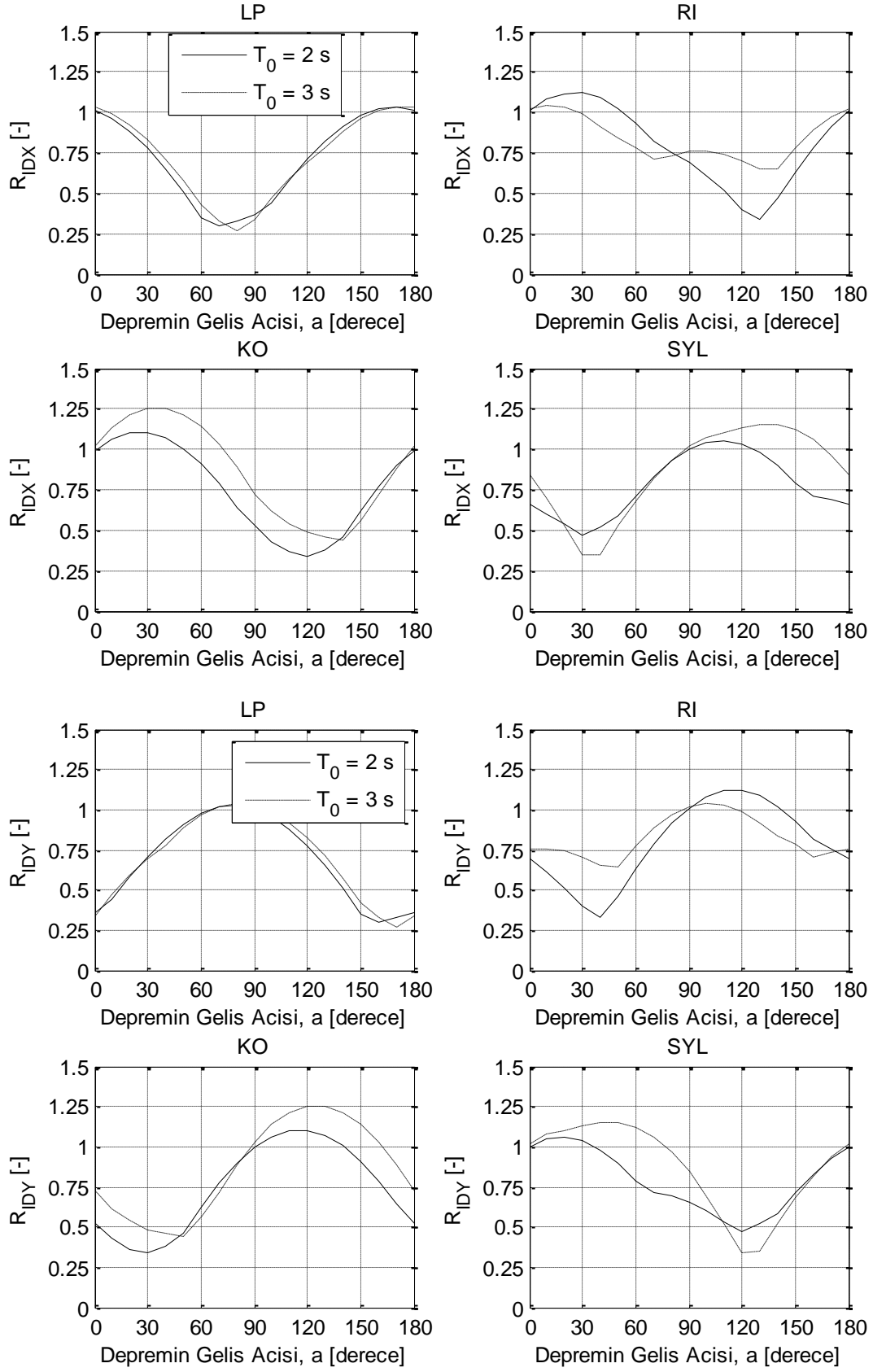




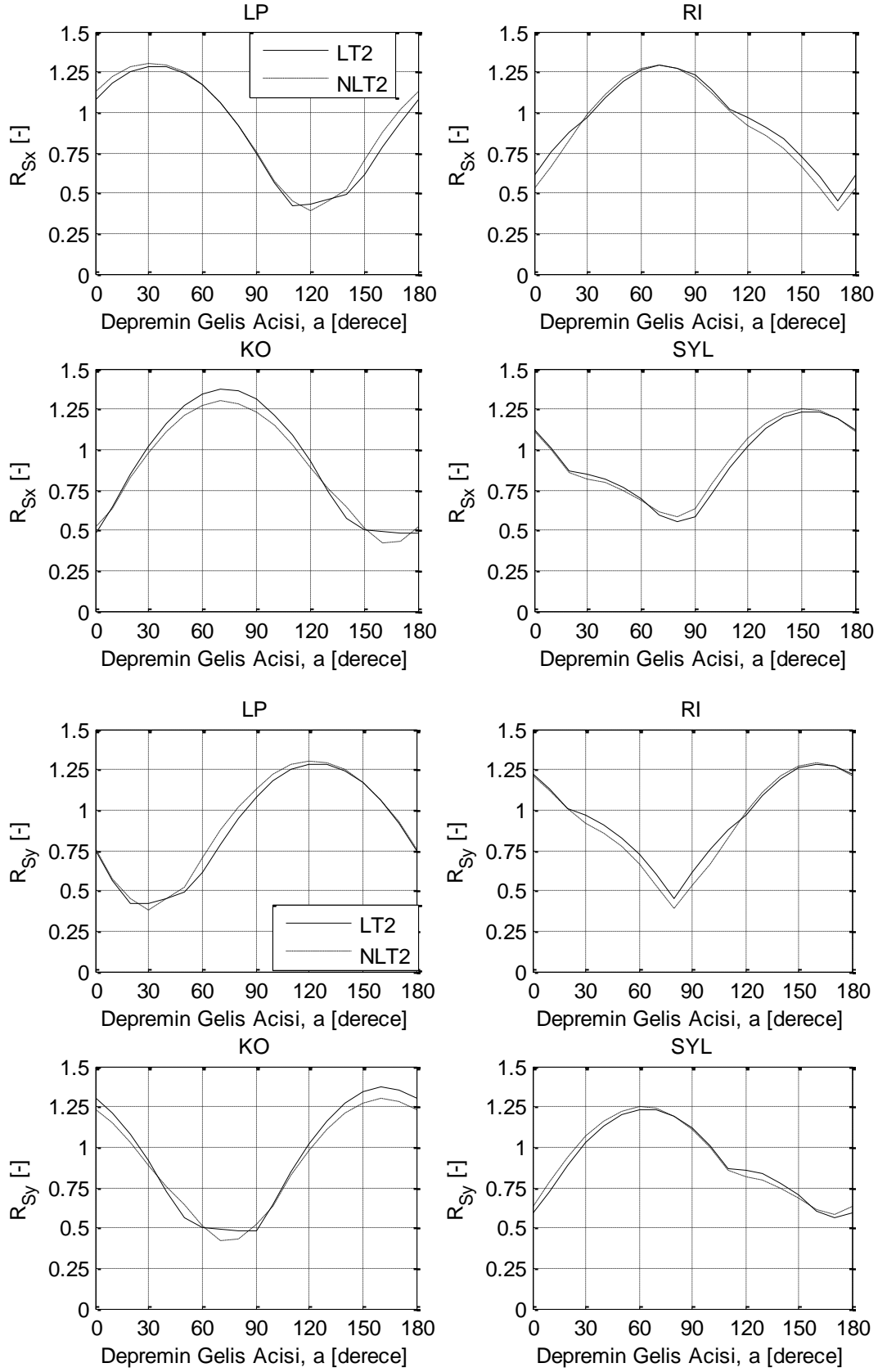
Şekil 4.17: Kesme kuvveti hata oranlarının  $T_0$  akma sonrası izolasyon periyoduna duyarlılığı.



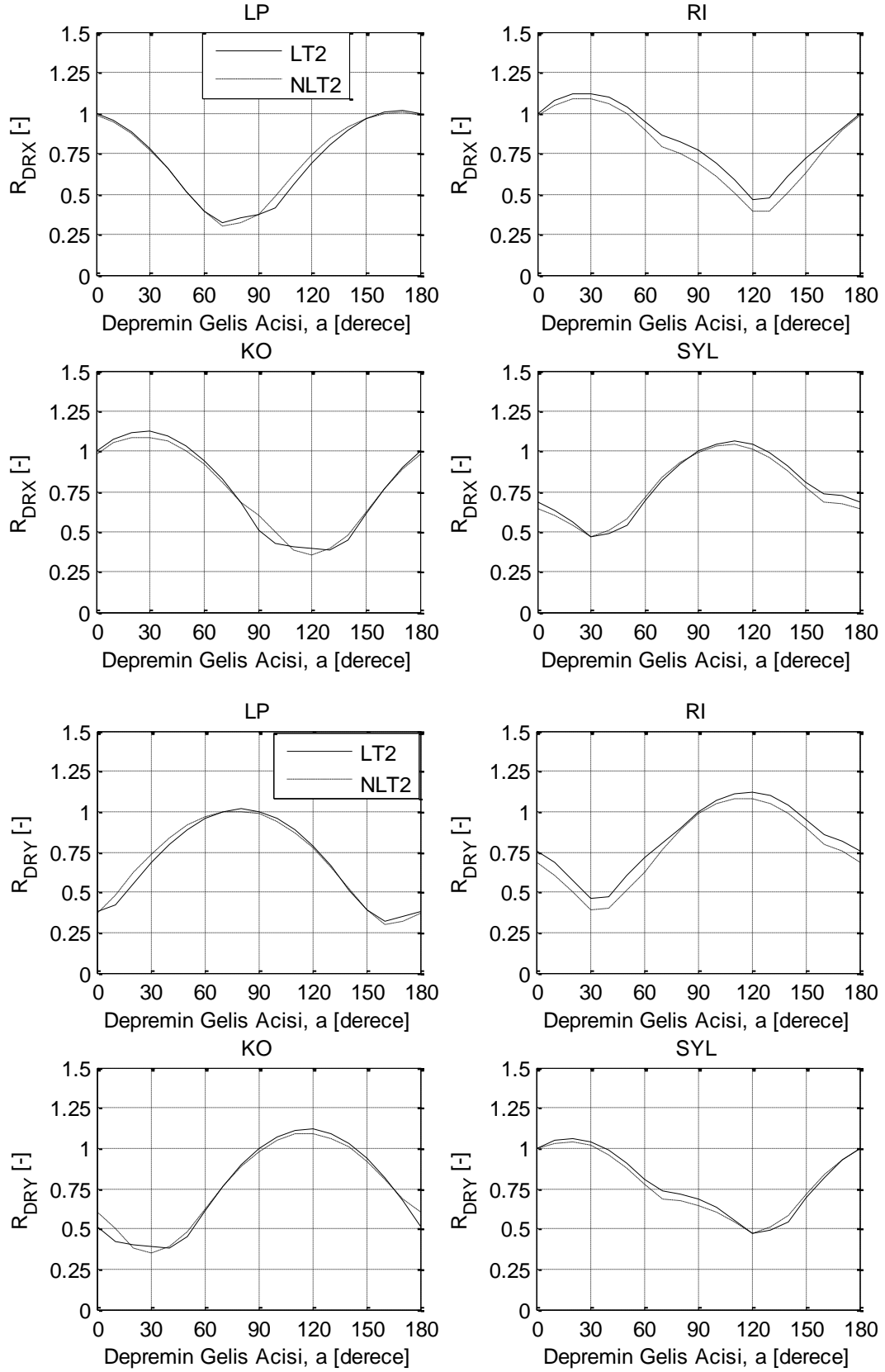
Şekil 4.18: Kat öteleme oranı hata oranlarının  $T_0$  akma sonrası izolasyon periyoduna duyarlılığı.



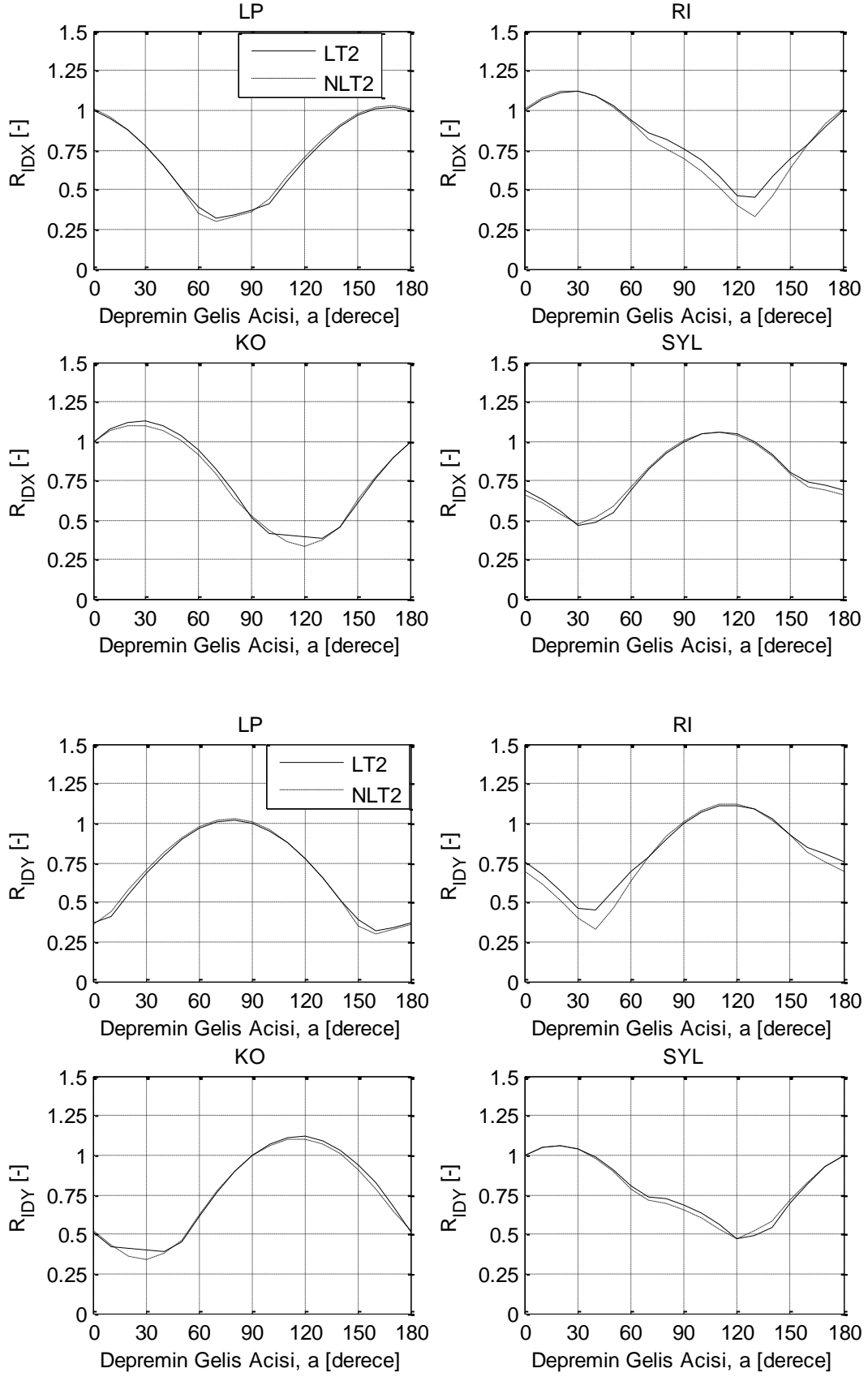
Şekil 4.19: İzolatör deplasmanı hata oranlarının  $T_0$  akma sonrası izolasyon periyoduna duyarlılığı.



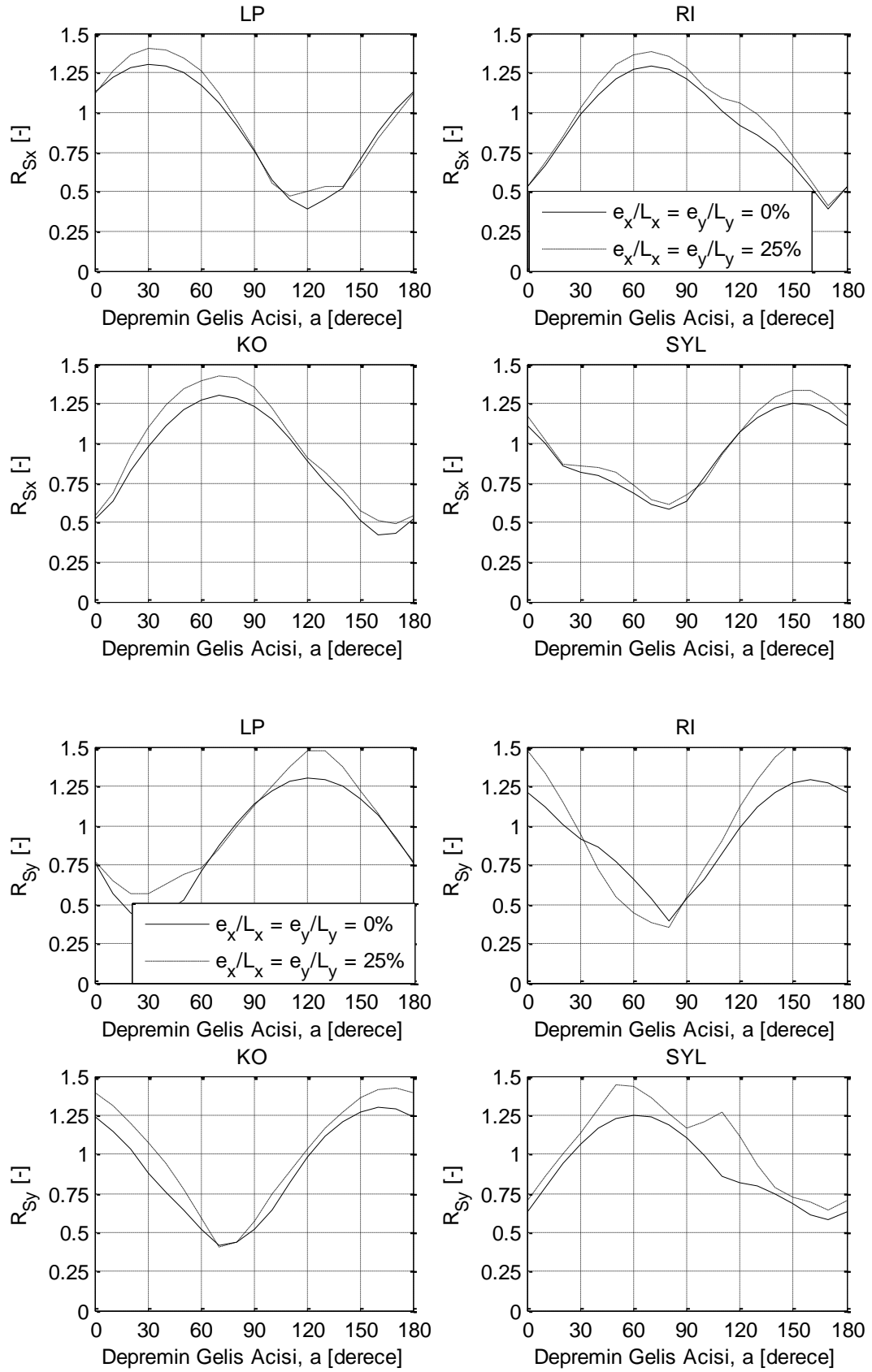
Şekil 4.20: Kesme kuvveti hata oranlarının izolasyon sistemine (lineer ve nonlinear) duyarlılığı.



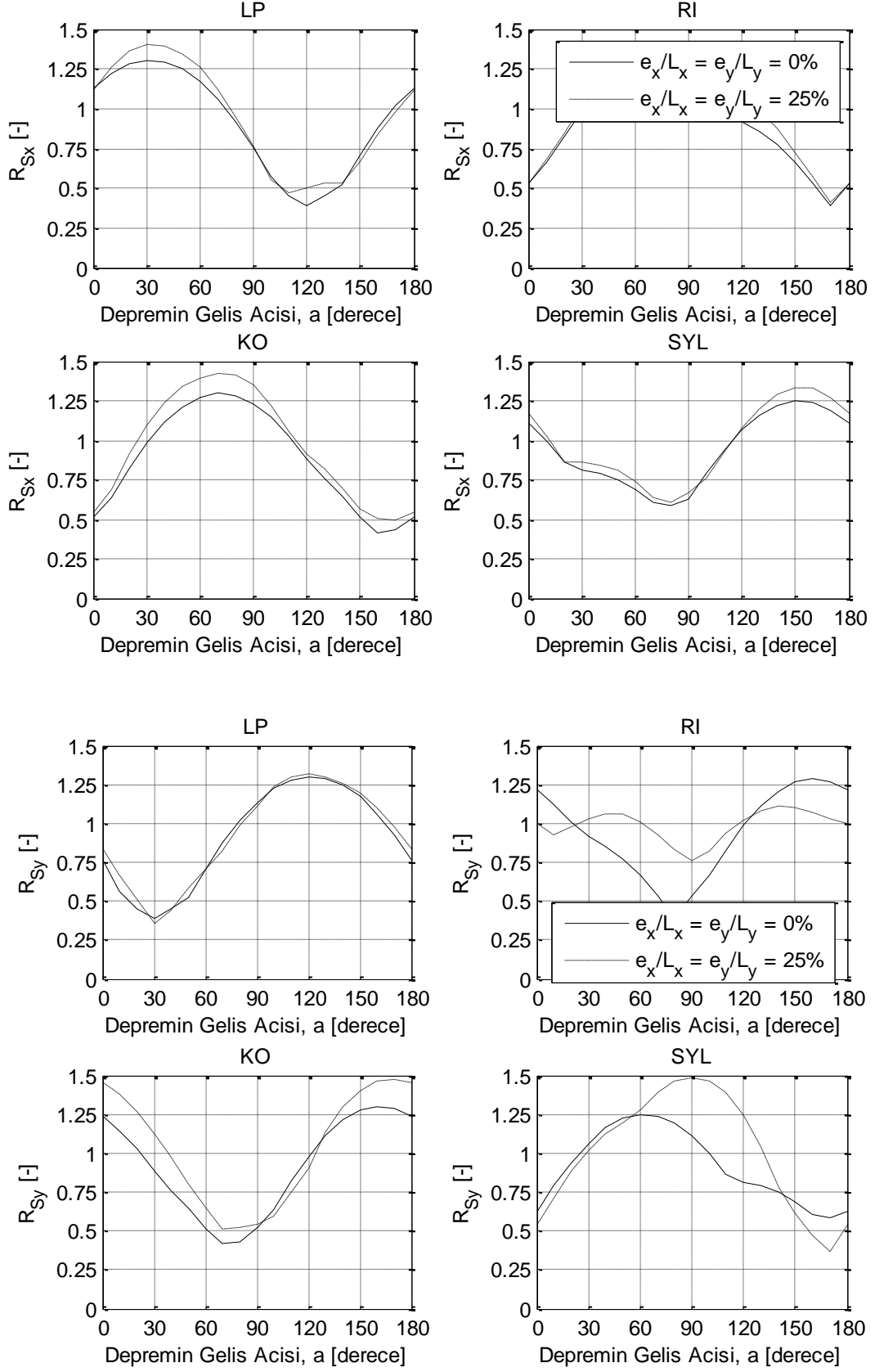
Şekil 4.21: Kat öteleme oranı hata oranlarının izolasyon sistemine (lineer ve nonlinear) duyarlılığı.



Şekil 4.22: İzolator deplasmanı hata oranlarının izolasyon sistemine (lineer ve nonlinear) duyarlılığı.

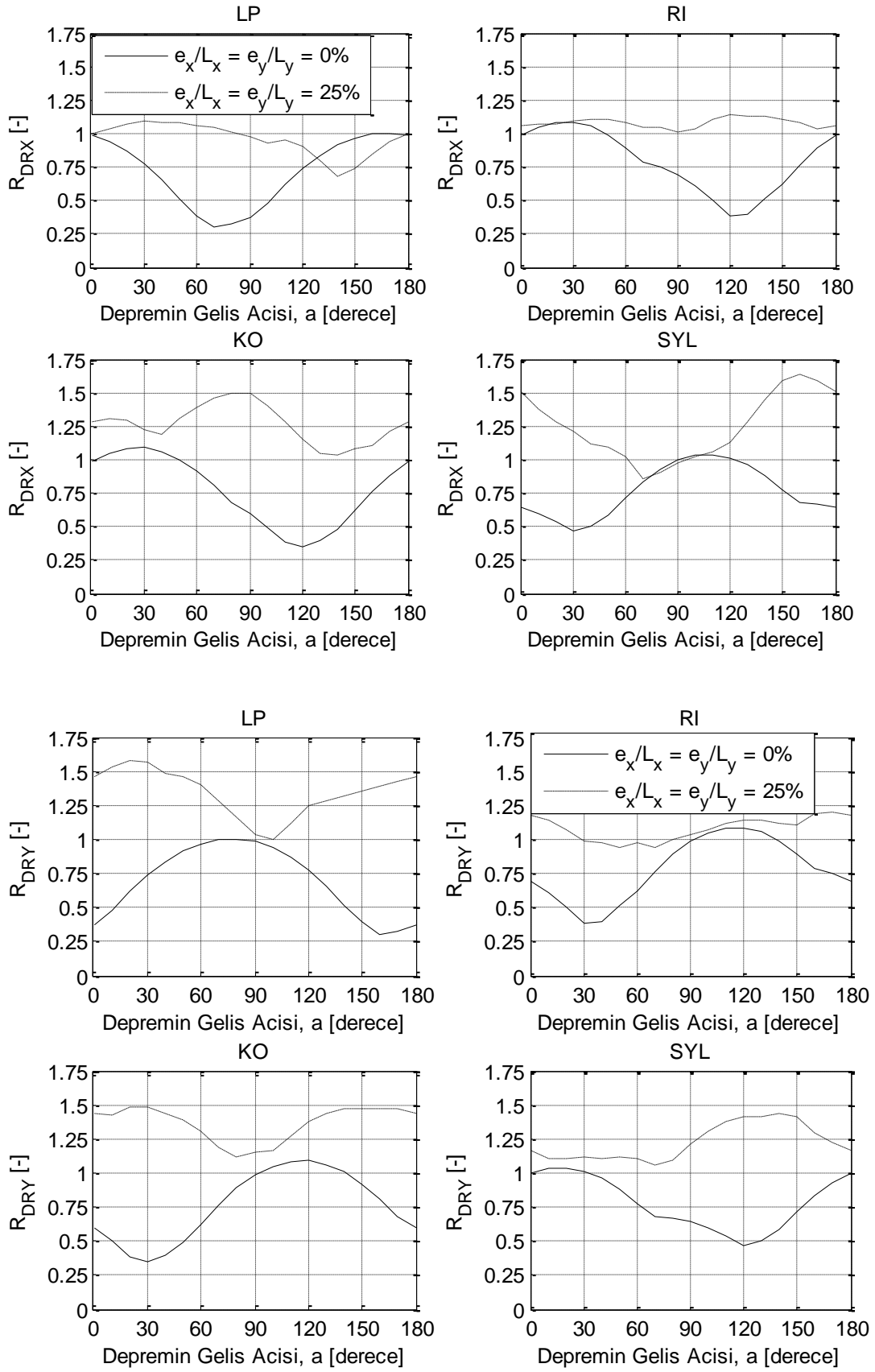


Şekil 4.23: 1E aksında kesme kuvveti hata oranlarının eksentrisiteye duyarlılığı.

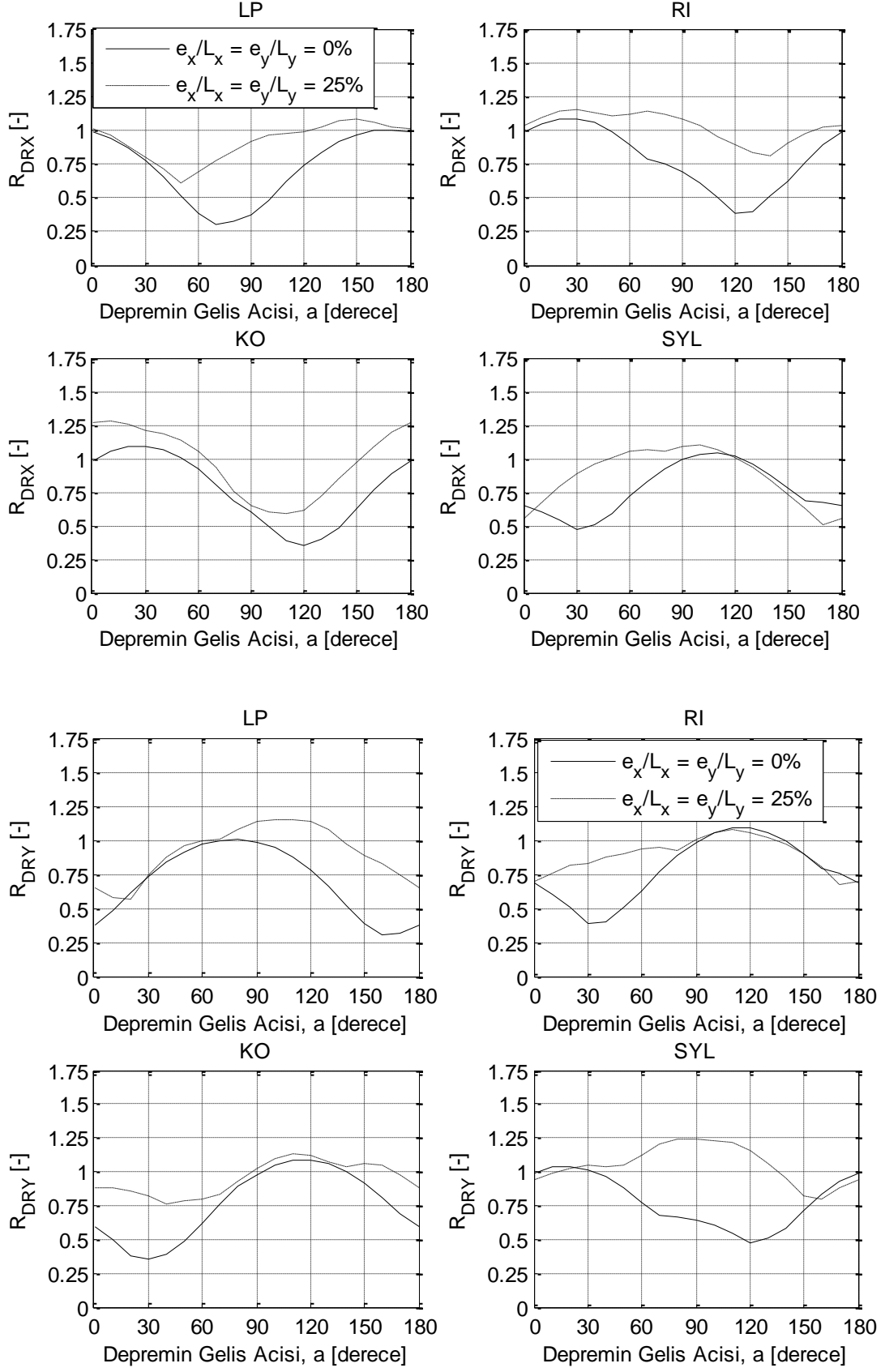


Şekil 4.24: 5A aksında kesme kuvveti hata oranlarının eksentrisiteye duyarlılığı.

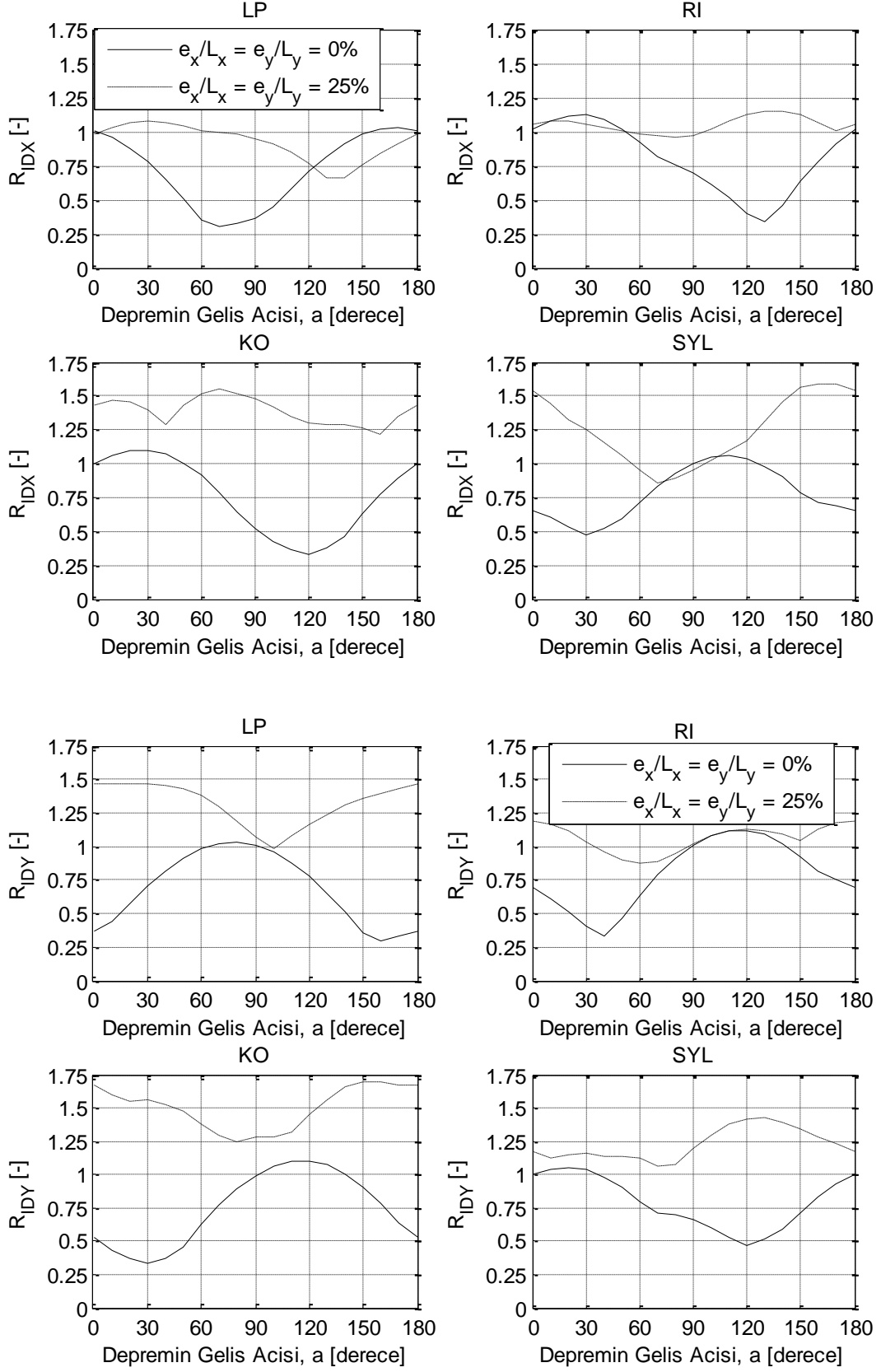




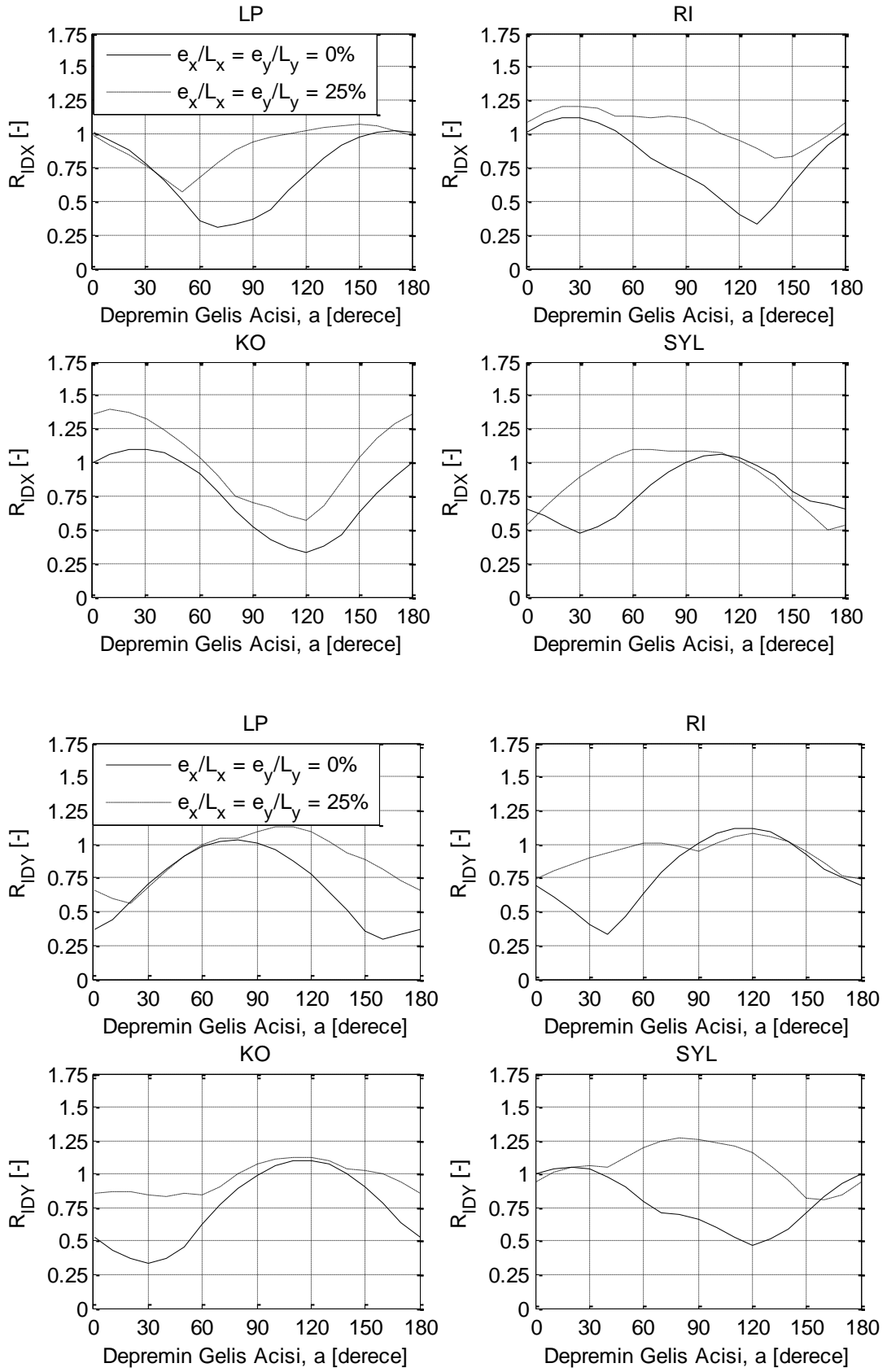
Şekil 4.25: 1E aksında kat öteleme oranı hata oranlarının eksentrisiteye duyarlılığı.



Şekil 4.26: 5A aksında kat öteleme oranı hata oranlarının eksentrisiteye duyarlılığı.



Şekil 4.27: 1E aksında izolatör deplasmanı hata oranlarının eksantrisiteye duyarlılığı.



Şekil 4.28: 5A aksında izolatör deplasmanı hata oranlarının eksentrisiteye duyarlılığı.

### 4.3.2 Birleştirme Kuralının Geçerliliği

Birleştirme kuralının izolasyonlu sistemlerde ne derece güvenilir olduğu ve geçerliliğinin saptanması amacı ile toplam 13 adet deprem için analizlerin tümü yapılarak gerekli ortalama değerler ayrıca hesaplanmıştır. Her bir yapısal cevap niceliği, farklı parametrik durumlar için oluşturulan toplam 48 adet modelde (Tablo 3.3) 1E ve 5A aksında olmak üzere toplam 96 adettir.

Yukarıda Denklem (4.3) ve (4.4) ile tarif edilen kesme kuvveti hata oranları ( $R_{Sx}$ ,  $R_{Sy}$ ) tüm katlar için ayrı ayrı ve depremin geliş açısına bağlı olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, her bir kat için en büyük hata oranı tespit edilmiştir. Bu oranlardan da, tüm katlar göz önüne alınarak, kendi içlerinde en büyükleri bulunmuştur. Bu hesap, yukarıda tarif edildiği gibi 96 farklı durum (48 adet model, 2 farklı aks) için yapılmış ve ortalamaları alınarak “ortalama en büyük kesme kuvveti hata oranları”,  $MR_{Sx}$  ve  $MR_{Sy}$ , değerleri bulunmuştur.

Şekil 4.29a ve Şekil 4.29b’de her bir deprem için bulunan, lokal x ve y doğrultuları için ortalama en büyük kesme kuvveti hata oranları verilmiştir.  $MR_{Sx}$ ’in en büyük değeri MELO depreminde 1.35 iken en küçük değeri CHY080 depreminde ortaya çıkmış ve 1.11 olmuştur. Tüm depremler için ortalama değer 1.21 olarak hesaplanmıştır.  $MR_{Sy}$  için elde edilen bulgular  $MR_{Sx}$  için elde edilenlere çok yakın olup ortalama değer 1.19 olarak hesaplanmıştır. En büyük değer 1.30 ile yine MELO depreminde ortaya çıkarken, en küçük değer 1.13 olarak bulunmuş ancak bu defa en küçük değer ortaya çıktığı depremler TAF, KOC\_Y, DUZ\_D olarak tespit edilmiştir.

Denklem (4.7) ve (4.8) ile tarif edilen görelî kat öteleme oranı hata oranları ( $R_{DRX}$ ,  $R_{DRY}$ ) tüm katlar için ayrı ayrı ve depremin geliş açısına bağlı olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, her bir kat için en büyük hata oranı tespit edilmiştir. Bu oranlardan da, tüm katlar göz önüne alınarak, kendi içlerinde en büyükleri bulunmuştur. Bu hesap, yukarıda tarif edildiği gibi 96 farklı durum (48 adet model, 2 farklı aks) için yapılmış ve ortalamaları alınarak “ortalama en büyük görelî kat öteleme oranı hata oranları”,  $MR_{DRX}$  ve  $MR_{DRY}$  değerleri bulunmuştur.

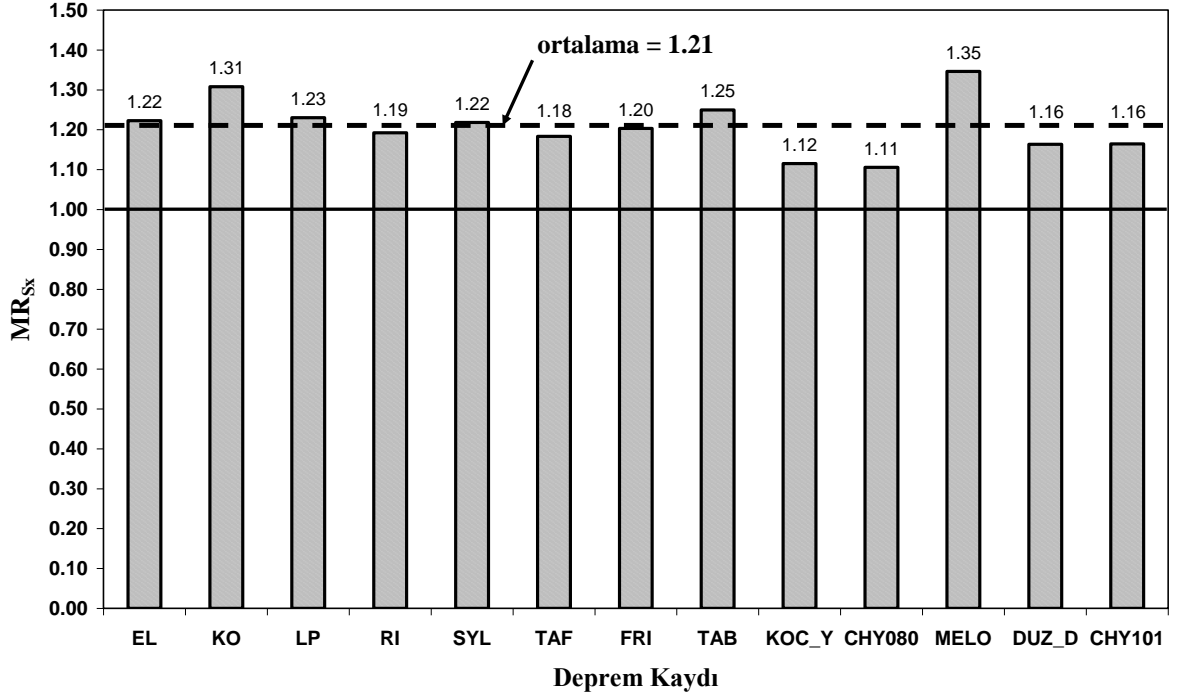
Şekil 4.30a ve Şekil 4.30b’de her bir deprem için bulunan, global X ve Y doğrultuları için ortalama en büyük görelî kat öteleme oranı hata oranları verilmiştir.  $MR_{DRX}$ ’in en büyük değeri TAB, MELO ve CHY101 depremlerinde ortaya çıkan 1.30 iken en küçük değeri LP depreminde ortaya çıkmış ve 1.06 olmuştur. Tüm depremler için ortalama değer 1.20 olarak

hesaplanmıştır.  $MR_{DRY}$  için elde edilen bulgular  $MR_{DRX}$  için elde edilenlere çok yakın olup ortalama değer 1.19 olarak hesaplanmıştır. En büyük değer TAB depreminde ve 1.36 iken, en küçük değer bu defa KOC\_Y depremi içindir ve 1.04 olarak bulunmuştur.

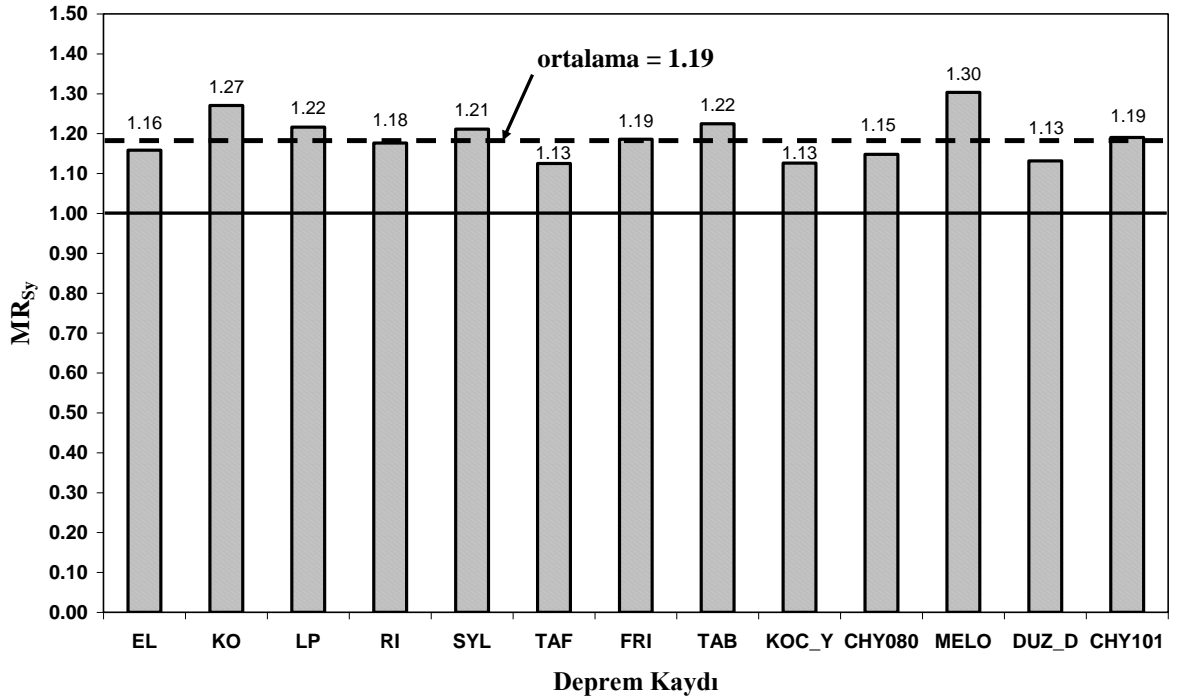
Denklem (4.11) ve (4.12) ile tarif edilen izolatör deplasmanı hata oranları ( $R_{DRX}$ ,  $R_{DRY}$ ) sadece izolasyon katı için ve depremin geliş açısına bağlı olarak hesaplanmıştır. Daha sonra bu kat için en büyük hata oranı tespit edilmiştir. Bu hesap, yukarıda tarif edildiği gibi 96 farklı durum (48 adet model, 2 farklı aks) için yapılmış ve ortalamaları alınarak “ortalama en büyük izolatör deplasmanı hata oranları”,  $MR_{IDX}$  ve  $MR_{IDY}$  değerleri bulunmuştur.

Şekil 4.31a ve Şekil 4.30b’de her bir deprem için bulunan, global X ve Y doğrultuları için ortalama en büyük izolatör deplasmanı hata oranları verilmiştir.  $MR_{IDX}$ ’in en büyük değeri CHY101 depreminde 1.35 olarak ortaya çıkarken en küçük değeri LP depreminde ortaya çıkmış ve 1.05 olmuştur. Tüm depremler için ortalama değer 1.23 olarak hesaplanmıştır.  $MR_{IDY}$  için elde edilen bulgular  $MR_{IDX}$  için elde edilenlere çok yakın olup ortalama değer 1.22 olarak hesaplanmıştır. En büyük değer TAB depreminde ve 1.39 iken, en küçük değer bu defa KOC\_Y depremi içindir ve 1.07 olarak bulunmuştur.

İncelenen tüm hata oranları için, depremin geliş açısına bağlı olarak elde edilen en büyük değerlerin ortalama olarak yönetmeliklerde önerilen ve pratikteki uygulamalar ile bulunanlardan %20 civarında daha fazla olduğu görülmüştür. Farklı depremler için farklı ortalama değerler tespit edilmiş, ancak bu kısmın sonunda sunulan Tablo 4.1’de özetlendiği gibi, standart sapmalar çok düşük çıkmıştır.

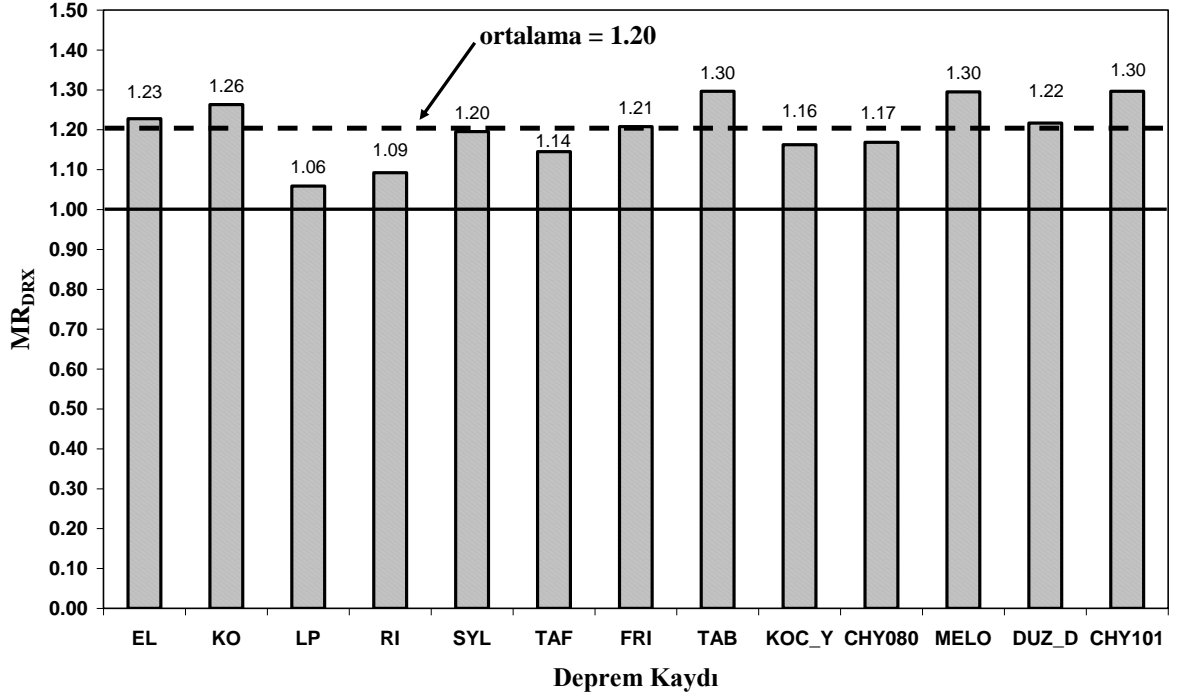


(a)

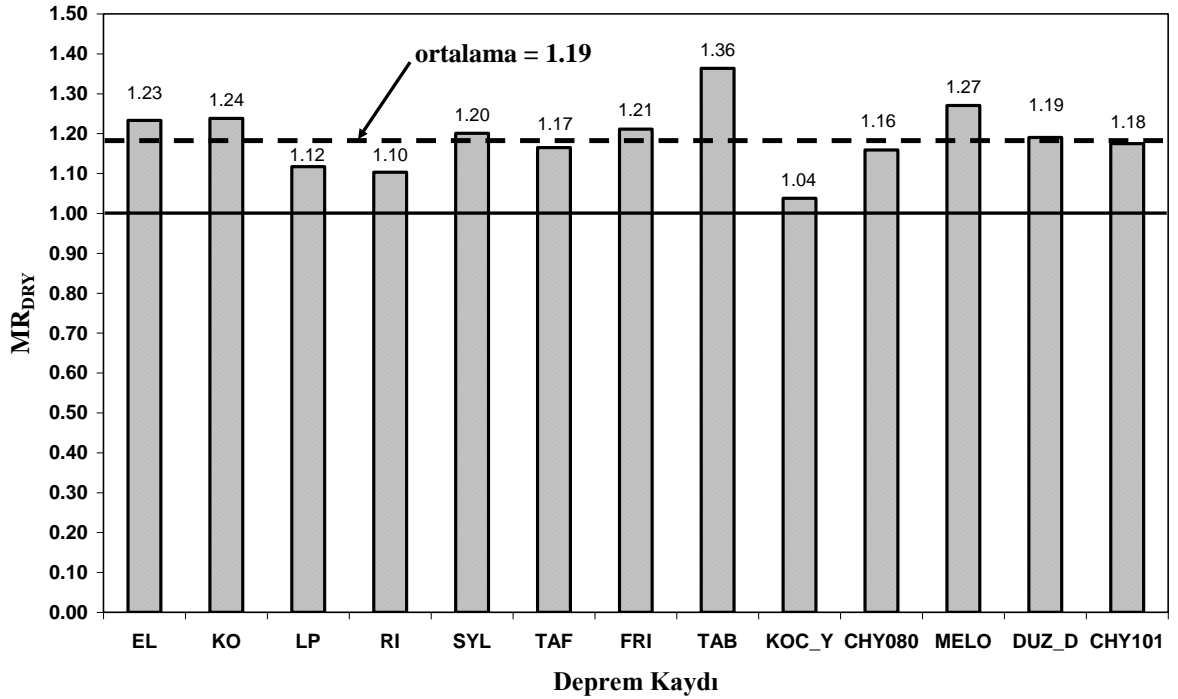


(b)

Şekil 4.29: Farklı depremler için ortalama en büyük kesme kuvveti hata oranları: (a) lokal x ve (b) lokal y yönleri için.



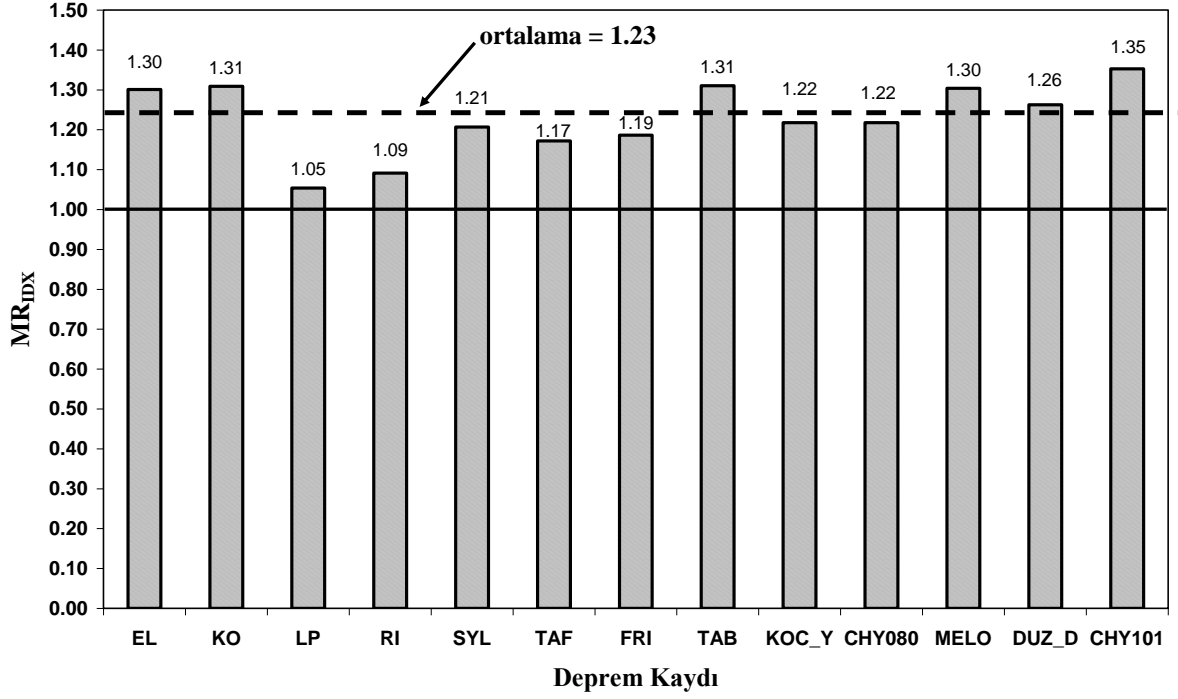
(a)



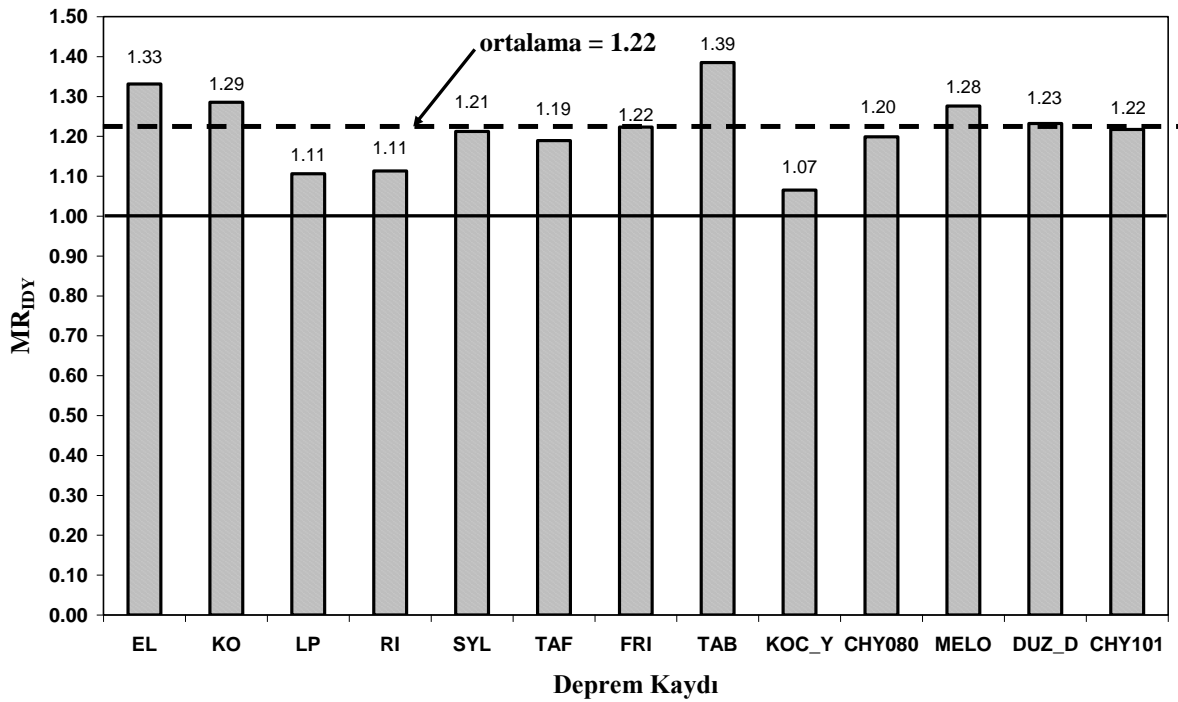
(b)

Şekil 4.30: Farklı depremler için ortalama en büyük görece kat öteleme oranı hata oranları: (a) global X ve (b) global Y yönleri için.





(a)



(b)

Şekil 4.31: Farklı depremler için ortalama en büyük izolatör deplasmanı hata oranları: (a) global X ve (b) global Y yönleri için.

Yukarıdaki görelî kat ötelemeleri ve izolatör deplasmanları ile ilgili bulgular ışığında, bu yapısal niceliklerin sadece, global X ve Y doğrultularında deprem bileşenlerinin yapı ana eksenleri doğrultusuna etkimesi sonucu tek doğrultuda yapılacak analizlerle belirlenmesinin uygun olmadığı anlaşılmıştır. Deprem yönetmeliklerinde açıkça istenmemesine karşın, iç kuvvetlerin hesaplanmasındaki %100+%30 birleştirme kuralına benzer bir uygulamanın bu yapısal niceliklerin hesaplanmasında da kullanılmasının güvenliği arttıracığı düşünülmüştür. Bu durum için aşağıda anlatıldığı gibi ayrıca hesaplamalar yapılmıştır.

Buna göre, %100+%30 birleştirme kuralının önerildiği durumlar için görelî kat öteleme oranları

$$DRX^{1*} = \max [(DRX_{DBX} + 0.3 DRX_{KGY}), (0.3 DRX_{DBX} + DRX_{KGY})] \quad (4.13a)$$

$$DRX^{2*} = \max [(DRX_{DBY} + 0.3 DRX_{KGX}), (0.3 DRX_{DBY} + DRX_{KGX})] \quad (4.13b)$$

$$DRX^{c*} = \max(DRX^{1*}, DRX^{2*}) \quad (4.13c)$$

ve

$$DRY^{1*} = \max [(DRY_{DBX} + 0.3 DRY_{KGY}), (0.3 DRY_{DBX} + DRY_{KGY})] \quad (4.14a)$$

$$DRY^{2*} = \max [(DRY_{DBY} + 0.3 DRY_{KGX}), (0.3 DRY_{DBY} + DRY_{KGX})] \quad (4.14b)$$

$$DRY^{c*} = \max(DRY^{1*}, DRY^{2*}) \quad (4.14c)$$

şeklinde hesaplanacaktır. Bu durumda, yeni hata oranları

$$R_{DRX}^* = \frac{DRX^a}{DRX^{c*}} \quad (4.15)$$

$$R_{DRY}^* = \frac{DRY^a}{DRY^{c*}} \quad (4.16)$$

olarak tanımlanmıştır. Benzer şekilde, %100+%30 birleştirme kuralının önerildiği durumlar için izolatör deplasmanları

$$IDX^{1*} = \max [(IDX_{DBX} + 0.3 IDX_{KGY}), (0.3 IDX_{DBX} + IDX_{KGY})] \quad (4.17a)$$

$$IDX^{2*} = \max [(IDX_{DBY} + 0.3 IDX_{KGX}), (0.3 IDX_{DBY} + IDX_{KGX})] \quad (4.18b)$$

$$IDX^{c*} = \max(IDX^{1*}, IDX^{2*}) \quad (4.18c)$$

ve

$$IDY^{1*} = \max [(IDY_{DBX} + 0.3 IDY_{KGY}), (0.3 IDY_{DBX} + IDY_{KGY})] \quad (4.19a)$$

$$IDY^{2*} = \max [(IDY_{DBY} + 0.3 IDY_{KGX}), (0.3 IDY_{DBY} + IDY_{KGX})] \quad (4.19b)$$

$$IDY^{c*} = \max(IDY^{1*}, IDY^{2*}) \quad (4.19c)$$

şeklinde hesaplanacaktır. Bu durumda, yeni hata oranları

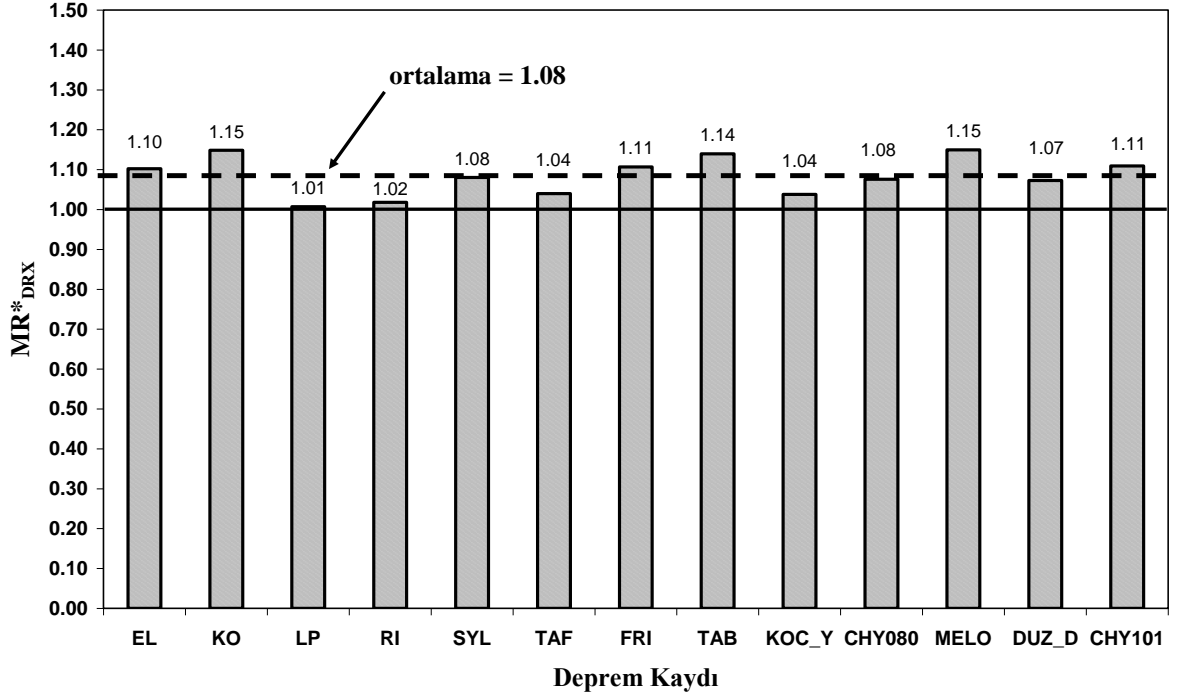
$$R^*_{IDX} = \frac{IDX^a}{IDX^{c*}} \quad (4.20)$$

$$R^*_{IDY} = \frac{IDY^a}{IDY^{c*}} \quad (4.21)$$

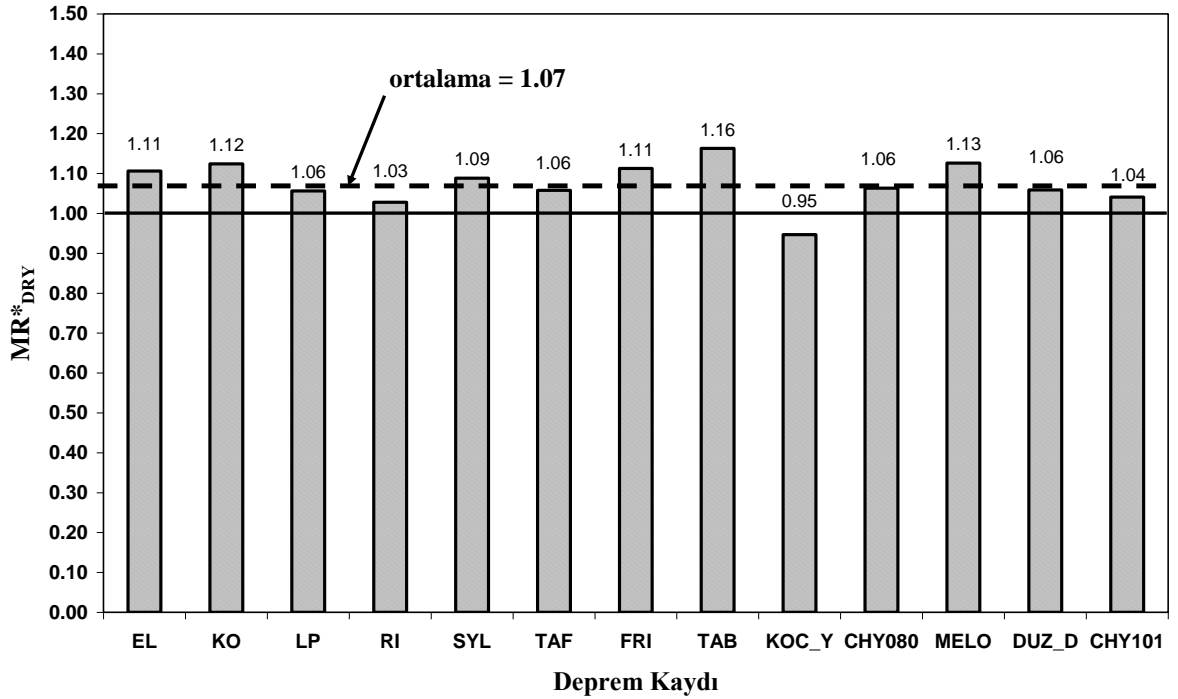
olarak tanımlanmıştır.

Yukarıda Denklem (4.15) ve (4.16) ile tarif edilen görelî kat öteleme yeni hata oranları ( $R^*_{DRX}$ ,  $R^*_{DRY}$ ) kullanılarak elde edilen “ortalama en büyük görelî kat öteleme yeni hata oranları”,  $MR^*_{DRX}$  ve  $MR^*_{DRY}$ , değerleri bulunmuştur. Şekil 4.32a ve Şekil 4.32b’de her bir deprem için  $MR^*_{DRX}$  ve  $MR^*_{DRY}$  sunulmuştur. Ortalama değerler, eski değerlerin ( $MR_{DRX}$  ve  $MR_{DRY}$ ) ortalamasına göre başarılı bir şekilde düşürülmüş ve  $MR^*_{DRX}$  için 1.08 ve  $MR^*_{DRY}$  için 1.07 çıkmıştır.  $MR^*_{DRX}$  için en büyük değer 1.15 ile KO depremine ve küçük değer 1.01 ile LP depremine aittir.  $MR^*_{DRY}$  için en büyük değer 1.16 ile TAB depremine ve küçük değer 0.95 ile KOC\_Y depremine aittir. Elde edilen 0.95 değeri ekonomik sınırın yalnızca küçük bir miktar altına düşmüştür.

Yukarıda Denklem (4.20) ve (4.21) ile tarif edilen izolatör deplasmanı yeni hata oranları ( $R^*_{IDX}$ ,  $R^*_{IDY}$ ) kullanılarak elde edilen “ortalama en büyük izolatör deplasmanı yeni hata oranları”,  $MR^*_{IDX}$  ve  $MR^*_{IDY}$ , değerleri bulunmuştur. Şekil 4.33a ve Şekil 4.33b’de her bir deprem için  $MR^*_{IDX}$  ve  $MR^*_{IDY}$  sunulmuştur. Ortalama değerler, eski değerlerin ( $MR_{IDX}$  ve  $MR_{IDY}$ ) ortalamasına göre başarılı bir şekilde düşürülmüş  $MR^*_{IDX}$  için 1.11 ve  $MR^*_{IDY}$  için 1.12 çıkmıştır.  $MR^*_{IDX}$  için en büyük değer 1.20 ile KO depremine ve küçük değer 1.01 ile LP depremine aittir.  $MR^*_{IDY}$  için en büyük değer 1.21 ile EL depremine ve küçük değer 0.98 ile KOC\_Y depremine aittir. Elde edilen 0.98 değeri ekonomik sınırın yalnızca küçük bir miktar altına düşmüştür.

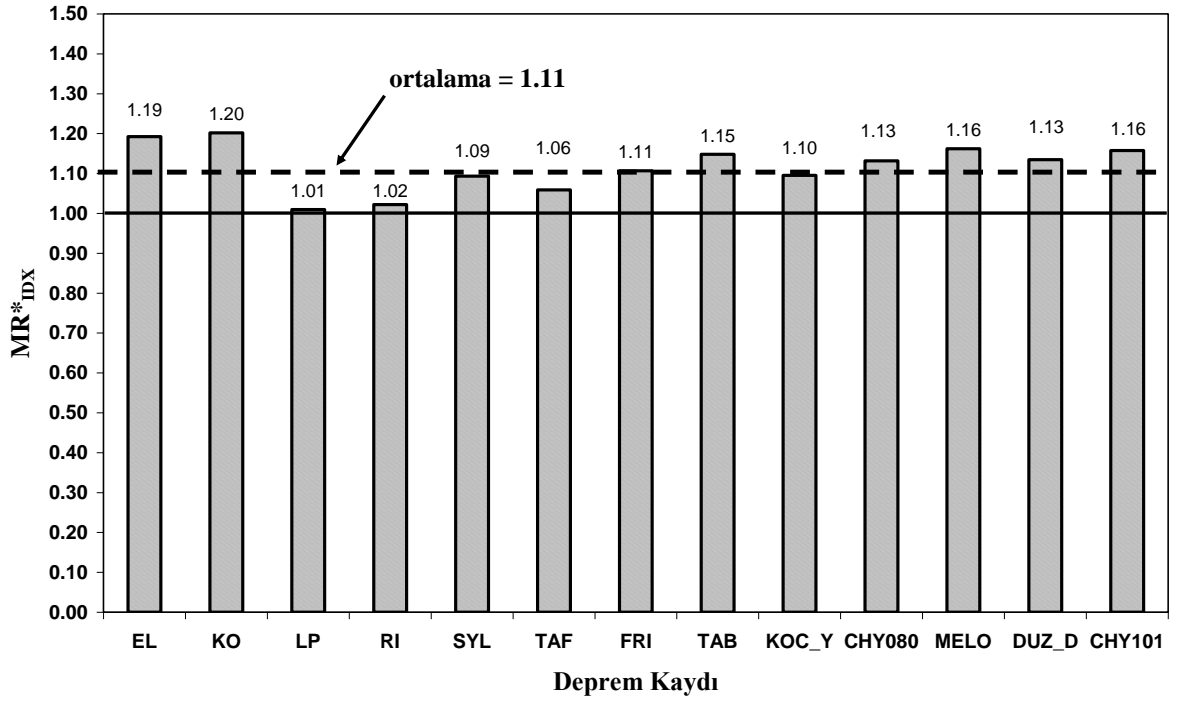


(a)

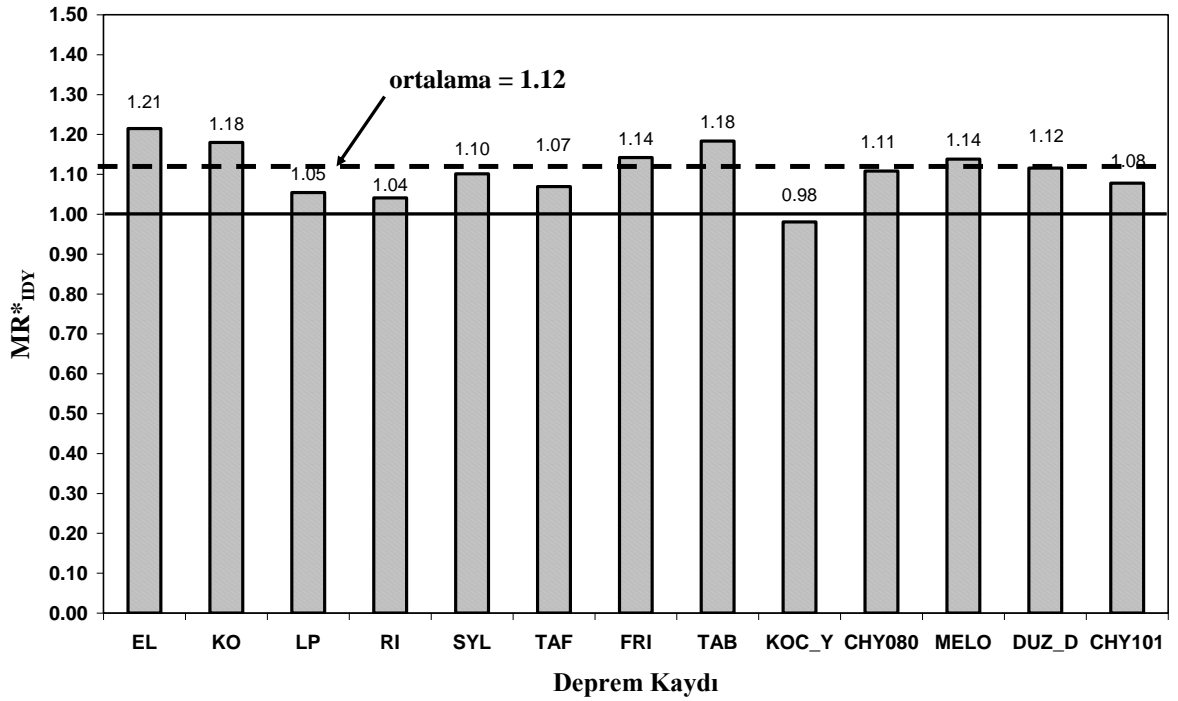


(b)

Şekil 4.32: Farklı depremler için ortalama en büyük görelî kat öteleme yeni hata oranları: (a) global X ve (b) global Y yönleri için.



(a)



(b)

Şekil 4.33: Farklı depremler için ortalama en büyük izolatör deplasmanı yeni hata oranları: (a) global X ve (b) global Y yönleri için.

Aşağıda verilen Tablo 4.1’de, incelenen tüm ortalama en büyük hata oranlarına ait deprem ortalamaları ve hesaplanan standart sapmalar özetlenmiştir. Görüldüğü üzere, standart sapma değerleri oldukça düşüktür. Bu da, deprem kaydına bağlı olarak elde edilen değerlerin verilen ortalama değerlerden çok fazla sapmadığını, dolayısıyla ortalama değerlerin temsil gücünün yüksek olduğunu göstermektedir. Birleştirme kuralı ile hesaplanan yapısal niceliklerden, ortalama olarak, gerçek değerlere göre kesme kuvvetleri %20 civarında, görelî kat ötelemeleri % 8 civarında, izolatör deplasmanları ise %11 civarında düşük hesaplanmıştır.

Tablo 4.1: Ortalama en büyük hata oranları için deprem ortalamaları ve standart sapmalar

<b>Değer</b>	<b>ortalama</b>	<b>standart sapma</b>
<b>MR<sub>Sx</sub></b>	1.21	0.07
<b>MR<sub>Sy</sub></b>	1.19	0.06
<b>MR<sub>DRX</sub></b>	1.20	0.08
<b>MR<sub>DRY</sub></b>	1.19	0.08
<b>MR<sub>IDX</sub></b>	1.23	0.09
<b>MR<sub>IDY</sub></b>	1.22	0.09
<b>MR*<sub>DRX</sub></b>	1.08	0.05
<b>MR*<sub>DRY</sub></b>	1.07	0.05
<b>MR*<sub>IDX</sub></b>	1.12	0.06
<b>MR*<sub>IDY</sub></b>	1.11	0.06

## 5. SONUÇLAR

Yapısal elemanların ana eleman eksenleri doğrultularındaki pik iç kuvvetleri, muhtemel her deprem doğrultusu için bir yapısal analiz yapılarak elde edilecek en büyük değerlerdir. Dolayısıyla, depremin yapıya etkime doğrultusunun sismik analizlerde göz önüne alınması gerekmektedir. Ancak, pratikte uygulanması zor olan bu yöntem yerine deprem yönetmeliklerinde önerilen %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralı sayesinde sadece ortogonal yapı ana eksenleri doğrultusunda analizler yapılmaktadır. Bu kural özellikle ortogonal olmayan yapısal elemanların iç kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, sismik izolasyonlu bir yapının güvenli bir şekilde hareket edebilmesi için yapının çevresinde bırakılacak sismik boşluğun belirlenmesi için sadece ortogonal eksenler doğrultusunda analiz yapılmakta ve izolatör deplasmanlarının hesaplanması için yönetmeliklerde bir doğrultusal birleştirme kuralı önerilmemektedir.

Bu çalışmada, doğrultusal birleştirme kuralının sismik izolasyonlu binalarda uygulanabilirliği ve depremin geliş açısının sismik izolasyonlu yapıların dinamik cevaplarına etkisi; sismik izolasyon sisteminin mekanik özellikleri, düşey taşıyıcı elemanların eleman eksenlerinin yapı ana eksenleri ile yaptığı açı, dışmerkezlilik gibi parametreler de göz önüne alınarak gerçekleştirilen nümerik deneylerle incelenmiştir. Oluşturulan yapısal modeller çeşitli tarihi deprem kayıtlarına farklı açılarla maruz bırakılarak sismik analizler gerçekleştirilmiş, eleman iç kuvvetleri, sismik izolatör deplasmanları ve katlar arası görelî ötelemelerin depremin geliş doğrultusuna bağlı olarak nasıl değiştiği ve %100+%30 doğrultusal birleştirme kuralının sismik izolasyonlu yapılara uygulanabilirliği araştırılmıştır. Yapılan parametrik çalışmalara dayanarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1) SAP2000 sonlu elemanlar programında modellenen izolasyon periyotları farklı, lineer ve lineer olmayan davranış gösteren sismik izolasyon sistemlerine sahip, simetrik ve asimetrik yapısal modeller kullanılarak sismik izolasyonun sismik performansı artırıcı etkilerinin

ortaya konulmuştur. Sismik izolasyon sayesinde kat ivmelerinin, görelî kat öteleme oranlarının ve kat kesme kuvvetlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

2) Depremin sismik izolasyonlu yapılara farklı açılarla etkimesi durumunda izolatör deplasmanlarında, ortogonal olmayan yapısal elemanların iç kuvvetlerinde ve katlar arası görelî ötelemelerde meydana gelecek değişim, oluşturulan modeller üzerinde yapılan nümerik deneylerle incelenmiştir. Eleman eksenleri doğrultusunda kolon kesme kuvvetleri depremin yapıya geliş açısına göre büyük farklılıklar göstermektedir. Benzeri şekilde, görelî kat ötelemeleri ve izolatör deplasmanlarının yapı ana eksenleri doğrultusundaki değerleri de depremin yapıya geliş açısına göre önemli değişiklikler göstermektedir.

3) Doğrultusal birleştirme kuralının üst yapıdaki dışmerkezlîk, izolasyon periyodu, izolasyon sisteminin lineer veya nonlineer olması ve kolon eksenlerinin yapı ana eksenleriyle yaptığı açı gibi parametrelere olan duyarlılığı tanımlanan hata oranları vasıtasıyla incelenmiştir. Oluşabilecek en büyük kolon kesme kuvvetinin yönetmelikte öngörülen birleştirme kuralına oranı olarak tanımlanan hata oranı, kolon boyutuna ve izolasyon sisteminin lineer/nonlineer olmasına bağlı olarak değişmemektedir. Akma sonrası izolasyon periyoduna bağlı olarak çok ufak değişiklikler gösterirken, kolonun duruş açısına ve eksentrisiteye bağlı olarak çok önemli değişiklikler göstermektedir. Eksentrisitenin etkisi, kolonun ağırlık merkezine olan uzaklığına bağlı olarak da farklılık göstermektedir.

4) Görelî kat ötelemeleri için hata oranı kolon boyutuna, izolasyon sisteminin lineer/nonlineer olmasına ve kolonun duruş açısına bağlı olarak değişmemektedir. Akma sonrası izolasyon periyoduna bağlı olarak çok ufak değişiklikler gösterirken, eksentrisiteye bağlı olarak çok önemli değişiklikler göstermektedir. Eksentrisitenin etkisi, görelî kat ötelemesinin hesaplandığı noktanın ağırlık merkezine olan uzaklığına bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Bir anlamda, izolasyon katının görelî kat ötelemesinin temsil eden izolatör deplasmanları için hata oranı, parametrelerden etkilenmesi açısından görelî kat ötelemeleri ile aynı eğilimi göstermektedir.

5) Birleştirme kuralı ile hesaplanan yapısal nicelikler hemen hemen tüm durumlarda oluşabilecek en büyük değerlerden az hesaplanmaktadır. Ortalama olarak, gerçek değerlere göre kesme kuvvetleri %20 civarında, görelî kat ötelemeleri % 8 civarında, izolatör deplasmanları ise %11 civarında düşük hesaplandığı görülmüştür.



## KAYNAKLAR

ALHAN, C., ALTUN, M., 2009, Performance of Non-linear Base Isolation Systems Designed According to Uniform Building Code, Fifth International Advanced Technologies Symposium, pp.2079-2084, 13-15 May, Karabuk, Turkey.

ALHAN, C., GAVIN, H.P., 2005, Reliability Of Base Isolation For The Protection Of Critical Equipment From Earthquake Hazards, *Engineering Structures*, 27:1435-1449.

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

ALHAN, C., GÖKTAŞ, Y., 2009, Effects of Near-field Earthquakes on Seismically Isolated Buildings, WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference: Earthquake and Tsunami, CD Proceedings, 22-24 June, Istanbul, Turkey.

ANTHANATOPOULOU, A.M., 2005, Critical orientation of three seismic components, *Engineering Structures*, 27: 301-312.

ARKİTERA, <http://www.arkitera.com/s49-turgut-ersavas.html>, Söyleşi: *Turgut Ersavaş-Kasım 2006* [Ziyaret Tarihi: 06 Temmuz 2009].

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

ATEŞ, Ş., DUMANOĞLU, A.A., 2003, Kauçuk Mesnetli Binaların Dinamik Analizi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Bildiri No: AT-048.

BAŞTUĞ, B.K., 2004, *Yapı Sistemlerinde Depreme Karşı Sismik İzolatör Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı, İstanbul.

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

BERTERO, V.V., BOZORGNIA, Y., 2004, *Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*, CRC Press, ISBN: 978-0849314391.

BUCKLE, I.G., MAYES, R.L., 1990, Seismic Isolation: History, Application and Performance – A World Overview, *Earthquake Spectra*, 161-202.

BUILT, S.M., 1982, Lead-Rubber Dissipators for the Base Isolation of Bridge Structures, Report No: 289, Dept. of Civil Engineering, University of Auckland, New Zealand.

CELEP, Z., KUMBASAR, N., 2004, *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, Beta Dağıtım, ISBN: 975-95405-2-5.

CHEN, W-F., SCAWTHORN, C., 2003, *Earthquake Engineering Handbook*, CRC Press, ISBN: 0-8493-0068-1.

CHENG, F.Y., GER, J.F., 1990, The effect of multicomponent seismic excitation and direction on response behavior of 3-D structures, *Proc. Fourth U.S. National Conference On Earthquake Engineering*, Vol. 2, pp. 5-14, Palm Springs.

CSI, Computers and Structures Inc., 2005, SAP2000, Static And Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Berkeley, USA.

ÇAKIROĞLU, A., 1980, Unfavorable seismic directions in earthquake resistant design, *Proc. Eighth World Conference On Earthquake Engineering*. 1980; Vol. 4, pp. 201-208, İstanbul.

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

ERDİK, M., 2009, Seismic Isolation of Buildings, WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference: Earthquake and Tsunami, Expanded Abstract: pp. 1-48, 22-24 June, İstanbul, Turkey.

FERNANDEZ-DAVILA, I., COMEINETTI, S., CRUZ, E.F., 2000, Considering the bi-directional effects and the seismic angle variations in building design, *Proc. Twelfth World Conference On Earthquake Engineering*, Jan 30 – Feb 04 2000; New Zealand.

HERNANDEZ, J.J., LOPEZ, O.A., 2002, Response to three-component seismic motion of arbitrary direction, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31: 55-77.

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

KELLY, E.T., 2001, Base Isolation of Structures, Design Guidelines, Holmes Consulting Group.

KELLY, J.,M., 1997, *Earthquake-Resistant Design With Rubber*, Springer-Verlag, London, ISBN:3-540-76131-4.

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

LOPEZ, O.A., CHOPRA, A.K., HERNANDEZ, J.J., 2000, Critical response of structures to multicomponent earthquake excitation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29: 1759-1778.

LOPEZ, O.A., TORRES, R., 1997, The critical angle of seismic incidence and structural response, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 126(1): 117-126.

MACRAE, G.A., MATTHEIS, J., 2000, Three-dimensional steel building response to near-fault motions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 126(1): 117-126.

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

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

NAGARAJAIAH, S., REINHORN, A.M., CONTANTINOU, M.C., 1991a, Nonlinear Dynamic Analysis Of 3D Base-Isolated Structures, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 117:2035-2054.

NAGARAJAIAH, S., REINHORN, A.M., CONTANTINOU, M.C., 1991b, 3D-Basis, *Nonlinear Dynamic Analysis Of Three Dimensional Base Isolated Structures: Part 2*, Technical Report NCEER-91-0005, State University Of New York At Buffalo.

RIGATO, A.B., MEDINA, R.A., 2007, Influence of angle of incidence on seismic demands for inelastic single-storey structures subjected to bi-directional ground motions, *Engineering Structures*, 2593-2601.

SKINNER, R.I., ROBINSON, W.H., MCVERRY, G.H., 1993, *An Introduction to Seismic Isolation*, John Wiley & Sons, NY-USA, ISBN: 0-471-93433-X.

ŞAHİN, Furkan, 2008, *Sönümün Sismik Taban İzolasyonu ve Sönümleyicilerin Kullanıldığı Binaların Deprem Performansına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.

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

TENA-COLUNGA, A., GOMEZ-SOBERON, L.A, 2002, Torsional response of base-isolated structures due to asymmetries in the superstructure, *Engineering Structures*, 24(12):1587-1599.

TENA-COLUNGA, A., PEREZ-OSORNIO, M.A., 2006, Design displacements for base isolators considering bidirectional seismic effects, *Earthquake Spectra*, 22(3):803-825.

TEZCAN, S.S., ALHAN, C.: *Parametric analysis of irregular structures under seismic loading according to the new Turkish Earthquake Code*, *Engineering Structures*. 2001; 23: 600-609

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

WIKIPEDIA, [http://en.wikipedia.org/wiki/2008\\_Sichuan\\_earthquake](http://en.wikipedia.org/wiki/2008_Sichuan_earthquake), 2008 Sichuan Earthquake, [Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2010].

WILSON, E.L., SUHAWARDY, I., 1995, *A clarification on the orthogonal effects in a three-dimensional seismic analysis*, *Earthquake Spectra*, 11(4):659-666.

YDBE, 2010, [http://www.ydbe.mam.gov.tr/DEPAR/2010\\_03\\_08\\_Elazig/index.html](http://www.ydbe.mam.gov.tr/DEPAR/2010_03_08_Elazig/index.html), 8 Mart 2010 *Karakoçan (Elazığ) Depremi*, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, [Ziyaret Tarihi: 06 Temmuz 2009].

ZAYAS, V., A., LOW, S., S., MAHIN, S., A., 1990, *A Simple Pendulum Technique For Achieving Seismic Isolation*, *Earthquake Spectra*, 6:317-333.

## ÖZGEÇMİŞ

Güven ERİŞGEN, 1983 yılında Muğla'da doğdu. İlköğrenimini İsmet Paşa İlköğretim Okulu'nda, ortaöğrenimini ise, Balakgazi Lisesi'nde 2001 yılında Elazığ'da tamamladı. Lisans öğrenimine 2002 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladı; lisans öğrenimini 2007 yılında bu Bölüm'de tamamladı. 2008 yılında İstanbul Büyükşehir Belediye'sinde raportör olarak 2010 yılına kadar çalışmıştır. Aynı yıl çalışmaya başladığı Sivas Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü'ne bağlı Proje Şube Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir. 2008 yılında İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.