

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

**KUVVETLİ YER HAREKETİ ÖZELLİKLERİNİN SİSMİK  
YALITIMLI YAPILARIN DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kaan Mahmut DEMİREL**

**Anabilim Dalı: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı: YAPI MÜHENDİSLİĞİ**

**HAZİRAN 2015**

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

**KUVVETLİ YER HAREKETİ ÖZELLİKLERİNİN SİSMİK  
YALITIMLI YAPILARIN DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ  
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kaan Mahmut DEMİREL**

**(1109021001)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Haziran 2015  
Tezin Savunulduğu Tarih: 29 Haziran 2015**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Gökhan YAZICI  
Diğer Jüri Üyeleri: Doç.Dr. Necmettin Gündüz  
Yrd.Doç.Dr. Erdal Coşkun**

**HAZİRAN 2015**

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü desteğini ve değerli bilgilerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Yrd.Doç.Dr. Gökhan YAZICI'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımları ile katkı sağlayan değerli arkadaşım İnş. Yük. Müh. Gökhan KARABACAK'a ve eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, her türlü zorluklarda yanımda olan annem Ayşe DEMİREL, babam Kasım DEMİREL ve kardeşim Oğuz DEMİREL'e sevgi, sabır ve anlayışları için teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2015

Kaan Mahmut Demirel

İnşaat Mühendisi

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b> .....	iv
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	v
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	vii
<b>SİMGE LİSTESİ</b> .....	xi
<b>TÜRKÇE ÖZET</b> .....	xiii
<b>YABANCI DİL ÖZET</b> .....	xiv
<b>1.GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. YER HAREKET ÖZELLİKLERİ</b> .....	2
<b>2.1. Yakın Fay Yer Hareketi Özellikleri</b> .....	2
<b>2.2. Yer Hareketi Parametreleri</b> .....	5
2.2.1. Genlik Parametreleri.....	5
2.2.1.1. Yer Hareketinin En Büyük İvme Değeri.....	5
2.2.1.2. Yer Hareketinin En Büyük Hız Değeri.....	6
2.2.1.3. Yer Hareketinin En Büyük Deplasman Değeri.....	7
2.2.2. Frekans İçeriği.....	7
2.2.2.1. Fourier Spektrumu.....	8
2.2.2.2. Baskın (Hâkim) Periyod ya da Frekans.....	8
2.2.2.3. Tepki (Davranış) Spektrumları.....	9
2.2.3. Depremin Süresi.....	9
2.2.4. Arias Şiddeti.....	10
2.2.5. Housner Spektrum Şiddeti.....	10
<b>3. SİSMİK İZOLASYON TEKNİĞİ</b> .....	13
<b>3.1. Sismik İzolasyon Tanımı ve Tarihçesi</b> .....	13
<b>3.2. Önceki Çalışmalar</b> .....	16
<b>3.3. Türkiye’de Uygulama Alanları</b> .....	17
<b>3.4. Sismik İzolatörlerin Sınıflandırılması ve Karakteristik Özellikleri</b> .....	17

3.4.1. Elastomerik (Kauçuk Esaslı) İzolatörler.....	17
3.4.2. Kaymaya Dayalı İzolatörler.....	27
3.4.3. Yay Tipi İzolatörler.....	28
3.4.3.1. Gerb İzolatörleri.....	28
<b>3.5. Doğrusal Sismik Yalıtım Sistemlerinin Davranışı.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6. Sismik İzolasyon İçin Çözüm Yöntemi.....</b>	<b>37</b>
3.6.1. Uniform Building Code 1997 (UBC 97) .....	37
3.6.2. Uniform Building Code (UBC-97) Göre Hesap İlkeleri.....	38
<b>4 . CSI SAP2000 YAPISAL ANALİZ PROGRAMI İLE 4 KATLI SABİT TABANLI VE TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMİN MODELLENMESİ, LİNEER VE LİNEER OLMAYAN HESABI.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1. Modelin Özellikleri.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2. Sabit Tabanlı Yapımın Hesabı.....</b>	<b>47</b>
<b>4.3. Elastomerik (Kauçuk) İzolatörlü Yapımın Hesabı.....</b>	<b>49</b>
<b>4.4. Sürtünmeli Sarkaç (Kayıcı) İzolatörlü Yapımın Hesabı.....</b>	<b>54</b>
<b>4.5. Mevcut Modellerin Ele Alınan Deprem Yükleri Altındaki         Davranışının Grafikselsel Gösterimleri ve Yorumlar.....</b>	<b>58</b>
4.5.1. Sismik İzolasyon Sistemi Yer Değişirmeleri.....	58
4.5.2. Taban Kesme Kuvvetlerinde Oluşan Etkiler.....	63
<b>SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....</b>	<b>66</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>68</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>70</b>
<b>EK A.....</b>	<b>70</b>
Yer Hareketi Özelliklerinin Grafikselsel Gösterimi.....	70
<b>EK B.....</b>	<b>89</b>
Kocaeli 1999 Depremi IZT180 İstasyonu İvme Kaydı Altında Modellerin Yaptığı Yer Değişirmelerin Şekillerle Gösterimi.....	89
<b>EK C.....</b>	<b>101</b>
5 Numaralı Tepe Düğüm Noktasının Zamana Bağlı Yatay Yer Değişirmeleri.....	101

## **KISALTMALAR**

USA	: United States of America
UBC 97	: Uniform Building Code 1997
PGA	: Peak Ground Acceleration
PGV	: Peak Ground Velocity
PHV	: Peak Horizontal Velocity
PGD	: Peak Ground Displacement
PHA	: Peak Horizontal Acceleration
PVA	: Peak Vertical Acceleration
MCE	: Maximum Credible Earthquake
DBE	: Desing Basis Earthquake

## TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Kabul edilen zemin özellikleri.....	4
Tablo 2.2 . Doğal periyodlar (1.mod periyodları).....	4
Tablo 2.3. Yapıların sismik izolasyonlu periyodu ve akma yer değiştirmeleri.....	12
Tablo 3.1. Sismik kaynak tipi.....	38
Tablo 3.2. Sismik zemin katsayısı ( $Z$ ).....	39
Tablo 3.3. Zemin tipleri.....	39
Tablo 3.4a. Sismik katsayılar ( $C_A$ ).....	39
Tablo 3.4b. Sismik katsayılar ( $C_V$ ).....	40
Tablo 3.5a. Faya yakınlık faktörü ( $N_A$ ).....	40
Tablo 3.5b. Faya yakınlık faktörü ( $N_V$ ).....	41
Tablo 3.6. Sönüm azaltma katsayısı.....	41
Tablo 3.7. Meydana gelebilecek maksimum deprem katsayısı ( $M_M$ ).....	41
Tablo 3.8. Sismik zemin katsayısı ( $C_{AM}$ ).....	43
Tablo 3.9. Sismik zemin katsayısı ( $C_{VM}$ ).....	43
Tablo 4.1. Döşemenin kendi ağırlığı dışında kalan yükler.....	44
Tablo 4.2. Yer hareketi özellikleri.....	47
Tablo 4.3. Sabit tabanlı sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler....	48
Tablo 4.4. Sabit tabanlı sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri.....	48
Tablo 4.5. Sabit tabanlı sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak ivmeleri.....	49
Tablo 4.6. Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	51
Tablo 4.7. Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri( $T_D=2.00$ sn).....	51
Tablo 4.8. Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat ivmeleri ( $T_D=2.00$ sn).....	52
Tablo 4.9. Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	53
Tablo 4.10. Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri( $T_D=3.50$ sn).....	53
Tablo 4.11. Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat ivmeleri ( $T_D=3.50$ sn).....	54

Tablo 4.12. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	55
Tablo 4.13. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri ( $T_D=2.00$ sn).....	55
Tablo 4.14. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat ivmeleri ( $T_D=2.00$ sn).....	56
Tablo 4.15. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler ( $T_D=3,50$ sn).....	57
Tablo 4.16. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri ( $T_D=3,50$ sn).....	57
Tablo 4.17. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak kat ivmeleri ( $T_D=3,50$ sn).....	58



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Yatay ve düşey atılımlı faylarda ileri doğrultu ve ötelenme etkisi.....	3
Şekil 2.2. Çift-doğrulu (bilineer) yatay yük- deplasman çevrim modeli.....	12
Şekil 3.1. Elastomer yalıtıcısı .....	18
Şekil 3.2. Basit eğilme etkisi altında olan rijit plakalar arasındaki kauçuk izolatör.....	21
Şekil 3.3. Elastomerik (kauçuk)yalıtıcılar için idealleştirilmiş kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	23
Şekil 3.4 . Kurşun çekirdekli elastomer yalıtıcı.....	24
Şekil 3.5 . Kurşun çekirdekli elastomer yalıtıcıların kuvvet-yer değiştirme ilişkisi.....	26
Şekil 3.6 . Sürtünmeli sarkaç mesnedi kesiti.....	27
Şekil 3.7 . Sürtünmeli sarkaç izolatör.....	28
Şekil 3.8 . Sürtünmeli sarkaç sisteminin kuvvet-yer değiştirme ilişkisi.....	28
Şekil 3.9 . Gerb izolatörleri.....	29
Şekil 3.10. Doğrusal sismik yalıtımlı yapı.....	30
Şekil 3.11. Sismik yalıtımlı tek katlı bir yapının mod şekilleri.....	34
Şekil 4.1. Betonarme binanın kalıp planı.....	45
Şekil 4.2. Betonarme binanın şematik kesiti.....	45
Şekil 4.3. Sap 2000 programında 4 katlı sabit tabanlı bina modeli.....	46
Şekil 4.4. Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları ( $T_D=2.00$ sn).....	59
Şekil 4.5. Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları ( $T_D=3.50$ sn).....	59
Şekil 4.6. Sürtünmeli Sarkaç (Kayıcı) İzolatör Deplasmanları ( $T_D=2.00$ sn).....	60
Şekil 4.7. Sürtünmeli Sarkaç (Kayıcı) İzolatör Deplasmanları ( $T_D=3.50$ sn).....	61
Şekil 4.8. Yakın Fay Etkisindeki Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları....	61
Şekil 4.9. Uzak Fay Etkisindeki Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları....	62
Şekil 4.10. Yakın Fay Etkisindeki Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları....	62
Şekil 4.11. Uzak Fay Etkisindeki Sürtünmeli Sarkaç (Kayıcı) İzolatör Deplasmanları.....	63
Şekil 4.12. Yakın Fay Etkisinde Taban Kesme Kuvvetleri ( $T_D=2.00$ sn).....	63
Şekil 4.13. Uzak Fay Etkisinde Taban Kesme Kuvvetleri ( $T_D=2.00$ sn).....	64
Şekil 4.14. Yakın Fay Etkisinde Taban Kesme Kuvvetleri ( $T_D=3.50$ sn).....	64
Şekil 4.15. Uzak Fay Etkisinde Taban Kesme Kuvvetleri ( $T_D=3.50$ sn).....	65
Şekil 4.16. Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının ivme-zaman grafiği.....	70
Şekil 4.17. Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının hız-zaman grafiği.....	70
Şekil 4.18. Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının yer değiştirme-zaman grafiği.....	71
Şekil 4.19. Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının ivme spektrum eğrileri.....	71
Şekil 4.20. Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının hız spektrum eğrileri.....	71
Şekil 4.21. Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri.....	72
Şekil 4.22. Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının Fourier spektrumu.....	72
Şekil 4.23. Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının Arias şiddeti.....	72
Şekil 4.24. Kocaeli 1999 (FAT090) ivme –zaman grafiği.....	73

Şekil 4.25. Kocaeli 1999 (FAT090) hız –zaman grafiği.....	73
Şekil 4.26. Kocaeli 1999 (FAT090) yer değiştirme –zaman grafiği.....	73
Şekil 4.27. Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının ivme spektrum eğrileri.....	74
Şekil 4.28. Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının hız spektrum eğrileri.....	74
Şekil 4.29. Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri.....	75
Şekil 4.30. Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının Fourier spektrumu.....	75
Şekil 4.31. Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının Arias şiddeti.....	75
Şekil 4.32. Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının ivme-zaman grafiği.....	76
Şekil 4.33. Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının hız-zaman grafiği.....	76
Şekil 4.34. Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının yer değiştirme-zaman grafiği.....	76
Şekil 4.35. Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının ivme spektrum eğrileri.....	77
Şekil 4.36. Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının hız spektrum eğrileri.....	77
Şekil 4.37. Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri.....	78
Şekil 4.38. Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının Fourier spektrumu.....	78
Şekil 4.39. Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının Arias şiddeti.....	79
Şekil 4.40. Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının ivme-zaman grafiği.....	79
Şekil 4.41. Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının hız-zaman grafiği.....	79
Şekil 4.42. Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının yer değiştirme-zaman grafiği.....	80
Şekil 4.43. Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının ivme spektrum eğrileri.....	80
Şekil 4.44. Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının hız spektrum eğrileri.....	80
Şekil 4.45. Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri.....	81
Şekil 4.46. Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının Fourier spektrumu.....	81
Şekil 4.47. Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının Arias şiddeti.....	82
Şekil 4.48. Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının ivme-zaman grafiği.....	82
Şekil 4.49. Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının hız-zaman grafiği.....	82
Şekil 4.50. Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının hız-zaman grafiği.....	83
Şekil 4.51. Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının ivme spektrum eğrileri.....	83
Şekil 4.52. Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının hız spektrum eğrileri.....	83
Şekil 4.53. Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri.....	84
Şekil 4.54. Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının Fourier spektrumu.....	84
Şekil 4.55. Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının Arias şiddeti.....	85
Şekil 4.56. Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının ivme-zaman grafiği.....	85
Şekil 4.57. Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının hız-zaman grafiği.....	85
Şekil 4.58. Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının yer değiştirme-zaman grafiği.....	86
Şekil 4.59. Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının ivme spektrum.....	86
Şekil 4.60. Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının hız spektrum eğrileri.....	86
Şekil 4.61. Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri.....	87
Şekil 4.62. Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının Fourier spektrumu.....	87
Şekil 4.63. Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının Arias şiddet spektrumu... 88	88
Şekil 4.64. Sabit tabanlı sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kayı altında oluşan yer değiştirmeler.....	89
Şekil 4.65. Sabit tabanlı sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kayı altında oluşan yer değiştirmeler.....	89
Şekil 4.66. Sabit tabanlı sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kayı altında oluşan yer değiştirmeler.....	90
Şekil 4.67. Sabit tabanlı sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kayı altında oluşan yer değiştirmeler.....	90

Şekil 4.68. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	91
Şekil 4.69. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	91
Şekil 4.70. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	92
Şekil 4.71. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	92
Şekil 4.72. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	93
Şekil 4.73. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	93
Şekil 4.74. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	94
Şekil 4.75. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	94
Şekil 4.76. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	95
Şekil 4.77. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	95
Şekil 4.78. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	96
Şekil 4.79. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	96
Şekil 4.80. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	97
Şekil 4.81. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	97
Şekil 4.82. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$ sn).....	98
Şekil 4.83. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	98
Şekil 4.84. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	99
Şekil 4.85. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	99
Şekil 4.86. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	100
Şekil 4.87. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$ sn).....	100
Şekil 4.88. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan 5 numaralı düğüm noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi ( $T_D=2.00$ sn).....	101
Şekil 4.89. Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan 5 numaralı düğüm noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi ( $T_D=3.50$ sn).....	101
Şekil 4.90. Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan 5 numaralı düğüm noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi ( $T_D=2.00$ sn).....	102

Şekil 4.91. Sürtünlmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan 5 numaralı düğüm noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi ( $T_D=3.50$  sn).....102

## SİMGE LİSTESİ

$A$	: Kauçuğun enkesit alanı
$\xi$	: Sönüm sabiti
$\beta_b, \beta_s$	: İzolasyon sistemi ve üst yapı için boyutsuz sönüm faktörleri
$\nu$	: Zeminin Poisson oranı
$\epsilon_c$	: Basınç şekil değıştirmesi
$\nu_b$	: İzolasyon sisteminin görelî yer değıştirmesi
$\nu_s$	: Üst yapının görelî kat ötelemesi
$u_b$	: İzolasyon sisteminin mutlak deplasman
$u_s$	: Üst yapının mutlak deplasmanı
$\omega$	: Üst yapı doğal frekansı
$C_{VD}, C_{VM}$	: Sismik katsayılar
$D$	: Maksimum yatay yer değıştirme
$D_y$	: Akma yer değıştirmesi
$D_T$	: Toplam tasarım yer değıştirmesi
$D_{TM}$	: Toplam maksimum yer değıştirme
$EI$	: Eğilme rijitliğı
$E_c$	: Düşey yük etkisi altında kauçuk ve çelikten oluşan kompozit elemanın elastisite modülü
$g$	: Yer çekimi ivmesi
$G$	: Kayma modülü
$I_A$	: Arias Şiddeti
$K_{eff}$	: Efektif rijitlik
$k_s, c_s$	: Üst yapının rijitlik ve sönüm değerleri
$K_1$	: Elastik rijitlik
$K_2$	: Akma sonrası rijitlik
$K_X, K_Y$	: Boyuna ve enine rijitlikler
$K_R$	: Dönme rijitliğı
$K_H$	: Yatay rijitlik
$K_V$	: Düşey rijitlik
$m$	: Sistemin kütlesi
$M_i$	: Modal kütle
$N$	: İzolatör üzerindeki aksenal yük
$N_a, N_v$	: Kaynak yakınlık faktörü
$\rho$	: Eğrilik yarıçapı
$\rho_s$	: Zeminin kütle yoğunluğu
$P, V_2, V_3$	: Eleman iç kuvvetleri
$R$	: Sürtünmeli sarkacın iç bükey eğrilik yarıçapı
$R_1$	: Yapısal sistem azaltma faktörü
$r$	: Serbestlik derecesini yer hareketi ile etkileştiren vektör
$S_A$	: Spektral ivme

$S$	: Şekil faktörü
$S_D$	: Davranış spektrumundaki spektral yer değiştirme
$\varepsilon_c$	: Nominal basınç şekil değiştirmesi
$\Delta$	: Basınç etkisi altında meydana gelen kısalma miktarı
$\alpha$	: İzolatör alt ve üst levhaları arasındaki rölatif açı
$\varepsilon_b$	: Eğilme nedeniyle oluşan kenar basınç şekil değiştirmesi
$Q$	: Karakteristik dayanım
$\delta_y$	: Düşey yer değiştirme
$t_r$	: Kauçuğun toplam kalınlığı
$t$	: Tek bir kauçuk tabakasının kalınlığı
$T$	: İzolasyonlu yapı periyodu
$T, M_2, M_3$	: İç momentler
$\theta$	: Kaymanın doğrultusunu veren açı
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$U_x$	: X doğrultusundaki yer değiştirme
$U_y$	: Y doğrultusundaki yer değiştirme
$\ddot{u}_g(t)$	: t anındaki ivme değeri
$W$	: Taşınan yük
$V_s$	: Kayma dalgası hızı
$\gamma$	: Kayma şekil değiştirmesi
$\gamma_c$	: Kauçuk tabanın basınç etkisi altında oluşan kayma şekil değiştirmesi
$Y$	: Akma yerdeğiştirmesi
$Z_x, Z_y$	: Histerik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değerler
$z_2, z_3$	: İç histerik değişkenler
$Z$	: Sismik bölge faktörü

Üniversite : İstanbul Kültür Üniversitesi  
Enstitüsü : Fen Bilimleri  
Dalı : İnşaat Mühendisliği  
Programı : Yapı Mühendisliği  
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Gökhan YAZICI  
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Haziran 2015

## KISA ÖZET

### KUVVETLİ YER HAREKETİ ÖZELLİKLERİNİN SİSMİK YALITIMLI YAPILARIN DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Kaan Mahmut Demirel

Sismik yalıtım, düşük veya orta yükseklikteki yapıların titreşim periyotlarını uzatarak deprem hareketlerinin hakim periyotlarından uzaklaştırmayı hedefleyen ve bu sayede yapıları depremlerin yıkıcı etkilerinden korumak amacıyla kullanılan bir yöntemdir.. Sismik yalıtım sistemlerinin kullanıldığı yapılarda yatay yöndeki yer değiştirmeler sismik yalıtım sistemi seviyesinde yoğunlaşmakta olup üst yapı görelî kat ötelemeleri önemli ölçüde azalmaktadır. Buna ek olarak, sismik yalıtım sistemi bileşenleri tarafından sağlanan sönüm artışı üst yapıda oluşacak deprem hasarlarını azaltmaktadır. Bu çalışmada, kuvvetli yer hareketi özelliklerinin sismik yalıtımlı yapıların davranışı üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bu kapsamda, yakın fay ve uzak fay özelliği taşıyan deprem ivme kayıtlarının, sismik izolasyon sistemi yer değiştirmeleri ve üst yapıda meydana getirdiği etkiler, parametrik olarak incelenmiştir. Söz konusu incelemede 4 katlı, betonarme çerçevelerden oluşan bir yapı modeli kullanılmıştır. Bu yapı modelinin, sabit tabanlı olması, düşük sönümlü elastomer mesnetler ve sürtünmeli sarkaç mesnetlerin üzerinde oturması durumları göz önüne alınmıştır. Uzak fay ve yakın fay etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmesi için Kocaeli 1999, Chi-Chi 1999 ve Imperial Valley 1979 depremleri sırasında ölçülen uzak fay ve yakın fay ivme kayıtları kullanılmıştır. Sismik yalıtım sistemi tasarımında  $T=2s$  ve  $T=3.5s$  olmak üzere iki sismik yalıtım periyodu ele alınmıştır. Yapı modelinin düşey yükler ve deprem yükleri altındaki davranışını incelenmesi Sap2000 yapısal analiz programı ile gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sismik yalıtım, yer hareketi özellikleri, yakın fay, uzak fay

**Bilim Dalı Sayısal Kodu:**

**University** : **Istanbul Kultur University**  
**Institute** : **Graduate School of Natural and Applied Science**  
**Department** : **Civil Engineering Department**  
**Programme** : **Structural Engineering**  
**Supervisor** : **Assist. Prof. Dr. Gökhan YAZICI**  
**Degree Awarded and Date** : **MSc Thesis - June 2015**

## **ABSTRACT**

### **EFFECTS OF STRONG GROUND MOTION PROPERTIES ON THE RESPONSE OF SEISMICALLY ISOLATED STRUCTURES**

**Kaan Mahmut Demirel**

Seismic isolation is a retrofit method which aims to protect structures from damaging effects of earthquakes by elongating their vibration period beyond the predominant periods of the earthquake ground motions. In seismically isolated structures, horizontal displacements are concentrated on the seismic isolation system level and relative story displacements are significantly reduced. Moreover, the increase in damping provided by the seismic isolation system components help mitigate the damages to the structure. This study investigates the effects of strong ground motion properties on the response of seismically isolated structures. In this context, the effects of near fault and far fault earthquake ground motions on the seismic isolation system displacements and the structural response are investigated through a parametric study. A four story reinforced concrete frame building was used as the structural model in this study. Three different support conditions were taken into consideration, namely, “fixed-base”, “the structure mounted on low damping elastomeric bearings” and “the structure mounted on friction pendulum bearings”. Near fault and far fault ground motions from Kocaeli 1999, Chi-Chi 1999 and Imperial Valley 1979 earthquakes were used to compare the effects near fault and far fault ground motions. Two different target isolation periods,  $T=2.0s$  and  $T=3.5s$ , were used in the design of seismic isolation systems. The structural response of the building under gravity loads and earthquake loading was assessed with Sap2000 structural analysis software.

**Keywords** : Seismic isolation, ground motion properties, near fault, far fault

**Science Code:**



## 1. GİRİŞ

Depremler ülkemiz ve dünyamızın tahmin edilemez en büyük doğal afetlerinin başında gelmektedir. Son zamanlarda yeryüzünde meydana gelen depremler önemli mühendislik yapılarında büyük hasarlara neden olmuştur. Bütün depremler yıkıcı değildir. Bu titreşimlerin büyük çoğunluğu çok zayıf olup hissedilmemektedir. Böyle mikro-sismik aktiviteler mühendislerden çok sismologları ilgilendirmektedir. Bunlardan kuvvetli yer hareketi diyebileceğimiz yer hareketleri genellikle araştırma konusu olmaktadır.

Deprem mühendislerini ilgilendiren, kuvvetli yer hareketleridir. Depremin belirli bir yerdeki etkisinin değerlendirilmesi, kuvvetli yer hareketinin nesnel, nicel yollardan tanımlanmasını gerektirir. Kuvvetli yer hareketi ölçümlerindeki amaç, deprem sırasında oluşan yer ivmesini zamanın veya frekansın fonksiyonu olarak ölçmek ve yapıların deprem sırasındaki performanslarını izleyebilmektir. Bu nedenle ivme kayıtları depreme dayanıklı yapı üretimine yönelik mühendislik uygulamaları ve bilimsel çalışmalar için önemli veri tabanı oluşturmaktadır.

Kuvvetli yer hareketlerinin yapı üzerindeki yıkıcı etkilerini minimuma indirebilmek amacıyla yapı ile temel arasına sismik izolatörler konarak yapının periyodu artırılarak, taban kesme kuvvetlerini azaltmak ve sistemin rijit bir şekilde hareket etmesini sağlayarak görelî kat ötelenmelerinin minimuma indirilmesi sağlanır. Bu çalışmada da yapı, sabit tabanlı, elastomerik ve sürtünmeli sarkaç izolatörlü olarak modellenmiş ve çeşitli deprem yükleri altında oluşan taban kesme kuvvetleri, yer değiştirmeler ve kat ivmelerinin değişimi gözlemlenmiştir.

## **2. YER HAREKET ÖZELLİKLERİ**

Mühendislik amacıyla yer hareketi karakteristiklerinden amplitüd, frekans içeriği, süre önemli özelliklerdendir. Ayrıca depremler tektonik oluşumları, faylanma tipleri, kaynak-bölge mesafeleri ile maksimum hızlarının maksimum ivmelerine oranına bakılarak, yakın fay etkisinde depremler olup olmadığı göz önüne alınır. Yer hareketi karakteristiklerinden biri veya birkaçı hakkında bilgi veren çok sayıda farklı parametre önerilebilir. Pratikte, belirli bir yer hareketini karakterize etmek için genellikle birden fazla parametre gereklidir.

### **2.1. Yakın Fay Yer Hareketi Özellikleri**

Northridge (1995) ve Kobe (1994), Kocaeli (1999), Düzce (1999) depremleri yakın fay etkisi içeren ve büyük hasarlara neden olmuş depremlerdir.

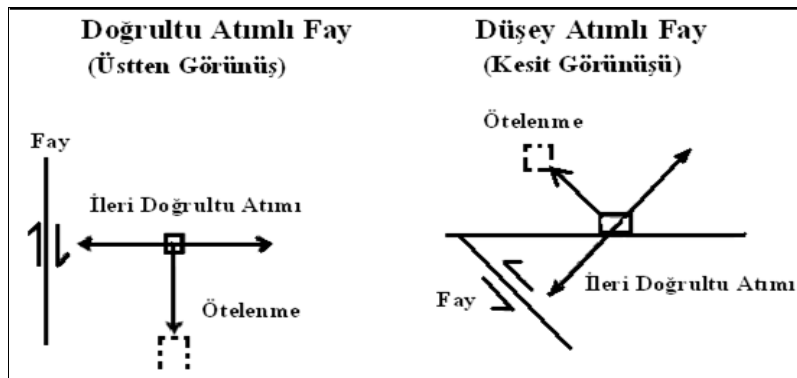
Yakın mesafe yer hareketleri, uzak mesafe yer hareketlerine göre önemli farklılıklar içermektedir. Yakın fay kayıtları, faydan uzaklık mesafesi ile fayın kırılma yüzeyi uzunluğu arasındaki oranın küçük olması nedeniyle, fay kırılma mekanizmasından etkilenirler. Ancak uzak mesafe kayıtlarında bu oranın büyük olması nedeniyle fayın kırılma etkisi görülmez. Ayrıca yakın fay yer hareketleri incelendiğinde yüksek hız değerleri ve içerdikleri atımlar nedeniyle uzak mesafe yer hareketlerinden farklı oldukları anlaşılmıştır (Güneş, N., 2009)

Yakın fay etkilerinin genel olarak faylara 20 km mesafeye kadar görüldüğü kabul edilmekle birlikte depremin büyüklüğü ve fayın kırılma türüne göre bu mesafe değişebilmektedir (Güneş, N., 2009).

Yakın fay yer hareketi, bir fayın yakınında kaydedilen ve en büyük hız değerinin en büyük ivme değerine oranı (PGV/PGA) 0,1 saniyeden büyük olan yer hareketi olarak tarif edilmektedir.

(Akköse, M. ve diğ., 2012) çalışmalarında, yakın fay hareketi kayıtlarından 1999 Chi-Chi, 1999 Kocaeli ve 1979 Imperial Valley depremlerini almışlardır. Bu kayıtlar sırasıyla TCU060, IZT180, H-BRA225 istasyonlarından alınmıştır. Ayrıca, aynı depremlerin aynı zemin koşullarına sahip uzak fay kayıtları da seçilerek, bu kayıtlarında özellikleri tabloda gösterilmiştir. Yer hareketi kayıtları, PEER yer hareketi veri bankasından alınmıştır.

Yakın fay hareketleri esas olarak “Doğrultu Titreşimi” ve “Sıçrama Titreşimi” ile karakterize edilir. Doğrultu titreşimi, fayın normal bileşeninde olup kırılan fay, kısa süreli ama büyük genlikli titreşim üretir. Buna ileri doğrultu titreşimi denir. İleri doğrultu titreşimleri iki yönlü yüksek hız titreşimleri meydana getirir. İleri doğrultu titreşiminin tersine bölgeden çıkan geri doğrultu titreşimi ve nötr titreşim, uzun süreli ve az genlikli olur. Fay boyunca olan kalıcı yer değiştirmelerden sorumlu tutulan sıçrama titreşimi, yanal atımlı faylarda fayın paralel bileşeninde, düşey atımlı faylarda fayın normal bileşeninde olur ve büyük tek yönlü hız titreşimleri meydana getirir (Stewart, P.J. ve diğ., 2001).



**Şekil 2.1:** Yatay ve düşey atımlı faylarda ileri doğrultu ve ötelenme etkisi (Stewart, P.J. ve diğ., 2001)

(Tavakoli, H.R. ve diğ., 2011) yaptıkları araştırmada göz önüne alınan farklı zemin yapı etkileşimlerinde, yakın ve uzak fay yer hareketlerine maruz bırakılmış betonarme binaların davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmanın amacı yakın fay ve uzak yer hareketlerinin betonarme yapıların davranışı üzerindeki etkilerini zemin-yapı etkileşimini göz önünde bulundurarak incelemektedir. Bu kapsamda 3 örnek bina için bir dizi lineer zaman artımı analizi yapılmıştır. Zemin-yapı etkileşimi etkileri 3, 7 ve 15 katlı binalar için değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan yapıların yanal yük taşıma sistemleri moment aktaran çerçevelerden teşkil edilmiştir. Zaman artımı analizlerinde Tabbas, Kobe ve Loma Prieta deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. Yapıların üzerinde bulunduğu zeminlerde, yumuşak zeminler için kayma dalgası hızı 100 m/s, sert zeminler için kayma dalgası hızı 900 m/s olarak alınmıştır. Her bir yapı ve deprem kaydı hem yumuşak hem de sert zeminler için ayrı ayrı çözümlenmiş ve sabit tabanlı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapının periyodu, taban kesme kuvveti, toplam yer değiştirme ve kat ötelenmeleri bulunan başlıca parametrelerdir. Lineer zaman-tanım alanı analiz sonuçları, zemin-yapı etkileşiminin yapının periyotunu ve kat ötelenmelerini artırdığını, aynı zaman toplam yer değiştirme ve taban kesme kuvveti üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada zemin 1 ve zemin 4 olmak üzere iki tip zemin türü İran deprem yönetmeliğine uygun olarak seçilmiştir.  $V_s$ =kayma dalgası hızı;  $\rho_s$ = zeminin kütle yoğunluğu;  $\nu$ = zeminin Poisson oranı olmak üzere; Tablo 2.1’de görüldüğü gibi zemin sertleştikçe kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) artmaktadır.

**Tablo 2.1:** Kabul edilen zemin özellikleri

Zemin	$V_s$ (m/s)	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\nu$
Zemin 1	900	2000	0.4
Zemin 4	100	1600	0.33

**Tablo 2.2 :** Doğal periyotlar (1.mod periyotları)

Mesnetlenme	Zemin 1		Zemin 4	
	Taban Ankastre	Sismik Yalıtım	Taban Ankastre	Sismik Yalıtım
3 katlı yapı	0,95	0,95	0,95	0,99
7 katlı yapı	1,6	1,6	1,22	1,34
15 katlı yapı	2,75	2,76	1,89	2,43

Tablo 2.2’de görüldüğü gibi zemin yapı etkileşimi yapının doğal periyotunu artırmaktadır. Fakat bu etki daha yumuşak ve esnek bir zemin olan 4 numaralı zeminde önemli bir değişiklik yapmasına rağmen, 1 numaralı zeminde bir farklılık yaratmamaktadır. Buradan yumuşak zeminlerde zemin yapı etkileşiminin daha önemli olduğu sonucuna varılabilir.

## **2.2. Yer Hareketi Parametreleri**

Depremlerin oluşturduğu yer hareketleri oldukça karmaşık olabilir. Deprem hareketini belirli bir noktadaki doğrusal hareketin üç bileşeni ile tanımlamak mümkündür. Deprem hareketinin neden olabileceği hasarları önceden tahmin edebilmek, zemin ve deprem özelliklerinin doğru olarak tanımlanması ile mümkündür (Özener, P.).

Zemin ve/veya zemin-yapı problemleri üzerine gerçekleştirilecek analizlerde hareketin tanımlanması için gösterilen çok sayıda karakteristik arasında

- a) Genlik parametreleri – En büyük ivme, En büyük hız, En büyük yerdeğiştirme
- b) Deprem frekans (periyot) içeriği – Fourier genlik spektrumu, tepki spektrumları, baskın (hâkim) frekans ya da periyot
- c) Deprem süresi gibi parametrelerin ön plana çıktığı söylenebilir (Özener, P.)

### **2.2.1. Genlik Parametreleri**

Bir yer hareketinin tanımlanması genellikle zaman kayıtları yardımıyla yapılmaktadır. Hareketle ilgili parametre ivme, hız, yer değiştirme olabilir. Tipik olarak bunlardan biri ölçülür, diğer ikisi de integral ve/veya türev alma yoluyla hesaplanır (Özener, P.)

#### **2.2.1.1. Yer Hareketinin En Büyük İvme Değeri**

Kuvvetli yer hareketinin genliğinin belirlenmesinde kullanılan en yaygın ölçüt ‘Yer Hareketinin En Büyük İvme Değeri’ (PGA)‘dır (Özener, P.).

Ancak büyük ivme değerleri sürekli büyük hasarlar meydana getirmemektedir. Özellikle yapı hakim periyotu büyüdükçe, PGA ile yapısal hasar talebi arasındaki korelasyon zayıflamaktadır.

Akselogramdan kaydedilen hareketin iki bileşeni vardır.

a) Yatay ivme

EW (Doğu-Batı)

NS (Kuzey-Güney)

b) Düşey ivme

Maksimum yatay yer ivmesi ya her iki yöndeki bileşene ait maksimum değerlerin geometrik ortalaması ya da yönden bağımsız olarak bunların arasından en büyük olanı alınır. Maksimum yer ivmesi değeri, hareketin süresini ve frekans içeriğini ifade etmediğinden, özellikle yapısal hasarların açıklanmasında ölçüt değildir (Özener, P.).

Genellikle deprem sırasındaki düşey ivmelerin neden olduğu düşey sismik kuvvetlere karşı yapının güvenlik payı yatay kuvvetlere kıyasla daha yüksektir. Bu nedenle yatay yer ivmelerinin genlikleri tasarımda dikkate alınmaktadır. Ancak son yıkıcı depremlerde alınan kuvvetli yer hareketlerinde özellikle yırtılan faya çok yakın bölgedeki düşey ivme değerleri yatay yer ivmelerinden daha büyük olarak kaydedilmiştir. Son yıllara kadar, göz ardı edilen düşey ivme değerlerinin daha ayrıntılı değerlendirilmesi, gerek sismoloji gerekse deprem mühendisliği literatüründe yaygınlaşmaya başlamıştır. Mühendislik tasarımlarında en büyük düşey ivme (PVA) genellikle en büyük yatay ivmenin (PHA) üçte ikisi kadar kabul edilmektedir (Newmark ve Hall, 1982)

Bunun yanında çok küçük periyotlarda yapıların çok rijit davranmasından dolayı spektral ivme ve deplasman değerleri çok küçüktür. Bu bölgenin spektral ivme değeri yaklaşık olarak yer hareketinin en büyük ivme değerine (PGA) eşittir.

#### **2.2.1.2. Yer Hareketinin En Büyük Hız Değeri**

Hız, yer hareketinin yüksek frekans içeriğine daha az duyarlı olduğundan orta frekanslardaki yer hareketinin genliğini doğru bir şekilde tanımlama işlemi PHA'ya göre PHV ile daha iyi yapılmaktadır. Orta frekans aralığındaki yüklemelere karşı duyarlı yapı ve tesislerin (yüksek veya esnek binalar, köprüler) potansiyel hasarını sağlıklı bir şekilde belirlemede PHV kullanılmaktadır (Özener, P.).

Yüksek PGV değerleri yakın fay hareketlerinin en belirgin özelliklerinden biridir. PGV özellikle orta periyotlu yapılar için iyi bir yer hareketi şiddet parametresidir (Vamvatsikos, D ve Cornell, C.A, 2002).

### **2.2.1.3. Yer Hareketinin En Büyük Deplasman (Yer Değiştirme) Değeri**

Maksimum yer değiştirme bir yer hareketinin genellikle düşük frekanslı (büyük periyot) bileşenleri ile ilgilidir. Maksimum yer değiştirme yer hareketinin bir ölçüsü olarak maksimum ivme ve maksimum hıza göre daha az kullanılmaktadır (Özener, P.).

(Yamada, M. ve diğ., 2009) yaptıkları gözlemlerde büyük magnitüdü yakın fay depremlerinden alınan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının, PGA ve PGD değerleri arasında gerçekte bir korelasyon olmadığını göstermektedir. Büyüklüğü 6 dan fazla olan kuvvetli yer hareketi kayıtlarından elde edilen PGA değerleri, aynı bölgede olabilecek depremlerin PGA değerleri hakkında uygun tahminlerin yapılabilmesine imkan vermektedir. Fakat bu durum PGD için geçerli olmamaktadır. Yer bilimcilerin, uzun periyotlu yer hareketlerini doğru modellemesine karşın, PGD nin alacağı değerlerde büyük bir belirsizlik olmaktadır. Genel olarak belirtmek gerekirse; düşük enerjili, yüksek frekanslı yer hareketleri kısa periyotlar içermekte, buna karşın yüksek enerjili, düşük frekanslı yer hareketleri uzun periyotlu yer hareketleri olmaktadır. Yatay kuvvetler karşısında 1.mod periyotu kısa olan yapılar kısa periyotlu yer hareketlerine, 1.mod periyotu uzun olan yapılar uzun periyotlu yer hareketlerine duyarlıdır. (Yamada, M. ve diğ, 2009), büyük magnitüdü yakın fay depremlerinden alınan yer hareketi kayıtlarının benzer koşullara sahip zeminlerde nasıl bir davranış yapacağını araştırmışlardır.

### **2.2.2. Frekans İçeriği**

Frekans içeriği, bir yer hareketi genliğinin çeşitli frekansla bölgeleri arasında nasıl dağıldığını tanımlamaktadır (Özdener, P.).

Yüksek frekanslı (küçük periyot) bölge, yer hareketinin ivme tesirli bölgesi, orta frekanslı (periyot) bölge hız tesirli bölge ve düşük frekanslı (büyük periyot) bölge deplasman tesirli bölgedir.

Depremler, hareket bileşenleri geniş bir frekans aralığında dağılım gösteren karmaşık yükleme şartları ürettiğinden, deprem hareketinin frekans (periyot) içeriğinin o hareketin etkilerine katkısı büyüktür. Bu nedenle deprem hareketinin özellikleri mutlaka frekans (periyot) içeriği dikkate alınarak tanımlanmalıdır. Bunların dışında önemli bir konuda, herhangi bir depreme maruz kalacak yapının serbest titreşim periyotunun, depremin periyodu ile çakışması durumunda oluşacak rezonanstır. Bu tür bir depremin maksimum ivmesi küçük olsa dahi oluşturacağı hasar büyük olabilmektedir. Yapının bu tür durumlarda nasıl tepki vereceğini anlayabilmek için, maruz kalacakları maksimum ivme değerini yapı periyodu ile ilişkilendiren ivme davranış spektrumlarını incelemek gerekir. Bir kuvvetli yer hareketinin frekans içeriği genellikle farklı tür spektrumlar kullanılarak incelenir (Özdener, P.).

- a) Fourier spektrumları yer hareketinin frekans içeriğini gösterir. Yani hareketin genliğinin frekansa (periyota) göre nasıl dağıldığını gösterir.
- b) Tepki spektrumları ise yer hareketinin, çeşitli doğal frekanslara sahip yapılar üzerindeki etkisini gösterir.

Bunun yanında bir kuvvetli yer hareketinin frekans içeriğini tanımlamada spektral ivme, spektral hız, spektral yer değiştirme gibi spektral parametreler bulunmaktadır. (Özdener, P.)

### **2.2.2.1. Fourier Spektrumu (Fourier Genlik Spektrumu)**

Bir periyodik fonksiyon (sabit aralıklarla aynı şekilde tekrarlanan) farklı frekans, genlik ve fazdaki basit harmonik terimlerin toplamı olan Fourier analizi ile ifade edilebilir.

Bir  $x(t)$  periyodik fonksiyonu, Fourier serisini kullanarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \sin \frac{n\pi t}{L} \right)$$

Burada  $a_n$  Fourier serisinin  $n$ . terimin genliğidir. Fourier spektrumları deprem dalgasının hangi frekans bileşenleri içerdiğini, hangi bileşenin genliğinin büyük olduğunu göstermek bakımından, o deprem dalgasının yapılara yapacağı etkinin anlaşılabilmesinde yararlı olabilir. Bir kuvvetli yer hareketinin Fourier genlik



spektrumu, hareketin genliğinin frekansa (veya periyota) göre nasıl dağıldığını gösterir (Özdener, P.).

#### **2.2.2.2. Baskın (Hâkim) Periyot ya da Frekans**

Özellikle büyük genlikli bir bileşenin bulunması halinde bu bileşenin hâkim durumda olduğu söylenir. Böyle bir dalga bileşeninin periyot veya frekansına, baskın periyot ya da frekans denir. Bir yer hareketinin frekans içeriğini temsil eden kullanışlı bir parametre baskın periyottur ( $T_p$ ). Baskın periyotu aynı fakat farklı frekans içeriğine sahip yer hareketleri de görülebilir (Özdener, P.).

#### **2.2.2.3. Tepki (Davranış) Spektrumları (Yapının Cevabı)**

Herhangi bir yapıyı tek serbestlik dereceli bir sistem olarak kabul edersek, tek serbestlik dereceli bir sistem, periyot, sönüm oranı ve zemin türünün bir fonksiyonu olarak kendisine etkileyen yer hareketini farklı bir şekilde algılar (Özdener, P.).

Tepki spektrumlarını; spektral ivme, spektral hız ve spektral yer değiştirme olarak kabul edersek spektral ivmeyi şu şekilde ifade edebiliriz.

$S_a = a_{\max} = f(\text{periyot, zemin türü, sönüm oranı})$  yani diğer bir deyişle

$S_a = |\ddot{u}(t, \xi, \omega) + \ddot{u}_g(t)|_{\max}$  olarak yazılırsa  $S_v$  ve  $S_d$  de bulunur.

$S_a = \omega S_v = \omega^2 S_d$  olarak yazılabilir.

Belirli bir zemin türü ve enerji sönümlenme oranında öyle bir periyot vardır ki ( $T=T_1$ ) sisteme etkileyen spektral ivme değeri maksimum olur.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$m$  sistemin kütlesi,  $k$  yapının rijitliği olmak üzere  $T$  sistemin periyotudur.

Bunu şu şekilde açıklamak da mümkündür. Doğal periyotları sırasıyla 0.3s, 0.5s, 1.0s olan üç farklı yapının aynı deprem nedeniyle maruz kalacakları ivme değerleri (yapıya gelecek deprem yükünün hesabı için kullanılacak) farklı olacaktır (Özdener, P.)

### 2.2.3. Deprem Süresi

Kuvvetli yer hareketinin süresi, bir fay boyunca biriken deformasyon enerjisinin yırtılma ile boşalması için gereken zamandır. Yapılan gözlemler göstermiştir ki kuvvetli yer hareketlerinin süresinin deprem hasarları üzerindeki etkisi çok büyüktür. Şöyle ki; genliği büyük olan bir yer hareketinin çok kısa süreli olması durumunda oluşan hasarın düzeyi hafif olabilir veya orta genlikteki bir yer hareketi uzun süre etkiliyorsa, yapıda yıkıcı hasarlar meydana getirebilir. Deprem literatüründe deprem süresi olarak 2 farklı tanım yapılmıştır (Özdener, P.).

- a) 0.05g eşik ivme değerinin aşıldığı zaman  $T_1$  ile gösterilir ve son aşıldığı zaman  $T_2$  ile gösterilirse, aralarındaki fark ( $T=T_1-T_2$ ) olarak depremin süresini verir.
- b) İkinci olarak da toplam enerjinin %5'i ile %95'inin kayıt edildiği noktalar arasındaki zaman olarak tanımlanmıştır (Özdener, P.).

### 2.2.4. Arias Şiddeti

Açısal frekansı  $\omega$  ve sönümü  $\xi$  olan tek serbestlik dereceli sistem  $\ddot{u}_g(t)$  yer hareketi altında bulunsun. Burada tek serbestlik dereceli sistemin davranışının, çok rijit olduğu gibi, tamamen yer hareketi ile aynı olduğu kabul edilecektir. Bu durumda tek serbestlik dereceli sistemde oluşan kuvvet,  $m\ddot{u}_g(t)$  şeklinde olacaktır.

Arias şiddetinde depremin yapılarda meydana getirdiği hasarın birim ağırlıkta tüketilen enerji ile orantılı olduğu ve gözönüne alınacak yapıların periyotlarının  $0 \leq T < \infty$  aralığında düzgün dağılı olarak bulunan tek serbestlik dereceli sistemlerden oluştuğu kabul edilir. Enerjinin toplamı  $0 < T < \infty$  periyot veya  $0 < \omega < \infty$  frekans aralığı gözönüne alınarak, aşağıdaki verildiği gibi Arias Şiddeti olarak tanımlanır (Celep, Z. 2011).

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^t |\ddot{u}_g(t)|^2 dt$$

Burada;  $I_A$ : Arias Şiddeti  $\ddot{u}_g(t)$ : t anındaki ivme değeri  $g$ : yer çekimi ivmesi

Arias şiddeti yer hareketinin frekans içeriği ile ilgili bir bilgi vermeyen ivme esaslı bir parametredir.

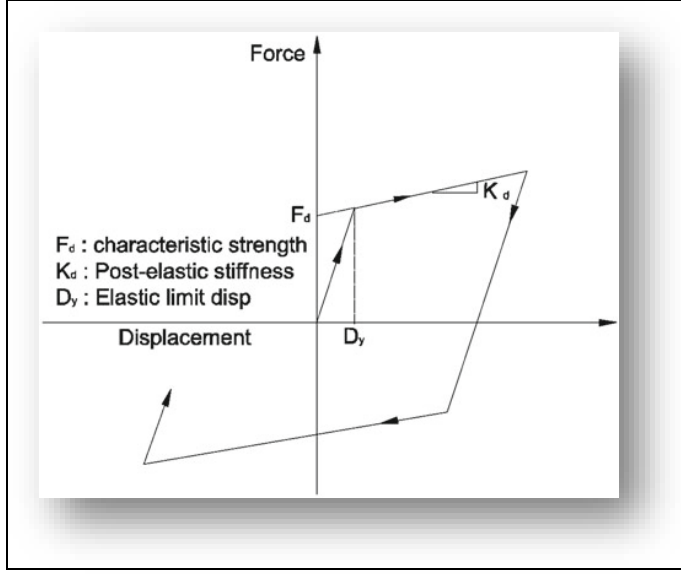
### 2.2.5. Housner Spektrum Şiddeti

Spektrum değerleri, deprem hareketinin yapıya olan etkisinin, en büyük değerini gösteren bir ölçüdür. Deprem yapıya aktardığı enerjinin bir ölçüsü  $S_v(\xi, T)$  hız spektrumu kabul edilerek, hız spektrumu eğrisinin altında kalan alan depremin bir ölçüsü olarak kabul edilebilir (Celep, Z., 2011).

$$SI(\xi) = \int_{0.1s}^{2.5s} S_v(\xi, T) dT$$

Housner spektrum şiddeti olarak bilinen bu parametre ile deprem, spektrum eğrisinin özelliğini de içerecek şekilde tek bir parametre ile ifade edilmiş olur. İntegral sınırları pek çok bina periyodu bu sınır içine düşecek şekilde seçilmiştir. Sönüme bağlı olan bu parametre depremin, periyodu 0.1 s ve 2.5 s arasındaki yapılarda meydana getirebileceği hasarın bir ölçüsü olarak da kabul edilebilir. Bu parametre, ölçüm sonuçlarından elde edildiği için Mercalli Şiddetlerine göre, depremin yapıların dayanım düzeyinden bağımsız daha gerçekçi bir mutlak ölçüsü olarak görülebilir (Celep, Z., 2011).

(Mollaidi, F. ve diğ, 2013) yaptıkları çalışmada, taban izolatörlü yapıların sismik tepkilerini literatürde en yaygın kullanılan yer hareketi şiddet parametrelerini kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Araştırmaya konu olan modeller farklı kat sayısına ve taban yalıtımına sahip iki adet çerçeve sistem olmuştur. Yer hareketi şiddet parametrelerinin hesap ve analizinde normal ivme kayıtları ile darbe etkili yakın fay kayıtları kullanılmıştır. Her bir çerçeve 16 farklı izolatör ile karakterize edilmiştir. İzolatörler bilineer yatay yük-deplasman ilişkisine göre modellenmiştir. Çevrimsel yükleme sonucu izolatör rijitliklerinde herhangi bir azalma yoktur.



**Şekil 2.2:** Çift-doğrulu (bilinear) yatay yük- deplasman çevrim modeli

Peer veri bankasından (2005) 139 adet yer hareketi kaydı taban izolatörlü sistemde non-lineer dinamik analiz için kullanılmıştır. 80 tanesi yakın fay özelliği içermeyen kayıt 0.34-87.87 km aralığında ve 5.74-7.9 büyüklüğü arasında, 59 tanesi ise yakın fay özelliği içeren 0.07-20.82 km aralığında ve 5-7.62 büyüklüğü arasında alınmıştır.

**Tablo 2.3:** Yapıların sismik yalıtımlı periyodu ve akma yer değiştirmeleri

Akma yer değiştirmesi (mm)	izolasyon periodu (sn)			
	2.5s/4-Katlı 3.0s/6-Katlı	3.0s/4-Katlı 3.5s/6-Katlı	3.5s/4-Katlı 4.0s/6-Katlı	4.0s/4 Katlı 4.5s/6-Katlı
0	a1	a2	a3	a4
10	b1	b2	b3	b4
25	c1	c2	c3	c4
50	d1	d2	d3	d4

### 3. SİSMİK İZOLASYON TEKNİĞİ

#### 3.1. Sismik İzolasyon Tanımı ve Tarihçesi

Depreme maruz kalan mühendislik yapılarında oluşan büyük hasarlar mühendisleri, akademisyenleri ve bilim çevrelerini bu konuda çözüm üretme yoluna itmiştir.

Sismik yalıtım düşüncesi ilk kez, Tokyo Üniversitesi'nde, Prof. Dr. John Milne (1850-1913) tarafından geliştirilmiş olan taban yalıtımı ile başlamıştır. Doktor Milne, örnek bina inşaatında 25 cm çapında demir bilyeler kullanarak yapıyı zeminden ayırmış ve hafif depremler süresince memnun edici sonuçlara ulaşmıştır. Bu yöntem basit olmasına rağmen pratik ve uygulanabilir olmamıştır. Çünkü bilyeler üzerinde duran yapı rüzgâr yükü etkisiyle bile kolayca hareketlenebilmiş ve herhangi bir yükleme sonrasında ilk konumuna dönememiştir. Daha sonra taban yalıtımında kullanılan bilyelerin çapı 2,5 cm'ye düşürülmüş ve sonuç daha memnun edici olmuştur. Fakat yapı deprem sonrası ilk konumuna dönme mekanizmasına sahip olmadığı için pek kullanım alanı bulamamıştır.

20. yüzyılın başlarında, yapıların deprem kuvvetleri etkisinden korunabilmesi için pek çok çalışmalar yapılmış ve farklı sistemler geliştirilmiştir. Sonrasında İngiltere'de yaşayan Doktor J.A. Calantarients, 1909 yılında binaların yapımı sırasında, yapı altına talk, mika veya kum bir tabakadan oluşan katmanın eklenmesi durumunda, yapıların hareket serbestliğine izin verecek bir düzenek olacağını ve bu sayede de yapıya transfer olacak kuvvetin azaltılabilesinin mümkün olabileceğini savunmuştur. Bu önerilen yöntem tamamıyla yapının zeminden yalıtılarak deprem kuvvetlerinin etkilerinden korunmasına dayanır (Naeim ve Kelly, 1999)

Yapıların depremlerin etkilerinden korumaya yönelik çalışmalar 1920'li yıllarda uygulamaya geçirilmiştir. Fakat modern anlamda sismik yalıtımın uygulanması 1960'lı yıllarda olmuştur. Depremden korunmak için ilk kauçuk mesnet 1969 yılında Yugoslavya' da Skopje şehrinde uygulanmıştır. Uygulama 3 katlı betonarme bir okul binasıdır. Modern kauçuk izolatörlerin ilkel hali olan sisteme "Swiss Full Base

Isolation-3D” denmiştir. İzolatörlerde tamamen doğal kauçuk bloklar kullanılmıştır. Kauçukların içerisine çelik plaklar yerleştirilmediğinden düşey yönde istenilen rijitlik elde edilememiş ayrıca bu bloklar sabit yükler altında yanlara doğru şişmiştir. Sistemin düşey yönde rijitliği, yatay yöndeki rijitliğine eşit olduğundan deprem esnasında yapı yatay yönde salınırken düşey yönde de sıçrayabilmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

Bu yapı tamamlandıktan sonra doğal kauçuk yataklar üzerine birçok yapı inşa edilmiştir. Fakat bunların çelik plakalar ile düşey yöndeki rijitlikleri güçlendirilmiş, yanal şişme azalmıştır. Sismik yalıtım sistemlerinin tarihçesi genel hatları ile bu şekilde gelişmiştir.

Zemin-yapı arasındaki bir etkileşimin var olması, büyük yer hareketlerinden dolayı yapılar üzerinde büyük hasarlara ve can kayıplarına neden olabilmektedir. Üst yapıyı, kendisine deprem hareketini ileten zeminden ayırmak amacıyla kullanılan yalıtım teknikleri deprem hareketlerinin yapı üzerindeki etkilerini oldukça azaltmaktadır. Bu amaçla kullanılan sismik yalıtım araçlarına “taban izolatörü” veya “sismik izolatör” denilmektedir (Şahin, N. 2001).

Sismik yalıtımın ana ilkesi; yapı ile zemin arasına yanal rijitliği düşük elemanlar koyup yapıyı depremin yıkıcı etkilerinden korumak ve sistemin doğal titreşim periyotunu artırmaktır. Yapı elemanlarının rijitliği küçük seçilerek, titreşim periyodu belirli aralığa getirerek depremin etkilerini azaltmak mümkündür. Bunun sağlanması için yapının doğal titreşim periyotunu, bölgenin hâkim periyotundan uzak tutarak rezonans önlenmelidir. Yer hareketinin yüksek freanslı kısmı, kayalık sert zemin bölgelerinde hâkimdir. Bunu şöyle açıklamak mümkündür; uzun zemin periyotlarının hâkim olduğu bölgelerde, kısa periyotlu, rijit, az katlı yapılar uygun düşer. Zemin periyotunun kısa olduğu bölgelerde ise çok katlı yapılar uygundur (Celep ve Kumbasar, 2000).

Orta yükseklikteki yapılarda etkin rezonans periyodu genellikle 0.1 ile 2.5 saniye aralığındadır. Bu periyot aralığı aynı zamanda çoğu şiddetli depremin hâkim periyot aralığını da kapsamaktadır. Kaba bir ifadeyle bu baskın periyot aralığı 1 ile 10 katlı binaların periyotlarına tekabül etmektedir. Sismik yalıtımlı yapının periyodu, kullanılan izolatöre ve yapının cinsine bağlı olmak kaydıyla genellikle 2-4 sn

arasındadır. İzolatörlerin diğer bir faydası, deprem hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler azalmakta ve yalıtım sistemi yapının rijit hareketi neticesinde, kullanımında yapısal olmayan olumsuz sonuçlara neden olmaksızın yapıya esneklik kazandırabilmektedir (Ateş, Ş., Dumanoglu, A., 1999).

Sismik yalıtım kullanılan yapılarda katlar arası yer değiştirme oranının minimum seviyelere düştüğü görülmüştür. Bunun sonucu olarak, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki deformasyonların minimum seviyede kaldığı ve dolayısı ile yapı elemanlarının depremin yatay kuvvetlerinden ve ivmelenmeden minimum seviyede etkilendikleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak sistemin periyotundaki artmadan dolayı, yüksek titreşim periyotlarında yapıya etkiyen ivmelerin azaldığı görülmüştür. Esneklik kazanmış sistem daha fazla yer değiştirme yapabilmektedir. Bu da sistemin enerji sönümleme kapasitesini artırmaktadır

Sismik yalıtım uygulamasının başarısı, uygun yalıtım sisteminin ve bileşenlerinin seçimine bağlıdır. Sismik yalıtım sistemleri yapıya yatayda istenilen miktarda esneklik ve sönüm kazandırmalı, depremden sonra eski konumuna gelebilmeli ve yapıdan gelen düşey yükleri güvenli bir biçimde zemine iletebilmelidir. Sismik yalıtım tasarlanırken, yatayda oluşacak yer değiştirmeler göz önünde bulundurulmalı ve yapının etrafında gerekli hareket payı bırakılmalıdır. Beklenenden daha büyük bir hareket olması ihtimaline karşı, yapının etrafında şok emici tamponların ve yalıtım sisteminin devre dışı kalması durumunda, yapıdan gelen düşey yükleri güvenli biçimde zemine aktarabilecek elemanların da yerleştirilmesi gerekmektedir. Bütün bunlara ek olarak, sismik yalıtım sistemi bileşenlerinin kolayca monte edilebilmesi, bakımlarının yapılabilmesi ve gerektiğinde parçalarının değiştirilebilmesi gerekmektedir (Kelly, 2001).

İzolatörler, yapılara çeşitli şekillerde konabilmektedir.

- a) Temel ile yapı arasına
- b) Kolonun orta bölgesine
- c) Kolonun üst bölgesine

### 3.2. Önceki Çalışmalar

Sismik yalıtım sistemleri ile ilgili yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Demir, S. (2008) , yaptığı çalışmasında Konya- Selçuk Üniversitesi Ar-Ge binasını Sap2000 programında hem sabit tabanlı hem de sismik yalıtımlı olarak 1. ve 4. deprem bölgeleri için ayrı ayrı analiz etmiş ve her iki tasarım arasında oluşan deplasman farklarını incelemiştir. İzolasyonlu sistemin çözümünde zaman tanım aralığında El Centro deprem verilerini kullanmıştır. Sistemin dış kolonlarında kauçuk izolatör, orta kolonlarında ise kayıcı izolatörler kullanılmıştır.

Yücesoy, A. (2005), yaptığı çalışmada sismik yalıtım uygulanmış bir yapının davranışını göstermek amacıyla 5 katlı örnek bir bina modelini önce sabit tabanlı daha sonra sismik yalıtımlı analiz etmiştir. Zaman tanım alanında deprem davranışları için İzmit ve Erzincan depremlerinin ivme kayıtları kullanılmıştır. Taban izolasyonunda kurşun çekirdekli kauçuk taban izolatörleri kullanılmasına göre analiz yapılmış ve taban izolasyonunun getirdiği avantaj, dezavantaj, yanal ötelenmeler, eğilme momentleri, taban kesme kuvvetleri ve yapı doğal periyodunun aldığı değerler karşılaştırılmıştır.

Ayhan, O. (2006), çalışmasında binaların güçlendirme yöntemlerinden klasik güçlendirme ve sürtünmeli sarkaç mesnetler ile güçlendirme yöntemleri, karşılaştırmalı olarak ele alınmış ve birbirlerine karşı üstünlükleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda kısa ve uzun periyotlu iki ayrı yapı ele alınmıştır. Her iki bina türünde de klasik güçlendirme sonucu doğal titreşim periyotları azalmış, sürtünmeli sarkaç mesnetler kullanıldığında ise doğal titreşim periyotları artmıştır. Daha sonra bu yapılar 8 ayrı deprem ivmesi ile zaman tanım alanında analiz edilmişler, bu depremlerin yapılarda oluşturdukları yer değiştirmeler, taban kesme kuvvetleri ve kat ivmeleri belirlenmiştir. Çalışmasında, sürtünmeli sarkaç mesnet kullanmanın yer değiştirmeleri artırdığı, taban kesme kuvvetlerini ve kat ivmelerini azalttığı görmüş fakat göz önüne aldığı Mexico City deprem ivme kaydı ile yapılan zaman tanım alanında analiz, binalara gelen deprem yüklerini artırdığını gözlemlemiştir.



### **3.3. Türkiye’de Uygulama Alanları**

Hastane, okul, itfaiye, enerji dağıtım ve haberleşme merkezleri gibi depremlerden sonra kullanılması gereken yapılar ile nükleer enerji santralleri, viyadükler, data merkezleri, gibi ivedi ihtiyaç duyulan yapılar ve tarihi eserlerin saklandığı müzeler genel uygulama alanlarıdır.

- a) Tarsus-Adana-Gaziantep Otoyolu Viyadükleri
- b) Gümüşova-Gerede Otoyolu Viyadükleri
- c) İstanbul Havalimanı Dış Hatlar Terminali
- d) Aliğa’da Sıvılaştırılmış Gaz Depolama Terminali
- e) Kocaeli Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi
- f) Antalya Havalimanı Dış Hatlar Terminali
- g) Tarabya Oteli

### **3.4. Sismik İzolatörlerin Sınıflandırılması ve Karakteristik Özellikleri**

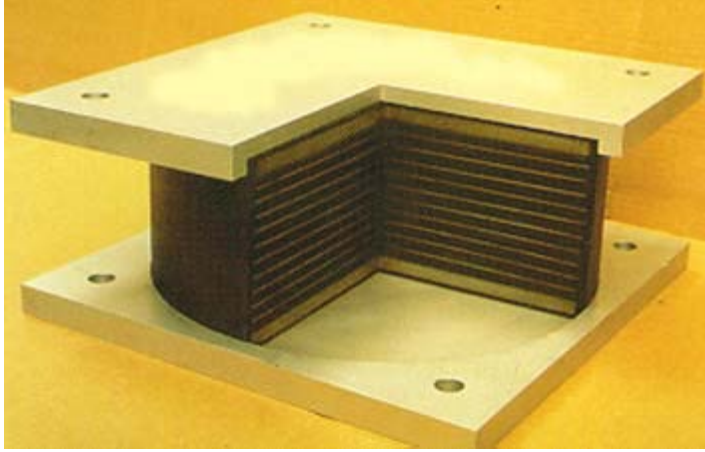
Yapı izolatörleri çalışma prensiplerine göre üç ana gruba ayrılır.

- a) Elastomerik (Kauçuk Esaslı) İzolatörler
- b) Kaymaya Dayalı İzolatörler
- c) Yay Tipi İzolatörler

#### **3.4.1. Elastomerik (Kauçuk Esaslı) İzolatörler**

- a) Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler
- b) Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler
- c) Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler

Elastomer yalıtıcılar, şekil (2.1)’de görüldüğü gibi üst üste dizilmiş kauçuk ve çelik katmanlarından oluşur. Pürüzlendirilen çelik plakalar ve kauçuk katmanlar, yüksek ısı ve basınç altında birbirlerine yapıştırılmaktadır. Kauçuk katmanların ve çelik plakaların çevre koşullarından korunabilmesi için mesnetin etrafı koruyucu bir kauçuk katman ile kaplanmaktadır. Elastomer yalıtıcıların mekanik özellikleri, Elastomer birleşimine ve mesnet geometrisine bağlı olarak değişmektedir (Kelly, 1997).



**Şekil 3.1:** Elastomer yalıtıcısı (Dusi, 2003)

Çelik tabakaların yatay rijitliğe etkisi yoktur. İzolatörler kare ve dairesel olmak üzere iki farklı geometrik şekle sahiptir. Kauçuk katmanlara yapıştırılmış olan çelik tabakalar, elastomer mesnetin eğilme deformasyonlarını önemli derecede azaltmaktadır. Bundan dolayı, kauçuk katmanlarda sadece kayma deformasyonlarının meydana geldiği kabul edilmektedir. Elastomer yalıtıcılarda oluşan geri döndürücü kuvvet (2.1) ifadesi ile hesaplanabilir.

$$F_{RH} = K_H U_H + C_H \dot{U}_H \quad (2.1)$$

Bu ifadede  $K_H$  elastomer yalıtıcının yanal rijitliğini ve  $C_H$  ise sönümünü göstermektedir. Elastomer mesnetlerin yanal rijitliği  $K_H$  (2.2) ifadesiyle hesaplanabilir.

$$K_H = \frac{GA}{t_r} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $G$  kauçuğun kayma modülünü,  $A$  kauçuk katmanının plandaki enkesit alanını ve  $t_r$  ise kauçuk katmanların toplam yüksekliğini göstermektedir. Maksimum yatay yer değiştirme  $D$ , kayma şekil değiştirmesi cinsinden şu şekilde ifade edilir.

$$\gamma = \frac{D}{t_r} \quad (2.3)$$

Elastomer mesnetlerin düşey rijitlik ve eğilme rijitliği tasarımı da elastik kiriş teorisinde olduğu gibi  $EI$  ifadesiyle gösterilir. İzolasyonlu bir yapıda yatay frekans çoğu zaman önemli bir kriterdir ve bu da düşey rijitlik ile kontrol edilir. Tasarımcı bu düşey frekans aralığını sağlamak için mesnetlerin ölü yükler altındaki düşey

rijitliğini hesaplaması gerekir ve bunun için de lineer analiz yeterlidir. Mesnetler için göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli bir faktörde mesnetlerde oluşabilecek burulma faktörüdür. Bu analizin yapılabilmesi için mesnette oluşabilecek eğilme momenti dikkate alınır. “Eğilme rijitliği” olarak adlandırılan bu özellik, düşey rijitliğin belirlenmesi için yapılan analizin uzantısıyla elde edilir (Naeim ve Kelly, 1999).

$$K_V = \frac{E_c A}{t_r} \quad (2.4)$$

Buradaki A ise izolatörün enkesit alan,  $t_r$  yine kauçuğun toplam kalınlığı,  $E_c$  ise belirli bir düzeydeki bir düşey yük etkisi altındaki, kauçuk ve çelikten meydana gelen kompozit elemanın elastisite modülüdür. Tek bir kauçuk katmanına ait  $E_c$  değeri, şekil faktörü S’ye bağlıdır. “S” şu şekilde tanımlanmıştır.

$$S = \frac{\text{Yüklü Alan}}{\text{Yüksüz Alan}} \quad (2.5)$$

Örnek olarak 2b genişliğinde ve t kalınlığında tek tabakalı sonsuz bir şerit için;

$$S = \frac{b}{t} \quad (2.6)$$

Çapı  $\Phi$  ya da yarıçapı R ve t kalınlığındaki dairesel bir izolatör için;

$$S = \frac{\Phi}{4t} \quad \text{ya da} \quad S = \frac{R}{2t} \quad (2.7)$$

Bir kenarının uzunluğu a olan, t kanlığındaki kare bir izolatör için;

$$S = \frac{a}{4t} \quad (2.8)$$

Tam daire şeklindeki tek bir izolatörün elastisite modülü şu şekilde verilir;

$$E_c = 6GS^2 \quad (2.9)$$

Kare şeklinde bir izolatör için;

$$E_c = 6.73GS^2 \quad (2.10)$$

Bazı durumlarda izolatörlerin merkezleri boşluklu bir yapıda tasarlanabilir. İç yarıçapı  $a$  ve dış yarıçapı  $b$  olan, halka şeklindeki bir izolatör için basınç modülü şu şekilde hesaplanır.

$$E_c = 6\lambda GS^2 \quad (2.11)$$

Burada;

$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - [(b^2 - a^2)/(\ln b/a)]}{(b-a)^2} \quad (2.12)$$

$a/b > 0,10$  ise  $E_c$  genellikle  $4GS^2$  alınmaktadır. Merkezi boşluklu yapıda olan izolatörler için birçok durumda  $E_c$  değeri  $4GS^2$  alınmaktadır.

Basınç etkisiyle altında, birbirine yapışık çelik levhalar nedeniyle kauçukta  $\gamma_c$  ile gösterilen kayma şekil değiştirmesi ve  $\varepsilon_c$  ile gösterilen basınç şekil değiştirmesi meydana gelir.

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta}{t_r} \quad (2.13)$$

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \quad (2.14)$$

Tasarımcının ilgilendiği kayma şekil değiştirmesi sadece basınca bağlı maksimum şekil değiştirmesi değildir. Ortalama kayma şekil değiştirmesini de belirlemek faydalı olmaktadır. Çünkü kauçuk malzeme şekil değiştirmeye bir şekilde duyarlıdır.  $G$  kayma modülü, özellikle dolu kauçuk malzemelerde şekil değiştirme düzeyine göre değiştirilmektedir. Kayma şekil değiştirmesi basınç altındaki izolatörün hacmine göre çeşitlilik gösterebilmektedir. Ortalama kayma şekil değiştirmesini hesaplayabilmek için izolatörde depolanmış elastik enerjiyi karşılayabilecek uygun kayma modülü alınarak yapılır (Naeim ve Kelly, 1999).

$$\gamma_{ave} = \sqrt{6}S\varepsilon_c \quad (2.15)$$

Düşey rijitlik hesabında kullanacak uygun  $G$  değerini tasarımcı bulabilmek için belirli bir dereceye kadar deneme yanılma yöntemi uygulayabilir. Öncelikle  $\varepsilon_c$  değerini ve oradan  $\gamma_{ave}$  'yi hesaplayabilmemiz için bir  $G$  değeri kabul etmemiz gerekir. Bulunan sonuca göre kayma modülü değeri gerekirse yeni bir iterasyon daha

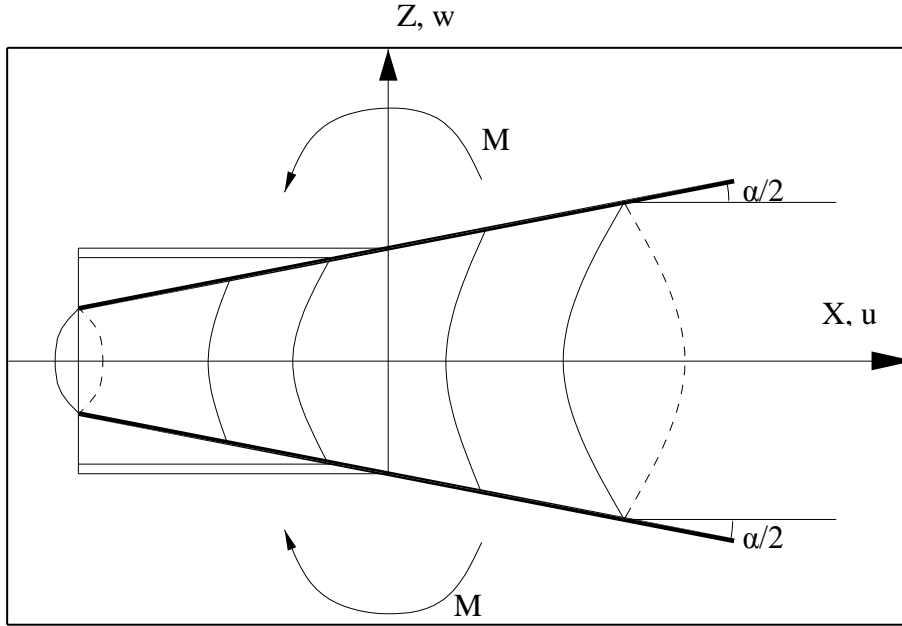
yapılarak değiştirilebilir. Çünkü %20'nin üzerindeki şekil değiştirme oranlarında G kayma modülü, şekil değiştirmeye karşı çok duyarlı değildir.

Bir izolatörün eğilme rijitliği, yer değiştirme kabullerinde kullanılan yaklaşıma benzer bir yaklaşımla hesaplanabilir. İzolatörün basit bir M momenti ile yüklü olduğu varsayılır ve yer değiştirme ise izolatöre bağlı üst ve alt levhaların bir dönmesi olarak kabul edilir. Bu durum şekil (3.2)'de gösterilmektedir. Üst ve alt levhalar arasındaki rölatif açı  $\alpha$  ve yer değiştirme tarafından meydana getirilen eğrilik yarıçapı  $\rho$  arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir (Naeim ve Kelly, 1999).

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha}{t} \quad (2.16)$$

Eğilme rijitliğinden;

$$M = \frac{EI}{\rho} \quad (2.17)$$



**Şekil 3.2:** Basit eğilme etkisi altında olan rijit plakalar arasındaki kauçuk izolatör

$$M = (EI)_{eff} \frac{\alpha}{t} \quad (2.18)$$

Dairesel kesitli, yarıçapı R olan izolatör için bu ifade;

$$M = \frac{3\alpha G \pi R^6}{2t^3 12} \quad (2.19)$$

Dairesel kesitte atalet momenti;

$$I = \frac{\pi R^4}{4} \quad (2.20)$$

Kare şeklinde bir izolatör durumunda efektif eğilme rijitliği kirişin eğilme rijitliği EI'nın 1/3'üne çok yakındır.

$$EI_{eff} = E_c(0,329I) \quad (2.21)$$

Merkezinde delik olan daireysel bir izolatör için benzer eşitlik şöyle ifade edilmektedir.

$$(EI)_{eff} = 2GS^2I \frac{(b^2+a^2)}{b^2-a^2} \quad (2.22)$$

Eğilme nedeni ile oluşan kayma şekil değiştirmesi;

$$\gamma_b = 6S\varepsilon_b \quad (2.23)$$

Eğilme nedeni ile oluşan kenar basınç şekil değiştirmesi;

$$\varepsilon_b = R(a/t) \quad (2.24)$$

Ortalama kayma şekil değiştirmesi şu şekilde ifade edilir.

$$\begin{aligned} \gamma_b^{ave} &= \sqrt{2}S^2\alpha \\ &= \sqrt{2}S \frac{R\alpha}{4t} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{4}S\varepsilon_b \end{aligned} \quad (2.25)$$

Elastomer mesnetler tarafından taşınan yapının tamamen rijit olması durumunda, elastomer mesnetlerin doğal periyodu,  $T_{rh}$  (2.26) ifadesiyle hesaplanabilir.

$$T_{rh} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \sum k_h}} \quad (2.26)$$

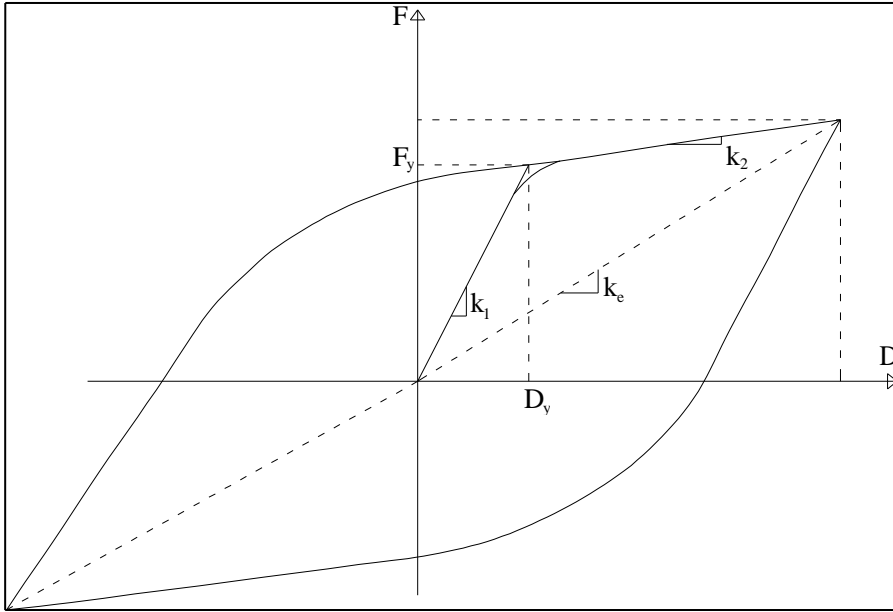
Bu ifadede, W yapının toplam ağırlığını ve  $\sum k_h$  ise elastomer mesnetlerin yanal rijitliklerinin toplamını göstermektedir.

Elastomer yalıtıcılarda kauçuk katmanlarının kayma şekil değiştirmesiyle oluşan enerji sönümünün hızla orantılı olarak değiştiği deneysel olarak görülmüştür. Bu nedenden dolayı elastomer yalıtıcılarda sönüm, eşdeğer viskoz sönüm kullanılarak modellenebilmektedir (Filiatrault, 2001). Eşdeğer viskoz sönüm  $c_b$ , (2.27) ifadesiyle hesaplanabilir (Skinner ve diğ., 1993).

$$c_b = 2\zeta_b M_T \omega_{rb} \quad (2.27)$$

Bu ifadede  $\omega_b$  açısal frekansı (2.5),  $\zeta_b$  sönüm oranını ve  $M_T$  ise sismik yalıtım sisteminin üzerinde bulunan toplam kütle göstermektedir. Sönüm oranı  $\zeta_b$ , kullanılan kauçuk birleşimine göre kritik sönümün %5 ila %10 u arasında değişmektedir (Filiatrault, 2001).

$$\omega_b = \frac{2\pi}{T_{rb}} \quad (2.28)$$



**Şekil 3.3:** Elastomerik (kauçuk)yalıtıcılar için idealleştirilmiş kuvvet-yer değiştirme eğrisi (Erdik, M., 2007)

Bu şekilde;

$F_y = Q =$  Karakteristik Dayanım

$k_1 =$  Birinci (Elastik) Rijitlik

$k_2 =$  İkinci (Elastik Ötesi) Rijitlik

$k_e = D$  deplasmanına tekabül eden etkin (sekant) rijitlik  $= F/D$

$D_y$ = İtibari akma deplasmanı olmaktadır.

Verilen bir yükleme döngüsündeki (histeresis eğrisi) etkin rijitlik ( $k_e$ ) o döngüde uygulanan kuvvetin ( $F$ ) ulaşılan maksimum deplasmana ( $D$ ) bölünmesi ile elde edilir (Erdik,2007).

Etkin viskoz sönüm oranı  $\beta_e$  bir deplasman döngüsünde yutulan enerjinin (histeresis alanı= $W_d$ ) olmak üzere şu şekilde elde edilir. (Erdik, 2007).

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi\left(\frac{W_d}{FD}\right)} \quad (2.29)$$

Kurşun çekirdekli elastomer yalıtıcılar ise, elastomer mesnetlerin içerisine açılmış deliklere kurşun silindirlerin yerleştirilmesiyle elde edilen mesnetlerdir. Kurşun çekirdeğin amacı, kurşunun kayma deformasyonu sırasında sönümü artırmaktadır. Kurşun çekirdeğin kullanılmasının diğer bir nedeni de rüzgâr ya da fren yükleri etkisi altında yapının o kuvvetler doğrultusunda hareket etmesini engellemektedir.

Kurşun çekirdeğin çapı, rüzgâr ve fren yükleri gibi hafif yanal yükleri karşılamak için gereken ilk yanal rijitliğe göre belirlenir. Kurşun çekirdeğin kesit alanı, bu yükleri akma olmadan iletebilecek kadar büyük olmalıdır. Akma kuvveti, genellikle yapının ağırlığının bir yüzdesi olarak belirlenir (Kelly, 2001).



**Şekil 3.4 :** Kurşun çekirdekli elastomer yalıtıcı (Constantinou and Whittaker, 2004).

Çekirdek malzemesi olarak kurşun kullanılmasının nedenlerinden biri plastik deformasyonlarından sonra zamanla yeniden kristalleşme sayesinde eski özelliklerini



kazanmasıdır. Kurşun kullanılmasının bir başka nedeni de doğada çok kolay sağlanabilmesi ve ucuz olmasıdır (Skinner, 1993).

Kurşun çekirdek akmadan önce kurşun çekirdekli elastomer mesnetin yanal rijitliğinin elastomer mesnetin yanal rijitliğine kıyasla oldukça büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni de kurşunun ve =kauçuğun her ikisinin de elastik deformasyon yapmasıdır. Kurşun aktıktan sonra ise her iki mesnetin de aynı rijitliğe sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, kurşun çekirdekli elastomer mesnetlerin akma sonrası rijitliği sadece elastomerin kayma rijitliğine bağlıdır.

Kurşun çekirdekli elastomer mesnetlerin değişen yükler altındaki çevrimsel davranışı, elastik rijitliği  $k_e(k_1)$ , akma sonrası rijitliği  $k_p(k_2)$  ve akma kuvveti  $F_y$  olan bilineer bir yay olarak modellenenbilir (Şekil 2.10). Elastik rijitlik  $k_e$ , (2.30) ifadesiyle elde edilebilir.

$$k_e = \frac{1}{h_k} (G_p A_p + G_k A_k) \quad (2.30)$$

Bu ifadede;

$h_k$ : Kauçuk katmanlarının toplam yüksekliği

$A_p$ : Kurşun çekirdeğin kesit alanı

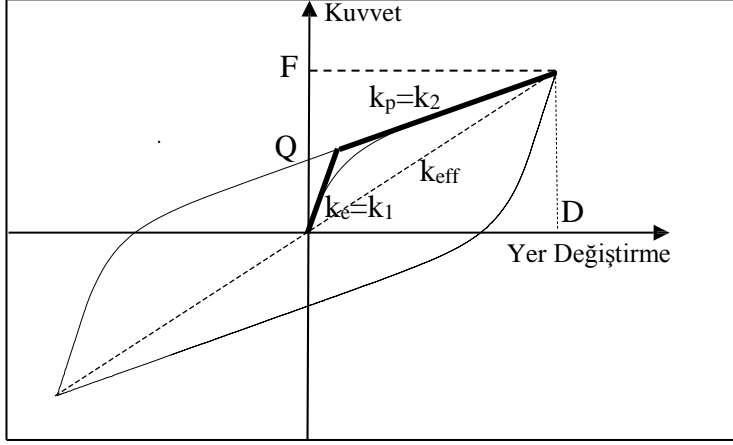
$A_k$ : Kauçuk katman alanı

$G_p$ : Kurşunun kayma modülü  $\approx$  Oda sıcaklığında 150 Mpa

$G_k$ : Kauçuğun kayma modülü  $\approx$  1 Mpa

Akma sonrası rijitlik  $k_p$  (2.31) ise kauçuk katmanların rijitliğine eşittir.

$$k_p = \frac{G_k A_k}{h_k} \quad (2.31)$$



**Şekil 3.5 :** Kurşun çekirdekli elastomer yalıtıcıların kuvvet-yer değişirme ilişkisi (Histeresis eğrisi)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün efektif rijitliği şu şekilde ifade edilir.

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} D \geq D_y \quad (2.32)$$

$D_y$  akma deplasmanıdır. Doğal frekans,  $\omega$  şu şekilde verilir.

$$\begin{aligned} \omega &= \sqrt{\frac{K_{eff} g}{W}} \\ &= \sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}} \end{aligned} \quad (2.33)$$

Burada  $\mu = \frac{Q}{W}$ ,  $\omega_0^2 = \sqrt{\frac{K_2 g}{W}}$  ve efektif periyot  $T$  şu şekilde verilmiştir.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}}} \quad (2.34)$$

$D \geq D_y$  için, efektif sönüm  $\beta_{eff}$  şu şekilde olur;

$$\beta_{eff} = \frac{\text{Histeresis eğrisinin alanı}}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (2.35)$$

Histeresis eğrisinin alanı  $4Q(D - D_y)$  ifadesi ile verilmektedir.  $\beta_{eff}$  bu ifadeler cinsinden tekrar yazılırsa;

$$D_y = \frac{F_y}{K_1} F_y = Q + K_2 D_y \quad \text{dolayısıyla}$$

$$D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} \quad (2.36)$$

$\beta_{eff}$  'in tanımı ve denklem (2.32) kullanılarak şunu elde ederiz;

$$B_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(K_2D + Q)D} \quad (2.37)$$

Genel olarak elastik rijitlik  $K_1$  ,  $10K_2$  alınır. Bu kabul  $D_y = \frac{Q}{9K_2}$  sonucunu verir.

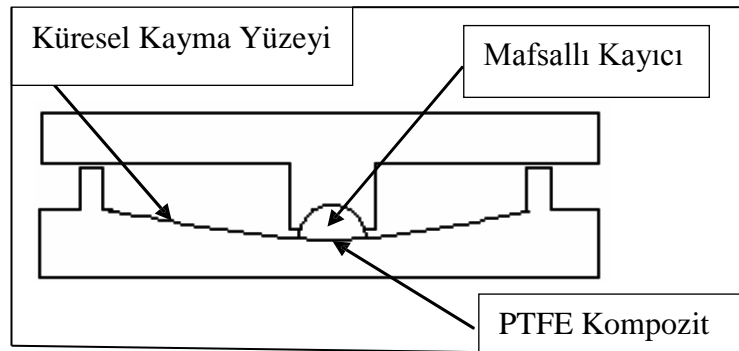
$$\beta_{eff} = \frac{4Q\left(D - \frac{Q}{9K_2}\right)}{2\pi(K_2D + Q)D} \quad (2.38)$$

### 3.4.2. Kaymaya Dayalı İzolatörler

Kayıcı mesnetli izolatörler, yer hareketi sonucu açığa çıkan enerjiyi sürtünmeyle sönmülendirme prensibi esas alınarak yapılan modellerdir. Bu sistemin teorik analizlerinde Coulomb sürtünme kabulü kullanılır.

Ancak bu yaklaşım gerçek davranışı tam olarak ifade edemez. En yaygın kullanılan kayma yüzeyi malzemeleri paslanmaz çelik üzerine teflondur. Sistemin sürtünme karakteristikleri sıcaklığa, hıza, yüzey temizliğine bağlıdır (Naeim ve Kelly 1999).

Sürtünmeli sarkaç izolatörler, Elastomerik izolatörlerin sahip olduğu avantajların hepsine sahip olup, kauçuk izolatörlerde dezavantaj olarak gösterilen durumları içermemektedir.



**Şekil 3.6 :** Sürtünmeli sarkaç mesnedi kesiti

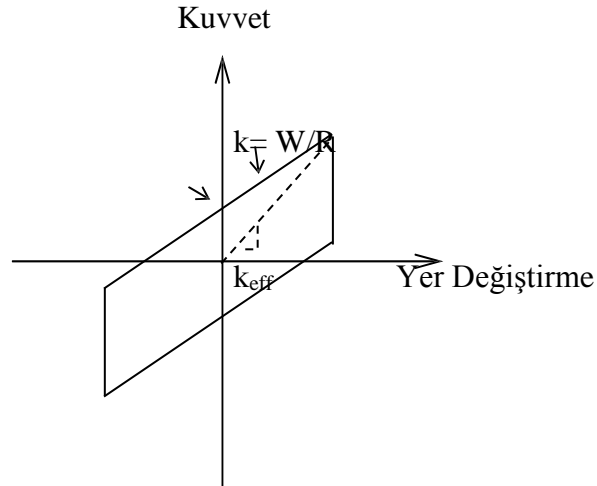
T, sistemin periyodu; R yarıçap ve g yer çekimi ivmesi olmak üzere şu şekilde ifade edilir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (2.39)$$

Periyot binanın ağırlığından bağımsızdır.



Şekil 3.7 : Sürtülmeli sarkaç izolatör



Şekil 3.8 : Sürtülmeli sarkaç sisteminin kuvvet-yer değiştirme ilişkisi

### 3.4.3. Yay Tipi İzolatörler

#### 3.4.3.1. Gerb İzolatörleri

Yayların en büyük özelliği uzaysal (üç boyutlu) hareket yapabilme yeteneğidir ve bu sistemler viskoz sönümleyiciler ile beraber kullanılırlar. Yaylı sistemlerin diğer bir özelliği ise ses yalıtımı sağlamasıdır. Tarihi ve değerli eserlerin korunduğu müzelerde benzer uygulamalar yapılmaktadır.

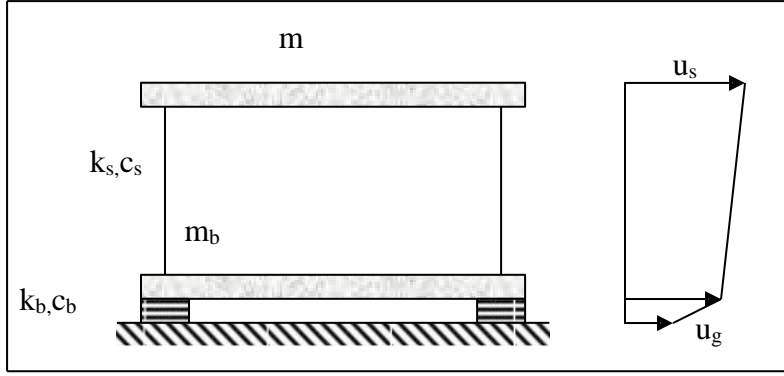


**Şekil 3.9 :** Gerb izolatörleri

Viskoz sönümleyiciler ise silikon bazlı yağ gibi viskoz bir sıvı içeren kapalı bir silindir ve bunun içinde hareket eden bir pistondan oluşmaktadır. Piston çubuğu, ucunda küçük delikler bulunan bir başlığa bağlıdır. Piston, silindirin içinde hareket ederken viskoz sıvı piston başının üzerinde bulunan deliklerden geçer. Sıvının bu hareketi sırasında oluşan sürtünme ile enerji sönümlemesi gerçekleşmektedir.

### **3.5. Doğrusal Sismik Yalıtım Sistemlerinin Davranışı**

Sismik yalıtımın yapı üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi için  $m$  kütlesine,  $k_s$  rijitliğine ve  $c_s$  viskoz sönümüne sahip basit tek katlı bir yapı ele alınmıştır. Bu yapı,  $k_b$  rijitliğinde doğrusal bir yaydan ve  $c_b$  viskoz sönümüne sahip bir amortisörden oluşan doğrusal davranan bir sismik yalıtım sisteminin üzerine oturtulmuştur. Temelplağının kütlesi  $m_b$  ile gösterilmiştir. Yapı ve yalıtım sistemi, Şekil 3.10'da 2 serbestlik dereceli bir model ile temsil edilmiştir. Yalıtım sistemi tabanının,  $m_b$  ve  $m$  kütlelerinin mutlak yer değiştirmeleri sırasıyla  $u_g$ ,  $u_b$  ve  $u_s$  ile gösterilmiştir. Söz konusu örnekte sismik yalıtım sisteminin davranışa etkisinin gösterilmesinde (Naeim ve Kelly, 1999) ve (Filiatrault, 2001) kaynaklarında verilen çözüm izlenmiştir.



**Şekil 3.10:** Doğrusal sismik yalıtımlı yapı (Naeim ve Kelly, 1999)

Kütlelerin hareket denklemleri (2.40) ve (2.41) ifadelerinde verilmiştir.

$$m\ddot{u}_s = -c_s(\dot{u}_s - \dot{u}_b) - k_s(u_s - u_b) \quad (2.40)$$

$$m\ddot{u}_s + m_b\ddot{u}_b = -c_b(\dot{u}_b - \dot{u}_g) - k_b(u_b - u_g) \quad (2.41)$$

Hareket denklemleri,  $v_s$  (2.42a) ve  $v_b$  (2.42b) görelî yer değiştirmeleri cinsinden yeniden yazılması durumunda (2.43) ve (2.44) ifadelerinde verilen hali alır.

$$v_s = u_s - u_b \quad (2.42a)$$

$$v_b = u_b - u_g \quad (2.42b)$$

$$m\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_s\dot{v}_s + k_s v_s = -m\ddot{u}_g \quad (2.43)$$

$$(m + m_b)\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b)\ddot{u}_g \quad (2.44)$$

Yapı ve temel arasındaki görelî yer değiştirme tutulursa ( $v_s = 0$ ), (2.44) ifadesi, (2.14)'de verilen ve kütlesi  $M_T$  ( $M_T = m + m_b$ ) olan sismik yalıtımlı tek serbestlik dereceli sistemin hareket denkleminde dönüşür.

$$M_T\ddot{v}_b + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -M_T\ddot{u}_g \quad (2.45)$$

Benzer şekilde, temel ile yer arasındaki görelî yer değiştirme tutulursa ( $v_b = 0$ ), (2.43) ifadesi, (2.46)'de verilen sabit tabanlı tek serbestlik dereceli bir sistemin hareket denkleminde dönüşür.

$$m\ddot{v}_s + c_s\dot{v}_s + k_s v_s = -m\ddot{u}_g \quad (2.46)$$

İki serbestlik dereceli sistemin hareket denklemlerini (2.47) ifadesinde matris formunda ifade edilmiştir.

$$[m](\ddot{v}) + [c](\dot{v}) + [k](v) = -[m](r)\ddot{u}_g \quad (2.47)$$

Bu ifadede, kütle, sönüm, rijitlik ve görelî yer değıştirme matrisleri sırasıyla (2.48a), (2.48b), (2.48c), (2.48d) ifadelerinde verilmiştir. Yer hareketinin etkilediği noktayı belirten r matrisi ise (2.48e) ifadesinde verilmiştir.

$$[m] = \begin{bmatrix} M_T & m \\ m & m \end{bmatrix} \quad (2.48a)$$

$$[c] = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \quad (2.48b)$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \quad (2.48c)$$

$$(v) = \begin{pmatrix} v_b \\ v_s \end{pmatrix} \quad (2.48d)$$

$$(r) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.48e)$$

Yapının ve sismik yalıtım sisteminin özellikleri göz önünde bulundurularak, (2.47) ifadesindeki büyüklüklerin mertebeleri konusunda aşağıdaki varsayımlar yapılabilir.

$m_b < m$  olmasına karşın mertebeleri aynıdır.

$\omega_s = \sqrt{\frac{k_s}{m}} \gg \omega_b = \sqrt{\frac{k_b}{M_T}}$  olduğundan dolayı açısal frekansların karelerinin oranı

$\varepsilon = \left(\frac{\omega_b}{\omega_s}\right)^2$  nin  $10^{-2}$  mertebesinde olduğu kabul edilebilir.

Yapının viskoz sönüm oranı  $\zeta_s = \frac{c_s}{2m\omega_s}$  ve sismik yalıtım sisteminin viskoz sönüm

oranı  $\zeta_b = \frac{c_b}{2(m+m_b)\omega_b}$ ,  $\varepsilon$  mertebesinde dir.

Sistemin doğal frekansları (2.49) ifadesiyle hesaplanabilir.

$$|[k] - \omega^2[m]| = 0 \quad (2.49)$$

Karakteristik denklemin kökleri, (2.50a) ve (2.50b)'de verilmiştir.

$$\omega_1^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ (\omega_b^2 + \omega_s^2) + \sqrt{(\omega_b^2 + \omega_s^2)^2 - 4(1-\gamma)\gamma\omega_b^2\omega_s^2} \right\} \quad (2.50a)$$

$$\omega_2^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ (\omega_b^2 + \omega_s^2) - \sqrt{(\omega_b^2 + \omega_s^2)^2 - 4(1-\gamma)\gamma\omega_b^2\omega_s^2} \right\} \quad (2.50b)$$

Bu ifadede  $\gamma$ , üst yapı kütesinin toplam kütleye oranını göstermektedir.

$$\gamma = \frac{m}{m+m_b} = \frac{m}{M_T} \quad (2.51)$$

(2.50a) ve (2.50b)'nin karekök altındaki kısmı (2.52)'de yeniden yazılmıştır.

$$\sqrt{(\omega_b^2 + \omega_s^2)^2 - 4(1-\gamma)\gamma\omega_b^2\omega_s^2} = (\omega_s^2 - \omega_b^2) \sqrt{1 + 4\gamma \frac{\omega_b^2\omega_s^2}{(\omega_s^2 - \omega_b^2)}} \quad (2.52)$$

Eşitliğin sağ kısmındaki ifadenin binom serisine açılması durumunda (2.53) elde edilir.

$$\sqrt{(\omega_b^2 + \omega_s^2)^2 - 4(1-\gamma)\gamma\omega_b^2\omega_s^2} = (\omega_s^2 - \omega_b^2) \sqrt{1 + \frac{2\gamma\omega_b^2\omega_s^2}{(\omega_s^2 - \omega_b^2)^2}} \quad (2.53)$$

Denklem (2.53)'de bulunan yaklaşık sonucun sırasıyla (2.50a) ve (2.50b)'ye yerleştirilmesiyle sistemin açılmal frekansları (2.54a) ve (2.54b) ile ifade edilebilir.

$$\omega_1^2 = \frac{\omega_b^2}{(1-\gamma)} \left[ 1 - \frac{\gamma\omega_s^2}{(\omega_s^2 - \omega_b^2)} \right] \quad (2.54a)$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{(1-\gamma)} \left[ 1 + \frac{\gamma\omega_s^2}{(\omega_s^2 - \omega_b^2)} \right] \quad (2.54b)$$

Sistemin açılmal frekansları yaklaşık olarak (2.55a) ve (2.55b) ifadeleri ile hesaplanabilir.

$$\omega_1 = \omega_b \sqrt{1 - \gamma\varepsilon} \approx \omega_b \quad (2.55a)$$



$$\omega_2 = \frac{\omega_s}{\sqrt{1-\gamma}} \sqrt{1 + \frac{\gamma\omega_b^2}{\omega_s^2}} \approx \frac{\omega_s}{\sqrt{1-\gamma}} \quad (2.55b)$$

Denklem (2.55a)'da sistemin birinci modunun titreşim frekansının, üst yapının rijitliğinden fazla etkilenmediği görülmektedir. Ancak bu durum üst yapının, sismik yalıtım sistemine göre çok daha rijit olduğu koşullarda geçerlidir. Denklem (2.55b)'de ise sistemin ikinci modunun titreşim frekansının yalıtım sisteminin rijitliğinden fazla etkilenmediği görülmektedir. Buna ek olarak,  $\omega_2$ 'nin taban kütlesi  $m_b$ 'nin varlığı nedeniyle önemli önemli ölçüde artabileceği görülmektedir. Sistemin birinci mod şekli  $A^{(1)}$ , (2.56) ifadesiyle hesaplanabilir.

$$\begin{bmatrix} k_b - \omega_b^2 & -\omega_b^2 m \\ -\omega_b^2 m & k_s - \omega_b^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} A_1^{(1)} \\ A_2^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.56)$$

$A_1^{(1)}=1$  olarak alınır;

$$A_2^{(1)} = \frac{\omega_b^2}{k - \omega_b^2 m} = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2 - \omega_b^2} = \frac{1}{\frac{\omega_s^2}{\omega_b^2} - 1} = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \approx \varepsilon \quad (2.57)$$

Birinci mod şekli, (2.58) ile ifade edilir.

$$A^1 = \begin{pmatrix} 1 \\ \varepsilon \end{pmatrix} \quad (2.58)$$

Benzer şekilde, ikinci mod şekli,  $A^{(2)}$ , (2.59) ile elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} k_b - \frac{\omega_s^2}{1-\gamma} M_T & -\frac{\omega_s^2}{1-\gamma} m \\ -\frac{\omega_s^2}{1-\gamma} m & k_s - \frac{\omega_s^2}{1-\gamma} m \end{bmatrix} \begin{pmatrix} A_1^{(2)} \\ A_2^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.59)$$

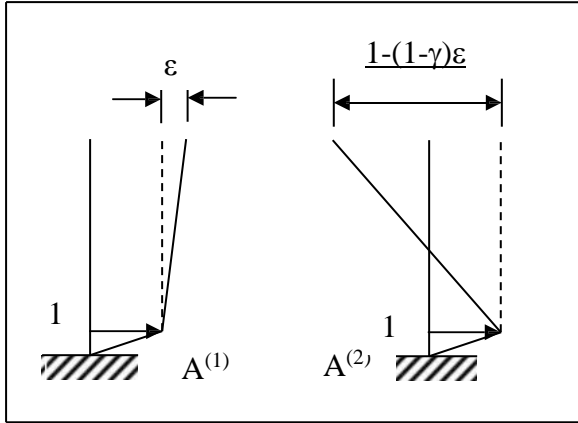
$A_1^{(2)}=1$  alınır;

$$A_2^{(2)} = \frac{k_b - \frac{\omega_s^2}{1-\gamma} M_T}{\frac{\omega_s^2}{1-\gamma} m} = -\left(\frac{1-(1-\gamma)\varepsilon}{\gamma}\right) \quad (2.60)$$

İkinci mod şekli (2.61) ile ifade edilir.

$$A^2 = \begin{pmatrix} 1 \\ -\frac{1-(1-\gamma)\varepsilon}{\gamma} \end{pmatrix} \quad (2.61)$$

Sismik yalıtımlı yapının her iki mod şekli Şekil 2.17’de gösterilmektedir.



**Şekil 3.11:** Sismik yalıtımlı tek katlı bir yapının mod şekilleri (Filiatrault,2001)

Görelî yer değiştirmelerin mod şekilleri göz önünde tutularak yeniden yazılmasıyla (2.62a) ve (2.62b) elde edilir.

$$v_b(t) = u_1(t)A_1^{(1)} + u_2(t)A_1^{(2)} \quad (2.62a)$$

$$v_s(t) = u_1(t)A_2^{(1)} + u_2(t)A_2^{(2)} \quad (2.62b)$$

Sistemin modal hareket denklemleri (2.63a) ve (2.63b) ifadelerinde verilmiştir.

$$M_1\ddot{u}_1 + C_1\dot{u}_1 + K_1u_1 = P_1(t) \quad (2.63a)$$

$$M_2\ddot{u}_2 + C_2\dot{u}_2 + K_2u_2 = P_2(t) \quad (2.63b)$$

Burada;

$$\begin{aligned} M_1 &= (A^{(1)})^T [m] (A^{(1)}) & M_2 &= (A^{(2)})^T [m] (A^{(2)}) \\ C_1 &= (A^{(1)})^T [c] (A^{(1)}) & C_2 &= (A^{(2)})^T [c] (A^{(2)}) \end{aligned} \quad (2.64)$$

$$K_1 = (A^{(1)})^T [k] (A^{(1)}) \quad K_2 = (A^{(2)})^T [k] (A^{(2)})$$

$$P_1 = -(A^{(1)})^T [m] (r) \ddot{u}_g \quad P_2 = -(A^{(2)})^T [m] (r) \ddot{u}_g$$

Modal hareket denklemleri  $\zeta_1$  ve  $\zeta_2$  modal sönüm oranları,  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  modal katkı oranları cinsinden yeniden yazılırsa (2.65a) ve (2.65b) ifadeleri elde edilir.

$$\ddot{u}_1 + 2\zeta_1\omega_1\dot{u}_1 + \omega_1^2u_1 = -\alpha_1\ddot{u}_g \quad (2.65a)$$

$$\ddot{u}_2 + 2\zeta_2\omega_2\dot{u}_2 + \omega_2^2u_2 = -\alpha_2\ddot{u}_g \quad (2.65b)$$

Burada;

$$\zeta_1 = \frac{c_1}{2\omega_1M_1} \quad \zeta_2 = \frac{c_2}{2\omega_2M_2}$$

$$\alpha_1 = \frac{-(A^{(1)})^T[m](r)}{M_1} \quad \alpha_2 = \frac{-(A^{(2)})^T[m](r)}{M_2}$$

Denklem (2.58), (2.66)'de yerine konulursa  $\alpha_1$  modal katkı oranı (2.67) ile ifade edilebilir.

$$\alpha_1 = \frac{\begin{pmatrix} 1 & \varepsilon \\ m & m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_T & m \\ m & m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} 1 & \varepsilon \\ m & m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_T & m \\ m & m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \varepsilon \end{pmatrix}} = \frac{M_T+m\varepsilon}{M_T+2m\varepsilon+m\varepsilon^2} \quad (2.67)$$

$\varepsilon^2$ 'li terim ihmal edilirse, birinci modun katkı oranı yaklaşık olarak (2.68) ile hesaplanabilir.

$$\alpha_1 = \frac{M_T+m\varepsilon}{M_T+2m\varepsilon} \approx 1 + \gamma\varepsilon \quad (2.68)$$

Birinci modun modal kütlesi  $M_1^*$ , (2.69) ile yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$M_1^* = \alpha_1^2 M_1 = ((1 - \gamma\varepsilon)^2 (M_T + 2m\varepsilon + m\varepsilon^2)) \approx M_T \quad (2.69)$$

Aynı işlemleri ikinci mod için de tekrarlanırsa, ikinci modun katkı oranı ve modal kütlesi sırasıyla (2.70) ve (2.71) ile ifade edilebilir.

$$\alpha_2 = \gamma\varepsilon \quad (2.70)$$

$$M_2^* = M_T \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma} \quad (2.71)$$

Bu sonuçlardan, sismik yalıtım sisteminin neden etkili olduğu görülmektedir. Yapısal deformasyonların yoğun olduğu ikinci modun katılım oranı,  $\varepsilon$  mertebesindedir. Dolayısıyla,  $\omega_b$  ve  $\omega_s$  doğal frekansların birbirinden ayrık olduğu sürece oldukça

küçüktür. Buna ek olarak, ikinci modun frekansı, (2.55b)'den de görüleceği gibi sabit tabanlı frekanstan daha yüksek bir değer alacaktır.

Model katılım oranının çok küçük olmasından dolayı, ikinci mod deprem girdisine neredeyse ortogondur. (2.64)'de  $A^{(2)}$  ve  $(r)$  yerlerine koyulursa (2.72) elde edilir.

$$P_2(t) = -(A^{(2)})^T [m](r)\ddot{u}_g(t) \quad (2.72)$$

$(A^{(1)})^T = (1 \ \varepsilon)$  ve  $(r)^T = (1 \ 0)$  olduğu ve  $\varepsilon$ 'nin  $10^{-2}$  mertebesinde olduğu göz önünde bulundurulursa  $(r)$  ve  $(A^{(1)})$ 'in birbirine neredeyse eşit olduğu (2.73) ifadesinde görülebilir.

$$(r) = (A^{(1)}) \quad (2.73)$$

Mod şekillerinin ortogonallik özellikleri kullanılırsa (2.73),  $P_2(t)$ 'nin neredeyse sıfıra eşit olduğu görülebilir.

$$(A^{(2)})^T [m](A^{(1)}) = 0 \approx (A^{(2)})^T [m](r) \quad (2.74)$$

$$P_2(t) \approx 0 \quad (2.75)$$

(2.75) ifadesinden sismik yalıtım sisteminin sağladığı bu ortogonallik özelliği nedeniyle enerjinin geri yansıtıldığı görülebilir. Birinci modun sönüm oranı (2.76) ifadesinde verilmiştir.

$$\zeta_1 = \frac{(A^{(1)})^T [c](A^{(1)})}{2\omega_1 M_1} = \frac{c_b + c_s \varepsilon^2}{(M_T + 2m\varepsilon + m\varepsilon^2)2\omega_b \sqrt{1-\gamma\varepsilon}} \quad (2.76)$$

$\varepsilon^2$ 'li terim ihmal edilirse, (2.76) ifadesi (2.46)'ya dönüşür.

$$\zeta_1 = \frac{\zeta_b(1-2\gamma\varepsilon)}{\sqrt{1-\gamma\varepsilon}} = \zeta_b \left(1 - \frac{3}{2}\gamma\varepsilon\right) \quad (2.77)$$

İkinci modun modal sönüm oranı da benzer şekilde elde edilebilir.

$$\zeta_2 = \frac{(A^{(2)})^T [c](A^{(2)})}{2\omega_2 M_2} = \frac{\left(1 - \frac{1-(1-\gamma)\varepsilon}{\gamma}\right) \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \left(1 - \frac{1-(1-\gamma)\varepsilon}{\gamma}\right)}{2\omega_2 \frac{\sqrt{1+\gamma\varepsilon}}{\sqrt{1-\gamma}} M_T \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma}} \quad (2.78)$$

Gerekli olan sadeleştirmeler yapılırsa, (2.79) ifadesi elde edilir.

$$\zeta_2 = \frac{\zeta_s}{\sqrt{1-\gamma}} + \frac{\gamma\zeta_b\sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{1-\gamma}} \quad (2.79)$$

Sismik yalıtım sisteminin yer değiştirmesine karşılık gelen birinci modun modal sönüm oranının neredeyse yalıtım sisteminin sönüm oranına eşit olduğu (2.75) ifadesinden görülmektedir.

Buna ek olarak (2.48) ifadesi incelendiğinde, ikinci modun modal sönüm oranının, sismik yalıtım sistemi tarafından  $\sqrt{\varepsilon}$  mertebesinde arttırıldığı görülmektedir. Özellikle,  $\zeta_s$ 'nin çok küçük olması durumunda  $\zeta_b\sqrt{\varepsilon}$  çarpanı ikinci modun modal sönüm oranına önemli oranda katkıda bulunabilmektedir.

### 3.6. Sismik İzolasyon İçin Çözüm Yöntemi

#### 3.6.1. Uniform Building Code 1997 (UBC97)

Sismik yalıtım tasarımında en çok kullanılan standartların başında gelmektedir. Bu yönetmelikte yer alan minimum koşullar, statik analiz sonucunda elde edilen kuvvet ve deplasmanlardır. Bu nedenle statik analiz ön tasarım için gereklidir. Yönetmelikte belirtilen hususlardan biri analiz tipinin belirtilmesidir. Zayıf zemin tipleri için, yapının maksimum deprem yükü altında periyodu 3 saniyeden büyük ise, spektral analiz şart koşulmuştur. Aynı zamanda spektral analiz, üst yapı yatayda ve düşeyde düzensiz ise, dört kattan veya 19.8 m'den yüksek ise de zorunlu tutulmaktadır.

- a. Tasarım Depremi (DBE): 50 yıl içerisinde meydana gelen ve aşılma ihtimalinin %10 olduğu depremlerdir. 475 yılda bir oluşan deprem periyotuna tekabül etmektedir.
- b. Efektif Maksimum Tasarım Depremi (MCE): Yapı mahallinde beklenen maksimum yer sarsıntısıdır. 1000 yıllık periyotlarda, 100 yıllık zaman dilimi içerisinde aşılma ihtimalinin %10 olduğu depremlerdir.
- c. Efektif Sönüm ( $\beta$ ): İzolatörlerden enerji devri süresince, sistemin viskoz sönümleyicilere eşit değeridir.
- d. Efektif Rijitlik (k): İzolasyon sisteminde, göz önünde bulundurulmuş yatay kuvvetin neden olduğu yer değiştirme oranı olan değeridir.

- e. Tasarım Deplasmanı ( $D_D$ ): İzolasyon sisteminin tasarımında ihtiyaç duyulan, ikinci mertebeden dönme ve hareket süresince, sistemde oluşan ek deplasmanlar haricinde, temel deprem dizaynında kullanılan yatay deplasmanlardır.
- f. Maksimum Toplam Deplasman ( $D_M$ ): Olması beklenen en büyük depremde, ikinci mertebeden dönmeve hareketler sonucu meydana gelen yatay deplasmanlar haricinde, burulmalarda dikkate alınarak hesaplanan yatay deplasmandır.
- g. Toplam Tasarım Deplasmanı ( $D_{TD}$ ): İzolasyon sisteminin tasarımında kullanılan temel deplasmandır
- h. Tasarım Titreşim Periyodu ( $T_D$ ): Tasarım deplasmanında sistemin periyotudur. Tasarımda kullanılan efektif periyottur.
- i. Maksimum Efektif Periyot ( $T_M$ ): Sistemin maksimum deplasmanında kullanılan periyottur.

### 3.6.2. Uniform Building Code (UBC-97) Hesap İlkeleri

Uniform Building Code (UBC-97), zemin sınıfları için“sismik zemin faktörü” , “yerel sismik zemin kategorileri” , “sismik kaynak tipi ”belirlenmiştir. Göz önünde bulundurulan sismik kaynak tipi, üç farklı deprem tipi için aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

**Tablo 3.1:** Sismik kaynak tipi

Sismik Kaynak Tipi	Magnitüd (M)	Kayma Oranı (SR)
A	$M \geq 7$	$SR \geq 5$ mm
B	$6,5 < M < 7$	$2 < SR < 5$ mm
C	$M < 6,5$	$SR < 2$ mm

**Tablo 3.2:** Sismik zemin katsayısı (Z)

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0,075	0,15	0,2	0,3	0,4

**Tablo 3.3:** Zemin tipleri

Zemin Tipi	Zemin Tipi Tanımlaması
S <sub>A</sub>	Sert Kaya
S <sub>B</sub>	Kaya
S <sub>C</sub>	Sıkı Kum ve Yumuşak Kaya
S <sub>D</sub>	Kum
S <sub>E</sub>	Yumuşak Kum Profili
S <sub>F</sub>	-

**Tablo 3.4a:** Sismik katsayılar (C<sub>A</sub>)

Zemin Tipi	Sismik Zemin Katsayısı Z				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,20	Z=0,30	Z=0,40
S <sub>A</sub>	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32N <sub>A</sub>
S <sub>B</sub>	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40N <sub>A</sub>
S <sub>C</sub>	0,09	0,18	0,20	0,30	0,40N <sub>A</sub>
S <sub>D</sub>	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44N <sub>A</sub>
S <sub>E</sub>	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36N <sub>A</sub>
S <sub>F</sub>	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir.				

**Tablo 3.4b:** Sismik katsayılar ( $C_V$ )

Zemin Tipi	Sismik Zemin Katsayısı Z				
	Z=0,075	Z=0,15	Z=0,20	Z=0,30	Z=0,40
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,32N_V$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	$0,40N_V$
$S_C$	0,13	0,25	0,32	0,46	$0,56N_V$
$S_D$	0,18	0,32	0,40	0,54	$0,64N_V$
$S_E$	0,26	0,50	0,64	0,84	$0,96N_V$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucunda karar verilir.				

**Tablo 3.5a:** Faya yakınlık faktörü ( $N_A$ )

Sismik Fay Tipi	Sismik Faydan En Yakın Uzaklık			
	$\leq 2\text{km}$	5 km	10 km	$\geq 15\text{ km}$
A	1,5	1,2	1,2	1
B	1,3	1	1	1
C	1	1	1	1



**Tablo 3.5b:** Faya yakınlık faktörü ( $N_V$ )

Sismik Fay Tipi	Sismik Faydan En Yakın Uzaklık			
	$\leq 2$ km	5 km	10 km	$\geq 15$ km
A	2	1,6	1,2	1
B	1,6	1,2	1	1
C	1	1	1	1

**Tablo 3.6:** Sönüm azaltma katsayısı

Sönüm azaltma Katsayısı	Kritik Sönüm Oranı ( $\beta$ )						
	2 %	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
B	0	1	1,2	1,5	1,7	1,9	2

Tasarım depremi sarsıntı şiddeti :  $Z.N_V$

Olabilecek maksimum deprem katsayısı :  $M_M$

**Tablo 3.7:** Meydana gelebilecek maksimum deprem katsayısı ( $M_M$ )

Tasarım Depremi Sarsıntı Şiddeti ( $Z.N_V$ )	Olabilecek Maksimum Deprem Katsayısı ( $M_M$ )
0,075	2,67
0,15	2,0
0,20	1,75
0,30	1,50
0,40	1,25
$\geq 0,50$	1,20

$$\alpha = M_M.Z.N_A \rightarrow C_{AM} = 1,1.\alpha \quad (2.80)$$

$$\alpha' = M_M.Z.N_V \rightarrow C_{VM} = 1,6.\alpha' \quad (2.81)$$

Uniform Building Code 1997'da (UBC 97) yalıtımlı sistemin temel titreşim periyodunun 2,0 saniye ile 3,0 saniye arasında olması istenir.

Minimum deplasman UBC 97' ye göre rijitlik merkezi göz önüne alınarak şöyle hesaplanır.

$$D_D = \frac{gC_{VD} T_D}{4\pi^2 B_D} \quad (2.82)$$

Maksimum deplasman UBC 97'ye göre rijitlik merkezi göz önüne alınarak şöyle hesaplanır.

$$D_M = \frac{gC_{VM} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (2.83)$$

$B_D$  sönüm azaltma katsayısı şu şekilde de bulunur.

$$\frac{1}{B_D} = 0,25 (1 - \ln\beta) \quad (2.84)$$

$\beta$  izolatörün efektif sönüm oranıdır.

Sürtünmeli sarkaç izolatörlerde ise efektif sönüm şu denklem ile verilir.

$$\beta = \frac{2}{\pi} \left( \frac{\mu}{\frac{\mu + D_D}{R}} \right) \quad (2.85)$$

Efektif rijitlik ise şu şekilde bulunur.

$$K_e = \mu \frac{W_S}{D_D} + \frac{W_S}{R} \quad (2.86)$$

**Tablo 3.8:** Sismik zemin katsayısı ( $C_{AM}$ )

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti $M_M ZN_A$				
	$M_M ZN_A=0,075$	$M_M ZN_A=0,15$	$M_M ZN_A=0,2$	$M_M ZN_A=0,3$	$M_M ZN_A=0,4$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,8 M_M ZN_A$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_A$
$S_C$	0,09	0,18	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_A$
$S_D$	0,12	0,22	0,28	0,36	$1,1 M_M ZN_A$
$S_E$	0,19	0,30	0,34	0,36	$0,9 M_M ZN_A$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucu karar verilir.				

**Tablo 3.9:** Sismik zemin katsayısı ( $C_{VM}$ )

Zemin Tipi	Maksimum Deprem Sarsıntı Şiddeti $M_M ZN_V$				
	$M_M ZN_V=0,075$	$M_M ZN_V=0,15$	$M_M ZN_V=0,2$	$M_M ZN_V=0,3$	$M_M ZN_V=0,4$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,8 M_M ZN_V$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	$1,0 M_M ZN_V$
$S_C$	0,13	0,25	0,32	0,45	$1,4 M_M ZN_V$
$S_D$	0,18	0,32	0,40	0,54	$1,6 M_M ZN_V$
$S_E$	0,26	0,50	0,64	0,84	$2,4 M_M ZN_V$
$S_F$	Bu tür zeminlerde, sismik zemin katsayısına geoteknik araştırmalar ve dinamik analiz sonucu karar verilir.				

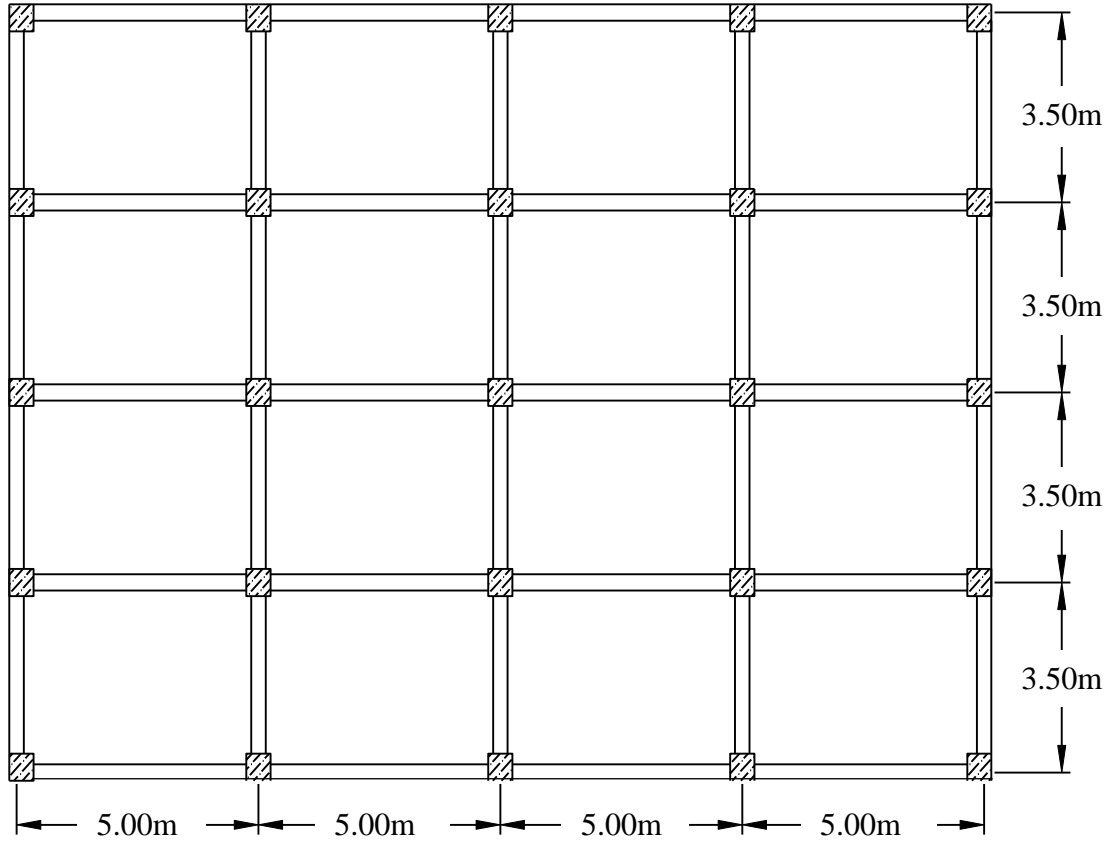
#### 4. CSI SAP2000 YAPISAL ANALİZ PROGRAMI İLE 4 KATLI SABİT TABANLI VE TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME ÇERÇEVE SİSTEMİN MODELLENMESİ, LİNEER VE LİNEER OLMAYAN HESABI

Kat planı ve şematik kesiti şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilen 20x14 m<sup>2</sup> oturma alanına sahip 4 katlı betonarme yapının (zemin kat dahil), beton cinsi C25, donatı sınıfı S420 seçilmiştir. Tüm katlardaki kirişler 30x60 cm<sup>2</sup> boyutundadır. Döşeme kalınlıkları 15 cm’dir ve her katta rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Tüm kolonlar 50x50 cm boyutundadır ve önce x sonra y eksenine doğrultusunda yazılmıştır. Yapının hem sabit tabanlı modeli lineer olarak çözülmüş hem de sismik izolatörlü olarak zaman-tanım alanında lineer ve lineer olmayan çözümü yapılmıştır. Sismik izolatörlü modellerde düşük sönümlü kauçuk izolatörün lineer çözümü, sürtünmeli sarkaç izolatörün ise lineer olmayan çözümü yapılmıştır. Sismik izolatörlü sistemlerde tasarım periyodu hem T=2.00 saniye hem de T=3.50 saniye alınarak hesaplar yapılmış ve Uniform Building Code 1997’ye göre tasarlanmıştır. Kocaeli (1999), Chi-Chi (1999) ve Imperial Valley (1979) depremleri için hem yakın fay hem de uzak fay kayıtları dikkate alınarak yer hareketi şiddet parametrelerinin, maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri, maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler ve maksimum mutlak kat ivmeleri üzerinde yarattığı değişim gözlenmiş ve tablolar ile karşılaştırmalı yorumlar yapılmıştır. Deprem ivme kayıtları PEER veri bankasından alınmıştır. Normal katlarda, sadece dış çevre kirişleri üzerinde 6.00 kN/m lik duvar yükü vardır. Çatı katı kirişleri üzerinde duvar yükü yoktur.

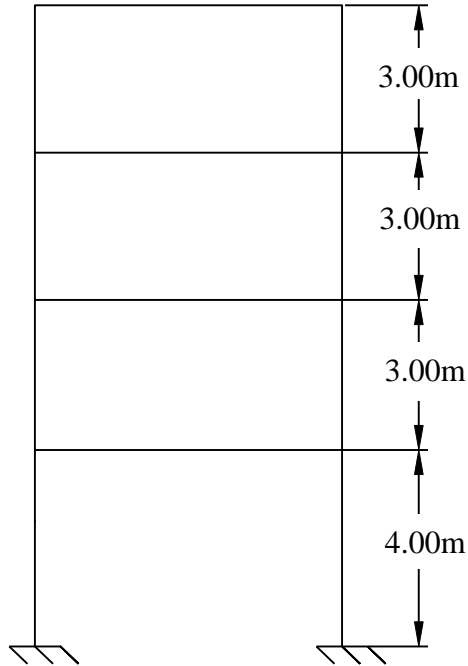
**Tablo 4.1:** Döşemenin kendi ağırlığı dışında kalan yükler

Kat	Sabit yük (kN/m <sup>2</sup> )	Hareketli Yük (kN/m <sup>2</sup> )
Çatı	1.50	1.00
Normal	1.50	2.00

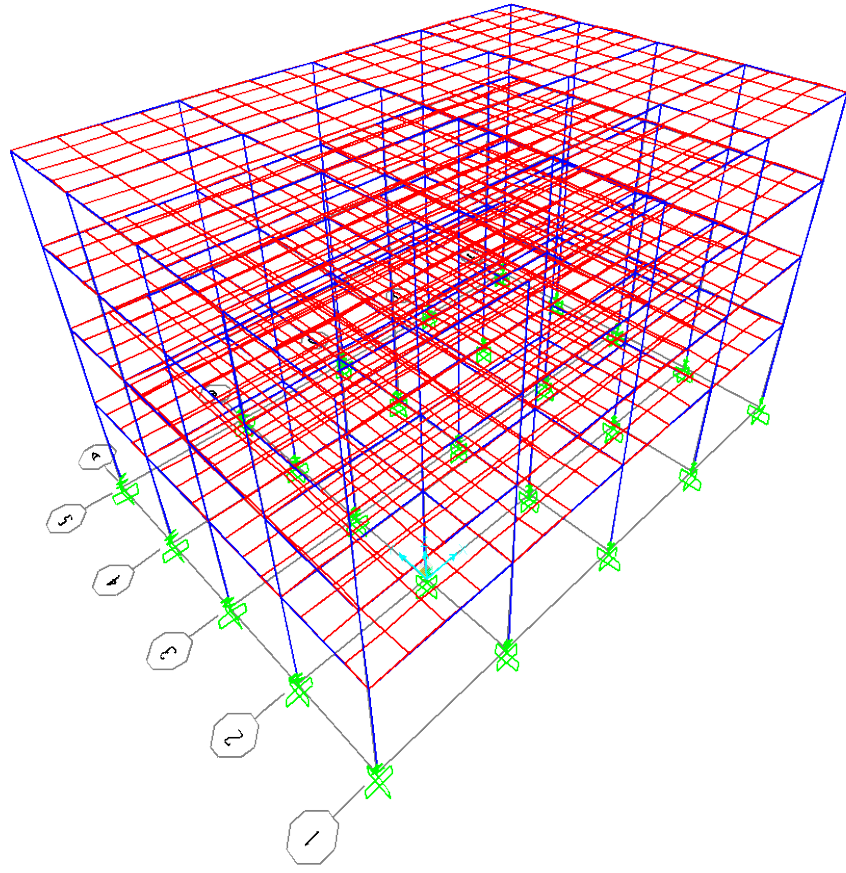
#### 4.1. Modelin Özellikleri



Şekil 4.1: Betonarme binanın kalıp planı



Şekil 4.2: Betonarme binanın şematik kesiti



Şekil 4.3: Sap 2000 programında 4 katlı sabit tabanlı bina modeli

**Tablo 4.2:** Yer hareketi özellikleri

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	PGA (m/sn <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	PGD (cm)	PGV/PGA (s)	M <sub>w</sub>	Faya uzaklık (km)
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0.10g	43.96	51,86	0.43	7.6	9.50
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0.17g	18,98	19,90	0.11	7.6	48.68
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	0.16g	22.36	11,97	0.138	7.8	4.8
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0.16g	15,34	15,37	0.096	7.8	64.5
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	0.16g	36,6	25,7	0.22	6.9	8.5
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0.147g	9.32	2,98	0.064	6.9	32.6

#### 4.2. Sabit Tabanlı Yapının Hesabı

Yapı toplam ağırlığı  $W=G+0,3Q$  olarak hesaplanmaktadır.  $G=12740$  kN ve  $Q=1092$  kN olarak hesaplandığından,  $W=13067$  kN olarak karşımıza çıkmaktadır. Öncelikle yapının lineer modal analizini yaptığımızda yapının 1.modunun  $T = 0,457$  saniye civarında olduğu görülmektedir. Yapının sabit tabanlı modelinin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında lineer çözümünü sonucunda maksimum deplasman, kesme kuvveti ve kat ivmelerinin değişimi aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

**Tablo 4.3:** Sabit tabanlı sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Yatay Yer Değiştirmeler (m)			
			Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0,004	0,007	0,009	0,01
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0,007	0,012	0,016	0,017
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	0,007	0,013	0,017	0,019
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0,009	0,015	0,019	0,216
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	0,005	0,009	0,012	0,013
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0,006	0,01	0,013	0,015

**Tablo 4.4:** Sabit tabanlı sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat Kesme Kuvvetleri (kN)			
			Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	2184	1772	1224	578
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	3579	2887	1925	1004
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	3547	3200	2386	1175
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	4317	3511	2414	1136
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	2640	2239	1613	792
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	2916	2541	1810	846



**Tablo 4.5:** Sabit tabanlı sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat ivmeleri

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat İvmeleri (m/sn <sup>2</sup> )			
			Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	1,15	1,59	1,81	1,90
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	1,98	2,81	2,97	3,46
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	1,64	2,35	3,39	3,96
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	2,35	3,14	3,58	3,77
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	1,33	1,95	2,36	2,73
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	1,43	2,16	2,91	2,98

#### 4.3. Elastomerik (Kauçuk) İzolatörlü Yapının Hesabı

Kauçuk izolatörlü sistemin lineer tasarımı, hedef periyot  $T_D=2.00$  saniye göz önünde bulundurularak hesaplanacaktır. İzolatörlerin çözümü Sap 2000 yapısal analiz programı kullanılarak yapılmıştır. İzolatörlerin sönüm oranı  $\beta=\%5$  olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla denklem 2.84'ten sönüm azaltma katsayısı  $B_D=1$  olmaktadır. İzolatörlerin düşey rijitliği  $k_v=1500000$  kN/m'dir. Kayma şekil değiştirmesi  $\gamma =1,5$  ve kayma modülü  $G=500$  kN/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Sabit yük  $G=12537$  kN olarak bulunmuş, hareketli yük ise  $Q=1092$  kN olduğundan tasarımda göz önüne alınacak ağırlık  $W=G+0,3Q=12864$  kN olarak bulunmuştur. Sismik zemin katsayısı  $Z=0,4$  ve sismik kaynak tipi A, zemin tipi  $S_B$ , sismik faya en yakın uzaklık 5 km kabul edildiğinden  $N_V=1,6$  olarak tablolardan alındığında  $C_{VD}= 0,64$  olmaktadır.

(2.26) eşitliği kullanılarak  $T_D=2.00$  saniye olarak kabul edildiğinden;

$$2.00 = 2\pi \sqrt{\frac{12864}{k_{toplam} 9,81}}$$

Buradan  $k_{toplam}= 12942$  kN/m

$$\text{Tek bir izolatör için } k_D = \frac{12942}{25} = 517,68 \text{ kN/m}$$

(2.82) eşitliği kullanılarak sistemin tasarımında kullanılacak yatay deplasman

$D_D= 31$  cm olacaktır.

Buradan hareketle eşitlik 2.3'de yerine koyarsak elastomerik izolatörün kalınlığı;

$t_r= 20$  cm olarak bulunur. Bunun sonucunda izolatörün en kesit alanı da eşitlik 2.2'yi kullanarak hesaplanır. Buradan  $A=0,207$  m<sup>2</sup> olarak bulunur. Buradan da izolatör çapı  $\Phi=51$  cm olduğu görülür.  $\Phi=52$  cm alırsak,  $A=0,212$  m<sup>2</sup>

Gerçek yatay tasarım rijitliği ise  $A=0,212$ m<sup>2</sup> eşitlik 2.2'de yerine koyarsak;

$$k_D=530 \text{ kN/m}$$

Toplam rijitlik  $k_{toplam}=530*25=13250$  kN/m

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{12864}{13250*9,81}}=1,97 \text{ sn}$$

Hesaplanan tasarım periyodu başlangıçta seçilen tasarım periyotuna çok yakındır. Bu yaklaşım yeterlidir.

**Tablo 4.6:** Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$  sn)

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Yatay Yer Değiştirmeler (m)				
			İzolatör Seviyesi	Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0,1	0,109	0,112	0,113	0,113
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0,06	0,065	0,067	0,068	0,068
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	0,163	0,179	0,183	0,185	0,186
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0,026	0,028	0,029	0,029	0,03
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	0,137	0,15	0,153	0,155	0,156
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0,033	0,036	0,037	0,037	0,037

**Tablo 4.7:** Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri( $T_D=2.00$  sn)

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat Kesme Kuvvetleri (kN)			
			Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	1191	967	634	295
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	717	601	404	192
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	1941	1578	1034	485
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	315	260	171	80
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	1648	1334	877	416
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	392	318	207	97

**Tablo 4.8:** Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat ivmeleri ( $T_D=2.00s_n$ )

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat İvmeleri (m/sn <sup>2</sup> )				
			İzolator Seviyesi	Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0,85	0,93	0,95	0,96	0,97
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0,58	0,59	0,59	0,60	0,62
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	1,41	1,52	1,56	1,58	1,59
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	1,25	1,29	1,30	1,31	1,32
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32

Aynı hesap adımları denklem  $T_D=3.50$  saniye göz önüne alınarak da yapılırsa;

Denklem 2.26'dan;

$$3.50 = 2\pi \sqrt{\frac{12864}{k_{toplam} 9,81}}$$

$k_{toplam}=4226$  kN/m olduğuna göre;

Tek bir izolatör için  $k_D=169,04$  kN/m

Denklem 2.82'den  $D_D=55$  cm olarak bulunur. Denklem 2.3'den  $t_f=37$  cm

Denklem 2.2'den  $A=0,185$  m<sup>2</sup> olduğuna göre izolatör çapı  $\Phi=48$  cm ;

$\Phi=50$  cm alınır. O halde  $A=0,196$  m<sup>2</sup>

Gerçek yatay tasarım rijitliği  $A=0,196$  m<sup>2</sup> denklem 2.2.'de yerine konulursa;

$k_D=264,86$  kN/m olur.

Toplam yatay rijitlik;

$$k_{\text{toplam}}=6621,62 \text{ kN/m}$$

$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{12864}{6621,62 \cdot 9,81}} = 2,80$  saniye bulunur. Hesaplanan tasarım periyodu başlangıçta seçilen tasarım periyotundan küçüktür. Bu yaklaşım yeterlidir.

**Tablo 4.9:** Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler ( $T_D=3.50$  sn)

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Yatay Yer Değiştirmeler (m)				
			İzolator Seviyesi	Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0,123	0,129	0,13	0,131	0,131
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0,043	0,045	0,046	0,046	0,046
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	0,161	0,168	0,17	0,171	0,172
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0,032	0,034	0,034	0,035	0,035
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	0,252	0,264	0,267	0,269	0,27
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0,048	0,05	0,051	0,051	0,051

**Tablo 4.10:** Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri ( $T_D=3.50$  sn)

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat Kesme Kuvvetleri (kN)			
			Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	748	605	400	193
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	263	216	152	80
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	961	783	514	239
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	197	160	106	52
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	1528	1232	810	387
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	288	232	151	70

**Tablo 4.11:** Kauçuk izolatörlü sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat ivmeleri ( $T_D=3.50s_n$ )

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat İvmeleri ( $m/s_n^2$ )				
			İzolatör Seviyesi	Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0,57	0,58	0,58	0,59	0,59
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0,25	0,23	0,22	0,22	0,24
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	0,75	0,77	0,77	0,78	0,79
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	1,18	1,20	1,20	1,20	1,21
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24

#### 4.4. Sürtünlü Sarkaç (Kayıcı) İzolatörlü Yapının Hesabı

Tasarım periyotunu  $T_D=2.00$  saniye olarak aldığımızda denklem 2.39'dan sürtünlü sarkaç mesnedin yarıçapı  $R=1$  metre olmaktadır. Sürtünme katsayısı  $\mu=0,06$  alınmıştır. Analiz yapılmadan önce izolatörlere gelen düşey yükler farklı olduğundan dolayı her bir izolatörün rijitliğini ayrı ayrı hesaplama yoluna gidilmiştir. Yapılan iterasyonlar, efektif sönüm  $\beta=\%13$  değeri seçildiğinde denklem 2.82 ve 2.85 denklemlerinin en yakın tasarım deplasman değerini vermekte olduğu bu değerinde  $D_D=0,23m$  olduğu buradan da denklem 2.86 kullanılarak her bir izolatörün ayrı ayrı efektif rijitliği hesaplanmıştır.

**Tablo 4.12:** Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$  sn)

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Yatay Yer Değiştirmeler (m)				
			İzolatör Seviyesi	Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0,585	0,585	0,585	0,585	0,585
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0,142	0,142	0,142	0,142	0,142
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033

**Tablo 4.13:** Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri ( $T_D=2.00$  sn)

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat Kesme Kuvvetleri (kN)			
			Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	985	211	56	26
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	294	72	40	40
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	294	55	47	36
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	262	75	37	40
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	530	109	46	37
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	70	31	33	33

**Tablo 4.14:** Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat ivmeleri ( $T_D=2.00$  sn)

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat İvmeleri ( $m/sn^2$ )				
			İzolator Seviyesi	Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0,06	0,057	0,054	0,057	0,06
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	0,071	0,069	0,068	0,068	0,069
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0,044	0,044	0,044	0,045	0,046
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	0,109	0,10	0,107	0,104	0,103
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0,03	0,027	0,029	0,032	0,031

Tasarım periyodu  $T_D=3.50$  saniye alınırsa, denklem 2.39'dan  $R=3$  m olmaktadır. Sütünme katsayısı  $\mu=0,06$  alınmıştır. Analiz yapılmadan önce izolatörlere gelen düşey yükler farklı olduğundan dolayı her bir izolatörün rijitliğini ayrı ayrı hesaplama yoluna gidilmiştir. Yapılan iterasyonlar, efektif sönüm  $\beta=\%30$  değeri seçildiğinde denklem 2.82 ve 2.85 denklemlerinin en yakın tasarım deplasman değerini vermekte olduğu bu değerinde  $D_D=0,31m$  olduğu buradan da her bir denklem 2.86 kullanılarak her bir izolatörün ayrı ayrı efektif rijitliği hesaplanmıştır.



**Tablo 4.15:** Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında yaptığı maksimum mutlak yatay yer değiştirmeler ( $T_D=3,50$  sn)

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Yatay Yer Değiştirmeler (m)				
			İzolator Seviyesi	Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	0,157	0,157	0,157	0,157	0,157
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0,172	0,172	0,172	0,172	0,172
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	0,326	0,326	0,326	0,326	0,326
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034

**Tablo 4.16:** Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat kesme kuvvetleri ( $T_D=3,50$  sn)

-Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat Kesme Kuvvetleri (kN)			
			Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	461	104	38	23
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	153	53	39	40
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	153	36	42	38
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	145	54	38	39
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	255	53	37	38
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	53	30	34	34

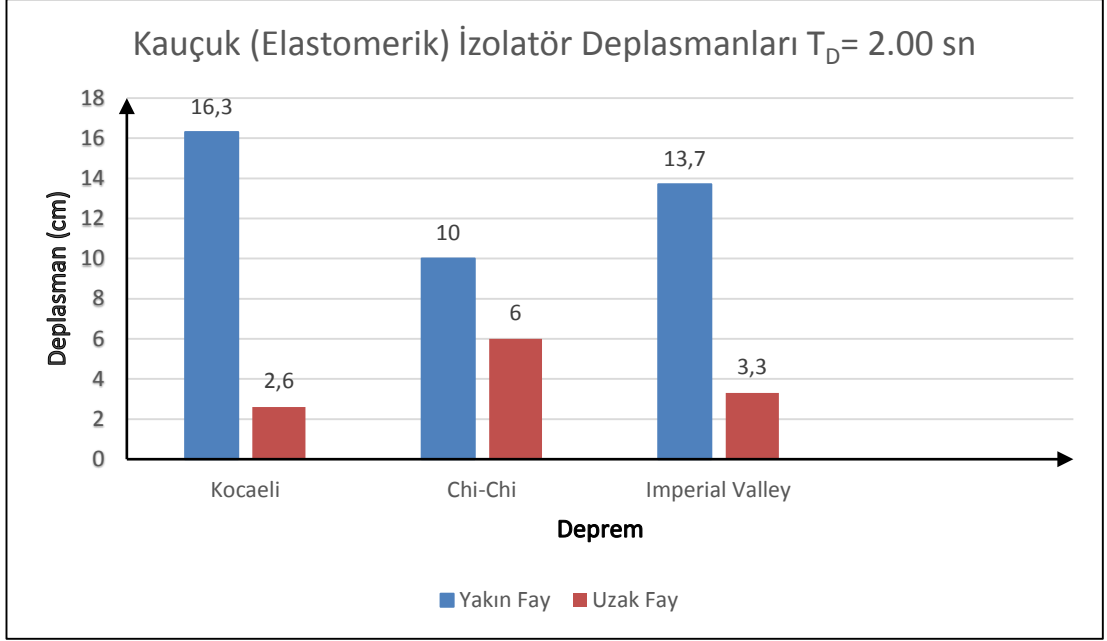
**Tablo 4.17:** Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemin Chi-Chi, Kocaeli ve Imperial Valley depremleri altında oluşan maksimum mutlak kat ivmeleri ( $T_D=3.50$  sn)

Yer Hareketi	Deprem	İstasyon	Maksimum Mutlak Kat İvmeleri ( $m/sn^2$ )				
			İzolator Seviyesi	Zemin kat	1.kat	2.kat	3. kat
Yakın fay	Chi-Chi	TCU060	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085
Uzak fay	Chi-Chi	ILA067	0,041	0,040	0,039	0,040	0,042
Yakın fay	Kocaeli	IZT180	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
Uzak fay	Kocaeli	FAT090	0,030	0,031	0,031	0,031	0,032
Yakın fay	Imperial Valley	H-BRA225	0,075	0,074	0,074	0,073	0,072
Uzak fay	Imperial Valley	H-CMP285	0,018	0,018	0,019	0,021	0,020

#### 4.5. Mevcut Modellerin Ele Alınan Deprem Yükleri Altındaki Davranışının Grafiksel Gösterimleri ve Yorumlar

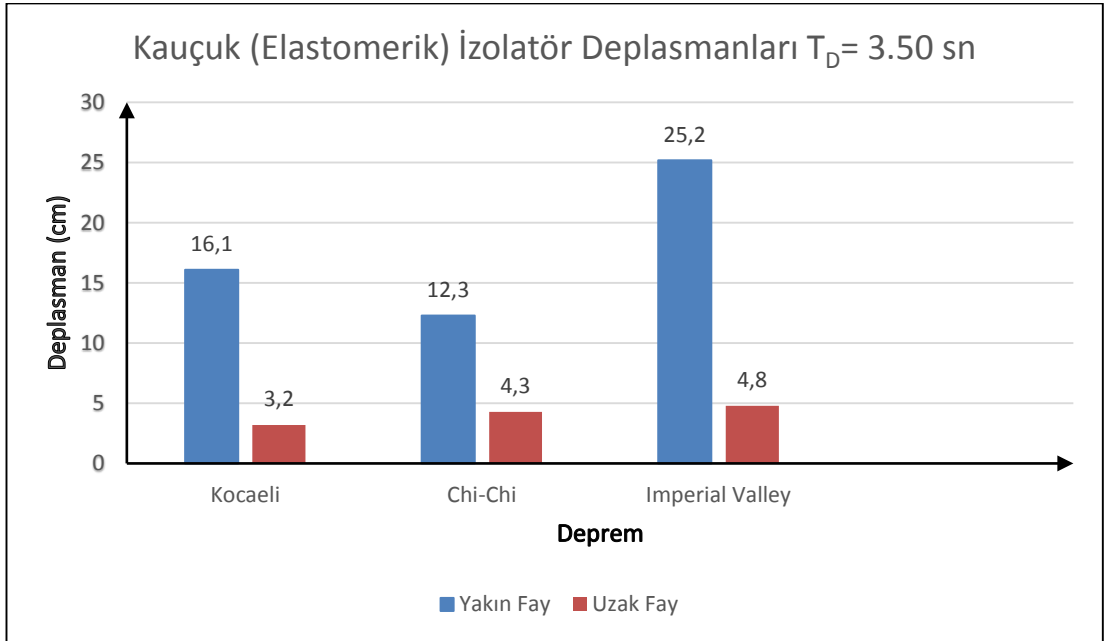
##### 4.5.1. Sismik Yalıtım Sistemi Yer Değiştirmeleri

Sismik yalıtım sistemi yer değiştirmelerinin, kullanılan deprem ivme kaydının yakın fay veya uzak fay özellikleri taşımasından oldukça etkilendiği görülmektedir. Yakın fay özelliği taşıyan deprem ivme kayıtlarının kullanıldığı analizlerde elde edilen sismik yalıtım sistemi yer değiştirmeleri genel olarak uzak fay ivme kayıtlarına göre daha yüksek değerler almaktadır (Şekil 4.4), (Şekil 4.5). Aynı depremden kaynaklanan yakın fay ve uzak fay ivme kayıtları için sismik yalıtım sistemi yer değiştirmelerinde gözlemlenen bu farkın büyüklüğü değişken olmaktadır. Kocaeli 1999 depremi ele alındığında uzak fay ve yakın fay ivme kayıtlarının kullanılması durumunda hesaplanan en büyük yalıtım sistemi yer değiştirmeleri arasındaki fark oldukça büyüktür. Chi-Chi 1999 depremi için ise bu fark daha küçük olmaktadır. Chi-Chi 1999 depremi için bu farkın daha az olması PGV/PGA değerlerinin arasındaki farklılığa rağmen uzak fay PGA değerlerinin yakın fay PGA değerinden fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir.



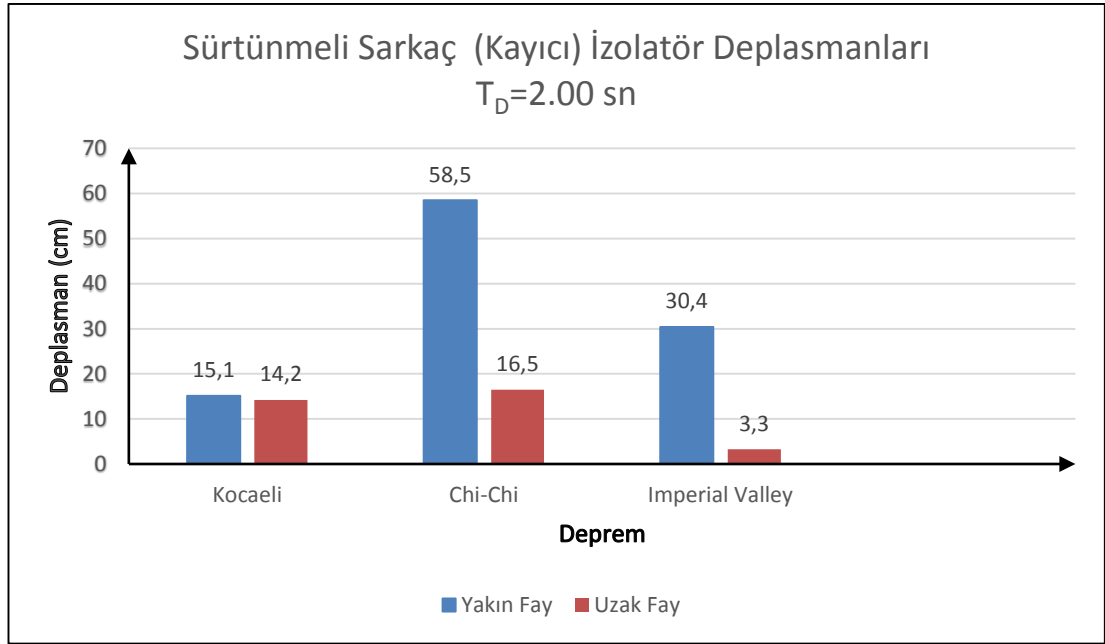
**Şekil 4.4:** Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları ( $T_D=2.00$  sn)

Seçilen sismik yalıtım periyotunun daha uzun olması durumunda genel olarak sismik yalıtım sistemi yer değiştirmelerinde artışlar gözlemlenmektedir (Şekil 3.5). Sismik yalıtım sistemi hedef periyotunun 3.50 sn olarak seçilmesi durumunda özellikle Imperial Valley 1979 Depremi yakın fay ivme kaydı için hesaplanan sismik yalıtım sistemi yer değiştirmelerindeki artış oldukça belirgin olmaktadır.



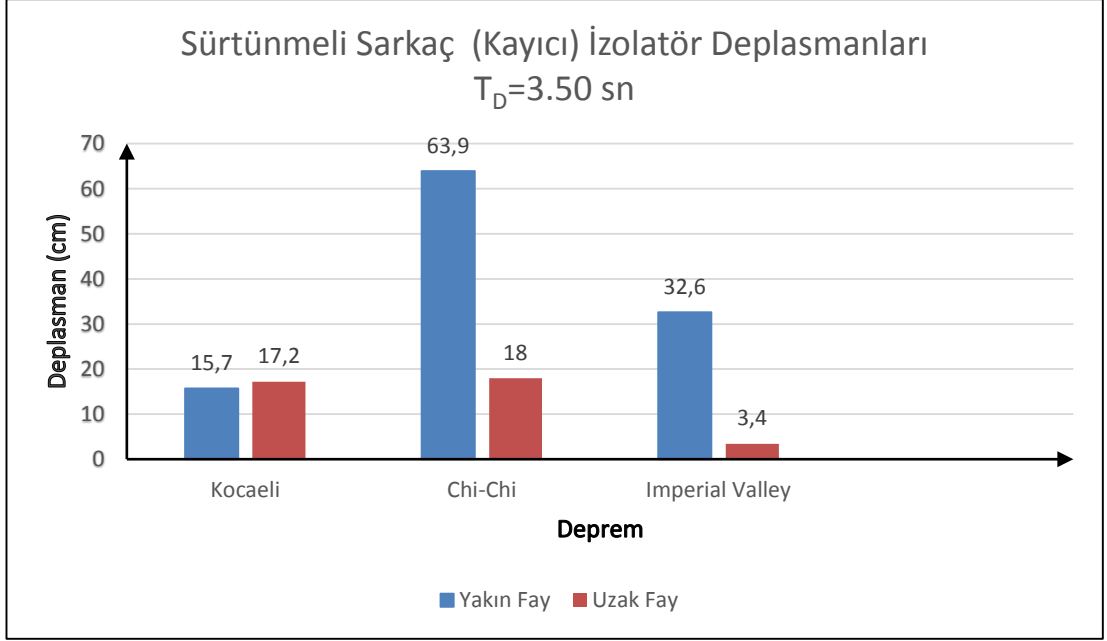
**Şekil 4.5:** Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları ( $T_D=3.50$  sn)

Sürtünmeli sarkaç izolatörlü sistemlerde elastomerik izolatörlü sistemler gibi yakın fay özelliği taşıyan deprem ivme kayıtlarının kullanıldığı analizlerde elde edilen sismik yalıtım sistemi yer değiştirmeleri genel olarak uzak fay ivme kayıtlarına göre daha yüksek değerler almaktadır. (Şekil 4.6), (Şekil 4.7). Chi-Chi 1999 ve Imperial Valley 1979 depremleri ele alındığında uzak fay ve yakın fay ivme kayıtlarının kullanılması durumunda hesaplanan en büyük yalıtım sistemi yer değiştirmeleri arasındaki fark oldukça büyüktür. Bu farkın büyük olmasının, PGV, PGD ve PGV/PGA değerlerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



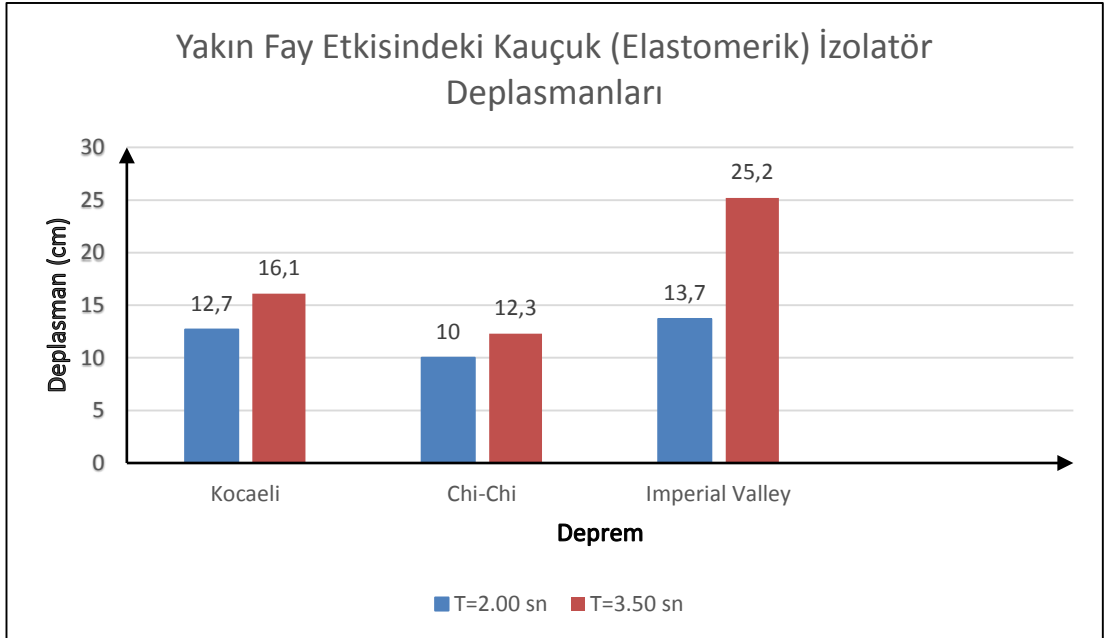
**Şekil 4.6:** Sürtünmeli Sarkaç (Kayıcı) İzolatör Deplasmanları ( $T_D=2.00$  sn)

Kocaeli 1999 depremi için ise bu fark daha küçük olmaktadır.  $T_D= 3,5$  sn olduğunda da uzak fay yer değiştirmesi daha fazla olmaktadır. Buna uzak fay PGA değerinin yakın fay PGA değerinden fazla olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

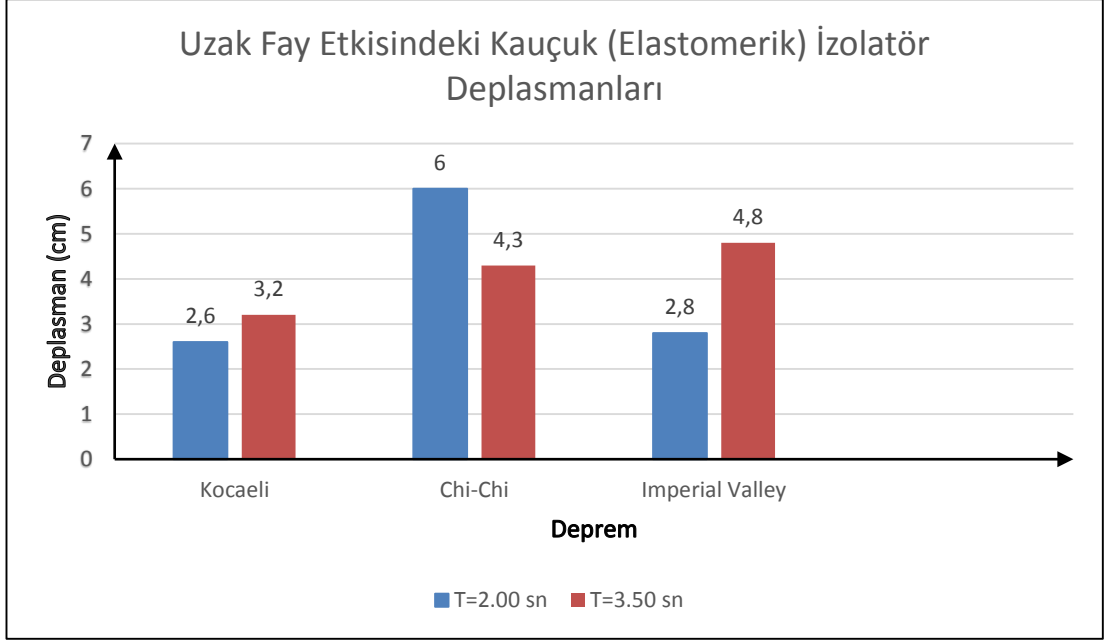


**Şekil 4.7:** Sürtünlü Sarkaç (Kayıcı) İzolatör Deplasmanları ( $T_D=3.50$  sn)

Yakın fay ve uzak fay depremleri sismik yalıtım periyodu cinsinden incelediğimizde sistemin periyodu arttıkça, meydana gelen yer değiştirmelerde artmaktadır. Fakat bu durum Chi-Chi depreminde olduğu gibi her zaman geçerli olmamaktadır. (Şekil 4.8), (Şekil 4.9).

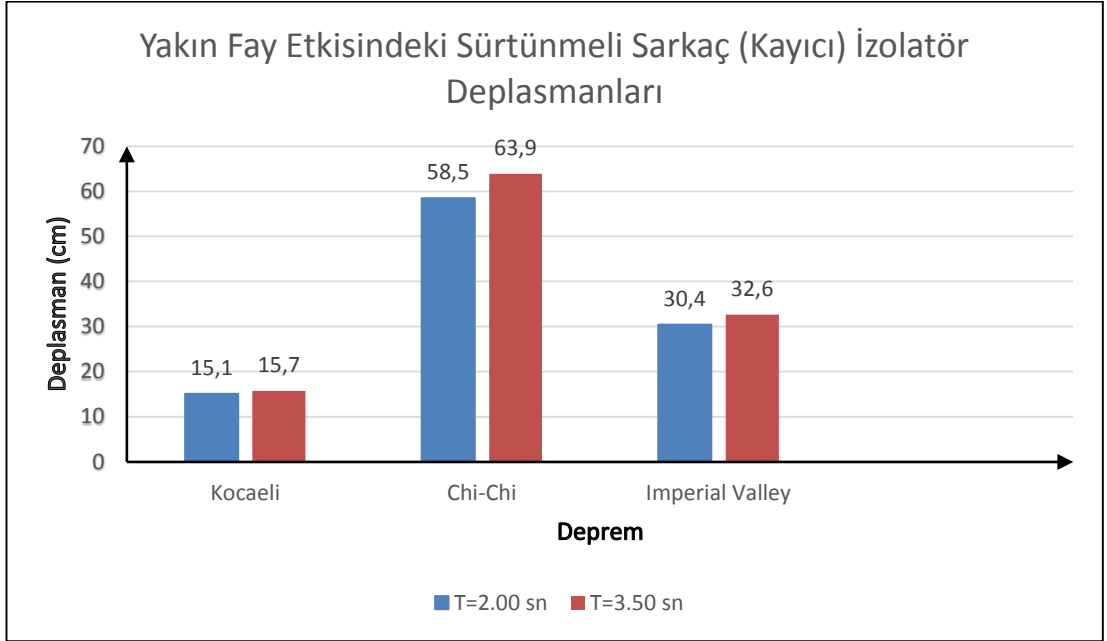


**Şekil 4.8:** Yakın Fay Etkisindeki Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları

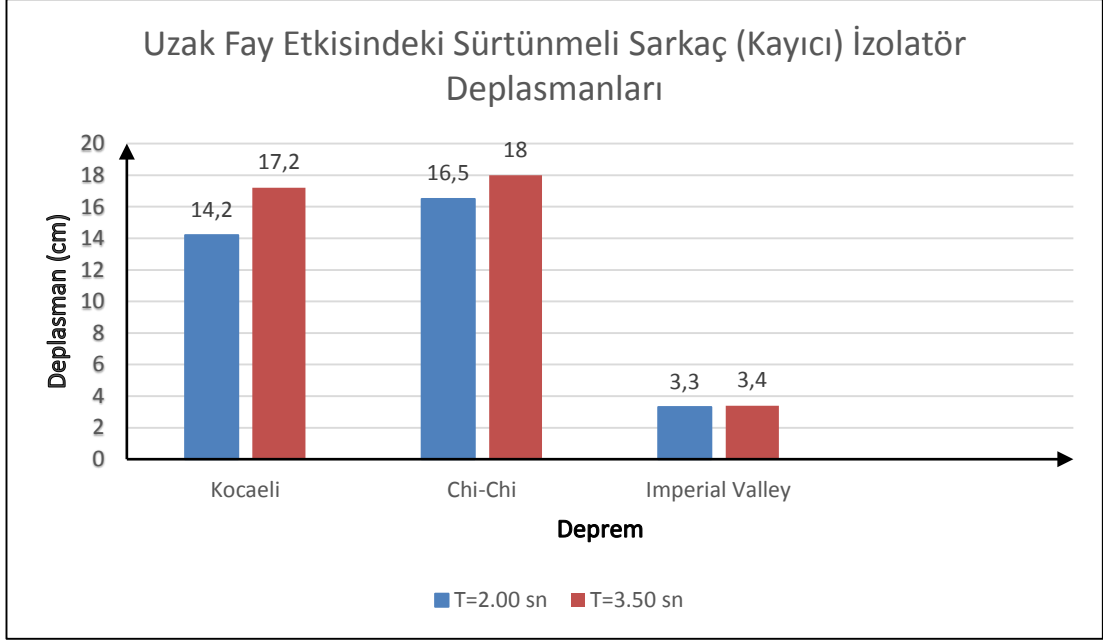


**Şekil 4.9:** Uzak Fay Etkisindeki Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları

Yalıtım periyotunun artması elastomerik izolatörlerde olduğu gibi sürtünlü sarkaç izolatörlerin yakın ve uzak fay etkisindeki yer değiştirmelerde artış yaratmaktadır (Şekil 4.10), (Şekil 4.11).



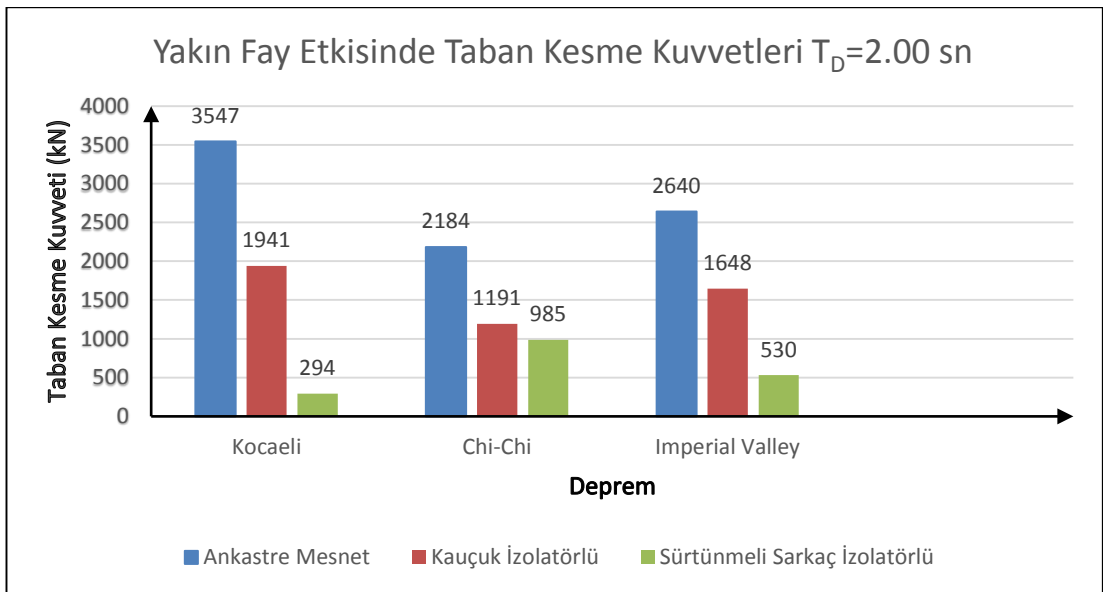
**Şekil 4.10:** Yakın Fay Etkisindeki Kauçuk (Elastomerik) İzolatör Deplasmanları



**Şekil 4.11:** Uzak Fay Etkisindeki Sürtünmeli Sarkaç (Kayıcı) İzolatör Deplasmanları

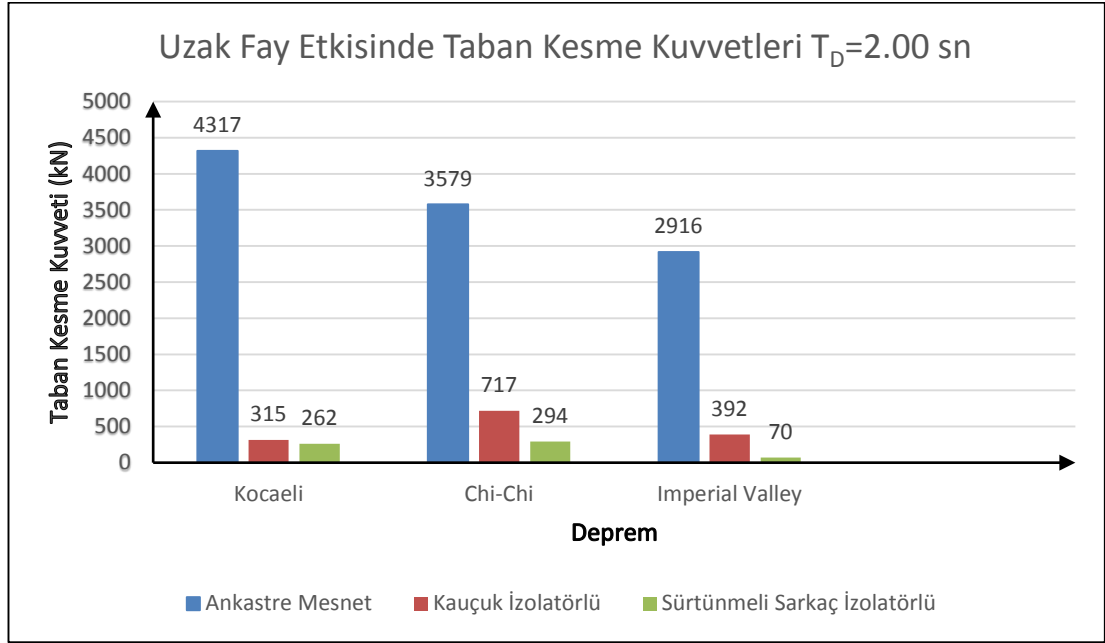
#### 4.5.2. Taban Kesme Kuvvetlerinde Oluşan Etkiler

Taban kesme kuvvetleri en fazla sabit tabanlı sistemlerde daha sonra kauçuk tabanlı ve son olarak da sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemlerde oluşmaktadır. Bu şekilde olmasının en önemli sebebi kauçuk izolatörlü sistem lineer çözülmüş ve sönüm %5 kabul edilmiş, sürtünmeli sarkaç izolatörlü sistemde ise lineer olmayan çözüm uygulanmış ve sönüm %30 alınmıştır (Şekil 4.12).



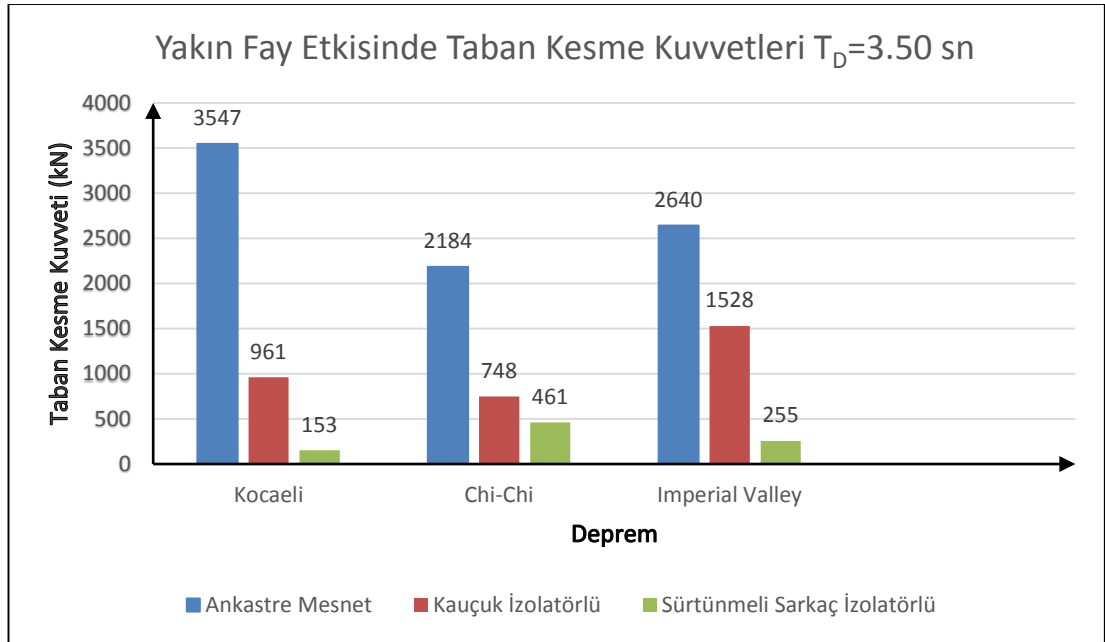
**Şekil 4.12:** Yakın Fay Etkisinde Taban Kesme Kuvvetleri ( $T_D=2.00$  sn)

Uzak fay depremlerde ise taban kesme kuvvetlerinde çok daha fazla bir düşüş gözlenmektedir (Şekil 4.13).



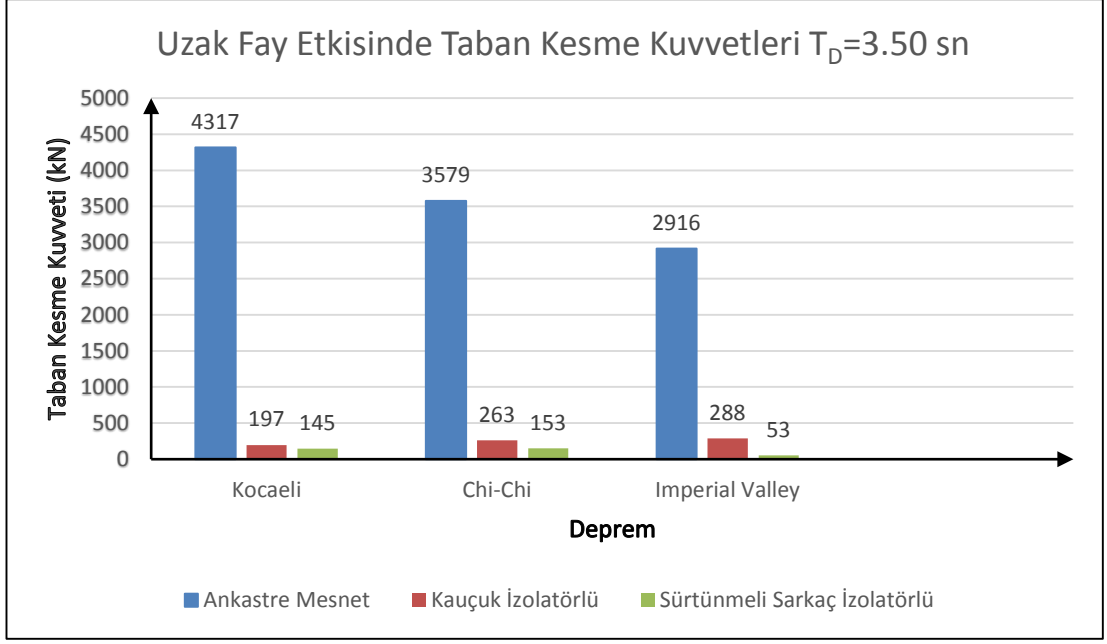
Şekil 4.13: Uzak Fay Etkisinde Taban Kesme Kuvvetleri ( $T_D=2.00$  sn)

Sismik yalıtım sisteminin periyodu arttıkça, sismik yalıtımlı sistemde taban kesme kuvvetlerinde azalma görülmektedir (Şekil 4.14)



Şekil 4.14: Yakın Fay Etkisinde Taban Kesme Kuvvetleri ( $T_D=3.50$  sn)





**Şekil 4.15:** Uzak Fay Etkisinde Taban Kesme Kuvvetleri ( $T_D=3.50$  sn)

## SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

- Kauçuk izolatörlü sistemlerde aynı depremden kaynaklanan yakın fay ve uzak fay ivme kayıtları için sismik yalıtım sistemi yer değiştirmelerinde gözlemlenen farkın büyüklüğü değişken olmaktadır. Kocaeli depremi ele alındığında uzak fay ve yakın fay ivme kayıtlarının kullanılması durumunda hesaplanan en büyük yalıtım sistemi yer değiştirmeleri arasındaki fark oldukça büyüktür. Imperial Valley depreminde de bu fark büyük olmasına rağmen, Chi-Chi depremi için ise daha küçük olmaktadır. Chi-Chi depremi için bu farkın daha az olması PGV/PGA değerlerinin arasındaki farklılığa rağmen uzak fay PGA değerlerinin yakın fay PGA değerinden fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Kauçuk izolatörlü sistemin sismik yalıtım periyodu arttıkça Chi-Chi ve Imperial Valley depremlerinin yakın fay deplasmanlarında artış olmakta fakat Kocaeli depreminde azalma görülmektedir. Özellikle Imperial Valley depremindeki artış belirgin bir şekilde görülmektedir. Uzak fay kayıtlarında ise Kocaeli ve Imperial Valley depremlerinde artış olmakta, Chi-Chi depreminde ise azalış görülmektedir.
- Sürtünmeli sarkaç izolatörlü sistemlerde kauçuk izolatörlü sistemler gibi yakın fay özelliği taşıyan depremlerde meydana gelen yer değiştirmeler uzak fay özelliği taşıyan depremlerden dolayı meydana gelen yer değiştirmelerden fazla olduğu sadece Kocaeli depreminin sismik yalıtım periyodu 3.5 sn alındığında uzak fay yer değiştirmesinin yakın fay yer değiştirmesinden fazla olduğu, bunun sebebinde Kocaeli depreminin uzak fay kayının PGD değerinin yakın fay PGD değerinden fazla olduğu için meydana geldiği düşünülmektedir. Bu konuda araştırma çalışmaları yapılabilir.
- Sürtünmeli sarkaç izolatörlü sistemlerde meydana gelen yer değiştirmeler kauçuk izolatörlü sistemlere göre çok daha yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin sürtünmeli sarkaç izolatörlü sistemin lineer

olmayan çözüm yöntemi ile tasarlanmış olduğundan dolayı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Chi-Chi ve Imperial Valley depremleri yakın fay özelliği taşıyan kayıtlardan dolayı oluşan yer değiştirmeler oldukça büyüktür. Bunun sebebinin bu depremlerin PGV, PGD ve PGV/PGA değerlerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu konuda deprem kayıtları çoğaltılarak araştırma çalışmaları yapılabilir.

- Taban kesme kuvvetleri en fazla sabit tabanlı sistemlerde daha sonra kauçuk tabanlı ve son olarak da sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemlerde oluşmaktadır. Bu şekilde olmasının en önemli sebebi kauçuk izolatörlü sistem lineer çözülmüş ve sönüm %5 kabul edilmiş, sürtünmeli sarkaç izolatörlü sistemde ise  $T_D=2.00$  sn için %13,  $T_D=3.5$  sn için %30 alınmış lineer olmayan çözüm uygulanmıştır.
- Taban kesme kuvvetleri, yakın fay etkisinde daha fazla görülmektedir. Ayrıca sismik yalıtım periyodu arttıkça sisteme etkiyen taban kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür.
- Kauçuk izolatörlü sistemde yakın fay etkisinde en fazla taban kesme kuvveti sırasıyla Kocaeli, Imperial Valley ve Chi-Chi depremlerinde görülmüştür.
- Sürtünmeli sarkaç izolatörlü sistemde ise sırasıyla Chi-Chi, Imperial Valley ve Kocaeli depremlerinde görülmüştür. Bu durumun sebebinin Chi-Chi ve Imperial Valley depremlerinin yüksek PGV değerleri olduğu düşünülmektedir. Bu durumu uzak fay kayıtlarının PGV değerlerine bakarak kontrol etmek mümkündür çünkü Imperial Valley depreminin taban kesme kuvveti Kocaeli depreminin uzak fay taban kesme kuvveti değerinden oldukça azdır. Bu durumun Imperial Valley depremi uzak fay PGV değerinin, Kocaeli depremi uzak fay PGV değerinden daha az olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar deprem kayıtları artırılarak araştırma yapılabilir.

## **KAYNAKÇA**

**Akköse, M. ve diğ.**, “Comparison of near-fault and far-fault ground motion effects on geometrically nonlinear earthquake behavior of suspension bridges”, Research Article, Nat Hazards (2012) 64: 593-614.

**American Structural Engineering Design Provisions** “Uniform Building Code”, USA, 1997.

**Ateş, Ş., Dumanoğlu, A.**, “Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi” TDV, Teknik Rapor TR026-42, İstanbul, 1999.

**Ayhan, O.**, “Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesinde Klasik Yöntem ile Sürtünmeli Sarkaç Sistemlerin Karşılaştırılması” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006

**Celep, Z.**, “Yapı Dinamiği”, 4. Baskı, İstanbul, 2011.

**Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, 2.Baskı, İstanbul. 2000.

**Demir, S.**, “Sismik İzolasyon Sistemleriyle Yapıların Tasarımı ve Mevcut Bir Yapıya Uygulanması” Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008

**Dusi, A.**, “Application of Seismic Isolation in Italy, İKÜ-Malaysian Rubber Board” Sismik yalıtım konferans notları, İstanbul Kültür Üniversitesi, Aralık 2003.

**Erdik, M.**, “1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) Earthquakes, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Department of Earthquake” Engineering Report, no: 12, Boğaziçi University, İstanbul. 2000.

**Filiatrault, A.**, “Advanced seismic design of structures class notes, Department of Structural Engineering” University of California, San Diego, USA. 2001.

**Güneş, N.**, “Yakın Fay Yer Hareketleri ve Performansa Dayalı Tasarıma Uyarlanmaları” Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

**Kelly, J.M.**, Earthquake resistant design with rubber, Springer-Verlag, New York, 1997

- Kelly, T.E.**, Base isolation of structures design guidelines, Holmes Consulting Group, Wellington, New Zealand. 2001
- Mollaioli, F. ve diğ.**, “Intensity measures for the seismic response prediction of base-isolated buildings”, Research Article, Bull Earthquake Eng (2013) 11:1841–1866.
- Naeim, R. ve Kelly, J. M.**, Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice, John Wiley & Sons, Inc. New York. 1999.
- Newmark ve Hall**, “Earthquake Spectra and Design”, Department of Civil Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign, 1982.
- Özener, P.**, YTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı Ders Notları
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)**,  
<http://ngawest2.berkeley.edu> , ground motion database.
- Sap2000**, Computer & Structures Inc., Integrated Structural Analysis and Design Software
- Seismosoft**, Earthquake Engineering Software Solutions, SeismoSignal.
- Stewart, P.J. ve diğ.**, “Ground motions evaluation procedures for performance based design” Pacific Earthquake Engineering Research Center, Peer Report, University of California, Berkeley, 2001.
- Şahin, N.**, “Yapılarda Sismik İyileştirme İçin Sismik İzolasyonun Kullanılması” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- Tavakoli, H.R. ve diğ.**, “ Response of RC structures subjected to near-fault and far-fault earthquake motions considering soil-structure interaction”, Research Article, International Journal of Civil and Structural Engineering Volume 1, No 4, 2011.
- Vamvatsikos, D ve Cornell, C.A.**, “Incremental dynamics analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol 31, pp. 491-514, 2002.
- Yamada, M. ve diğ.**, “Statistical Features of Short-Period and Long-Period Near-Source Ground Motions”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 99, No. 6, pp. 3264–3274, 2009
- Yazıcı, G.**, “Sismik Yalıtımlı Düşey Silindirik Sıvı Depolarının Deprem Yükleri Altındaki Davranışının İncelenmesi”
- Yücesoy, A.**, “Sismik İzolatörler ile Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.

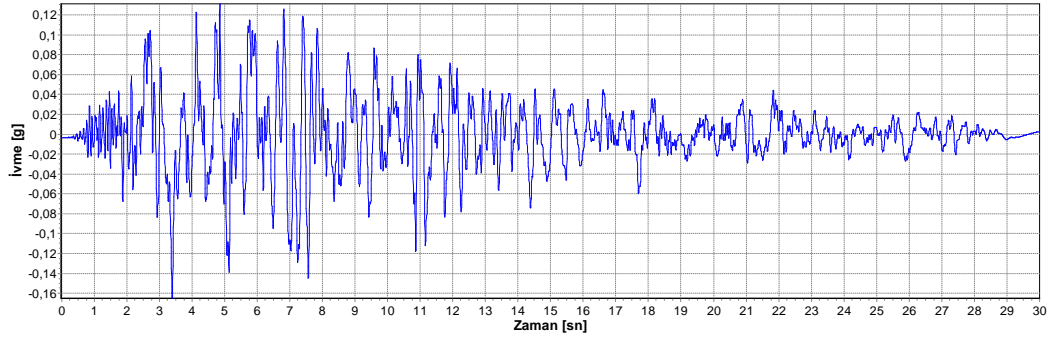
## EKLER

### EK A.

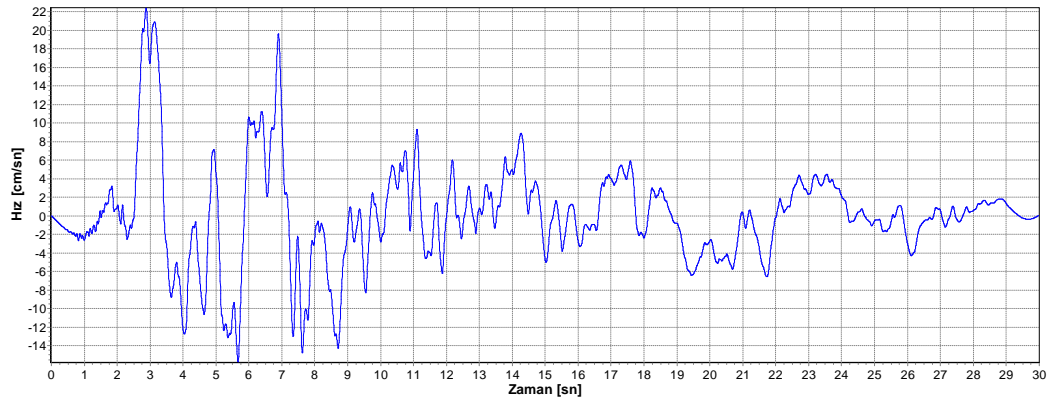
#### Yer Hareketleri Özelliklerinin Grafikselleştirilmesi

Ekler kısmında yer alan grafikler SeismoSoft kuruluşunun, "SeismoSignal" yazılımına varsayılan yer hareketlerinin ivme kayıtları girilerek elde edilmiştir.

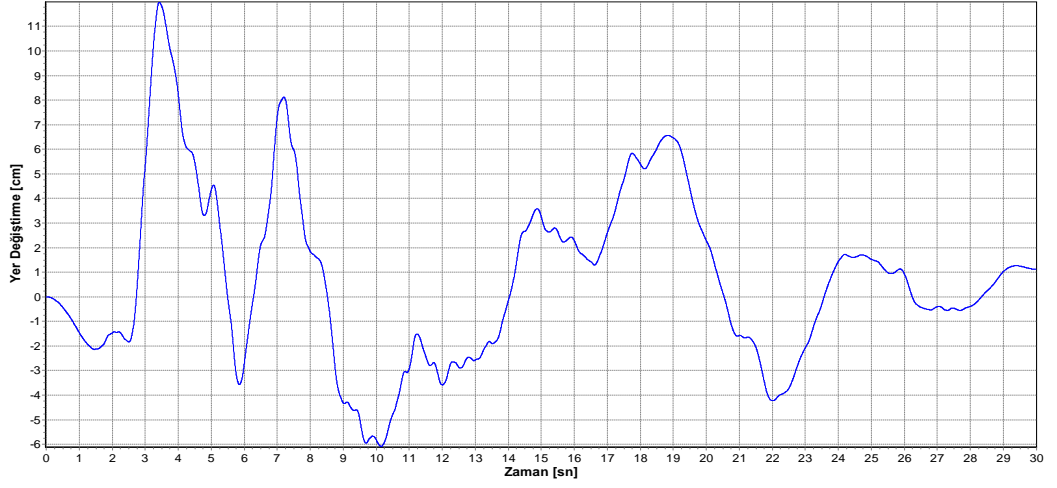
Kocaeli (1999) IZT180 yer hareketi kaydının özellikleri;



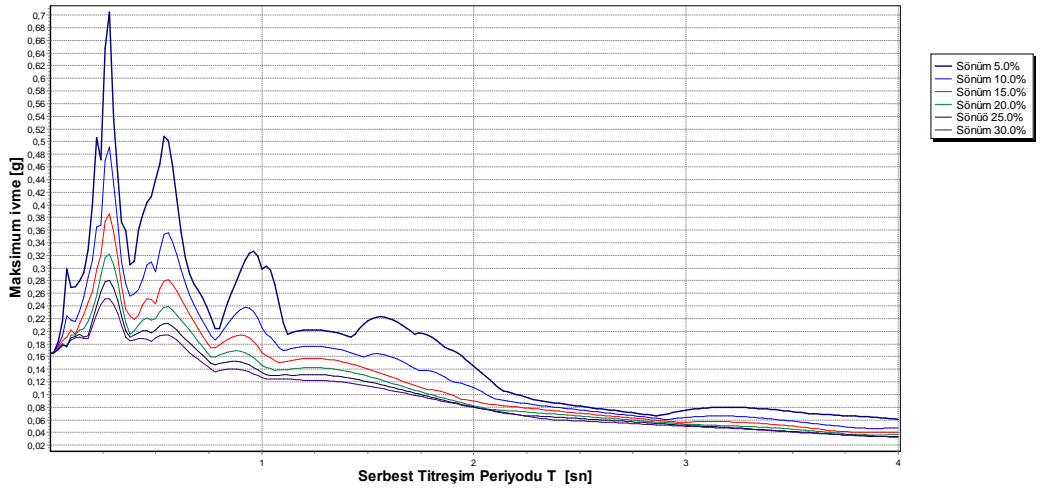
Şekil 4.16: Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının ivme-zaman grafiği



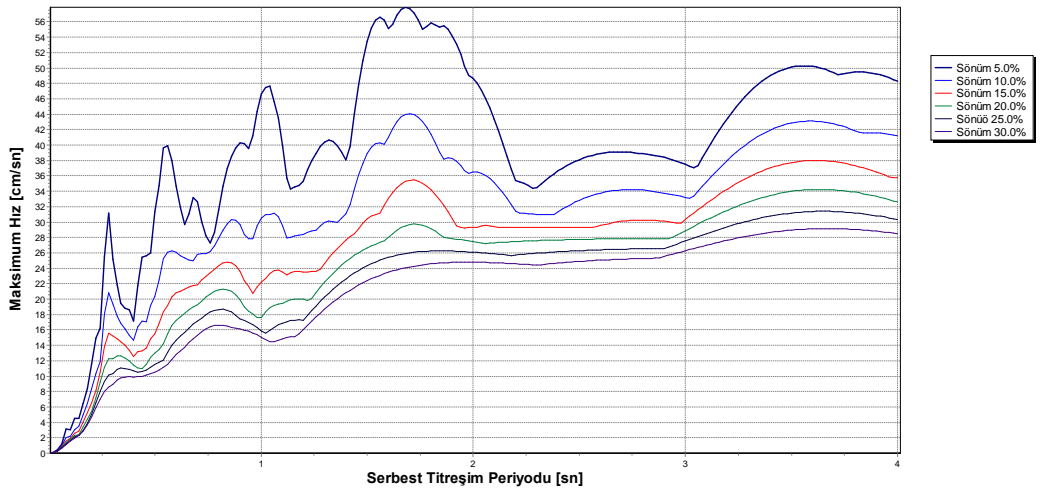
Şekil 4.17: Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının hız-zaman grafiği



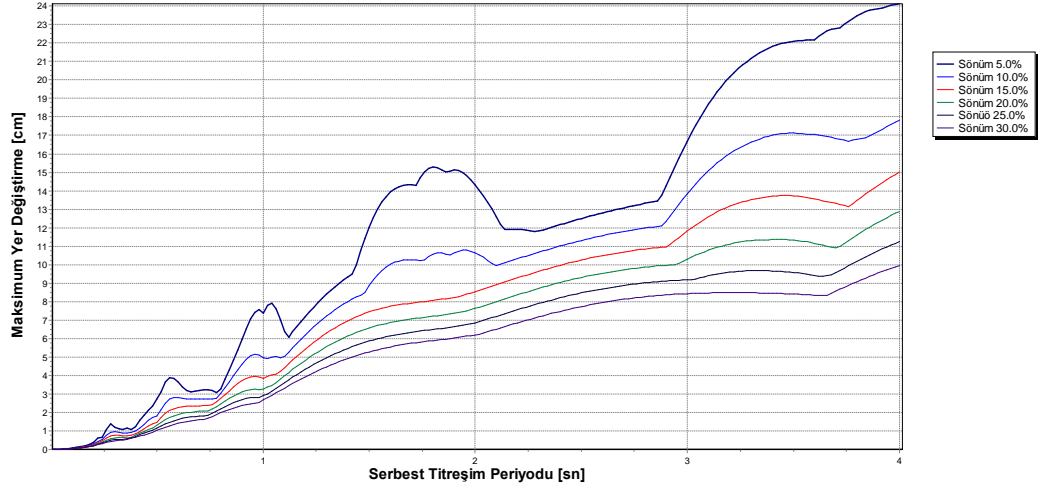
Şekil 4.18: Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının yer değiştirme-zaman grafiği



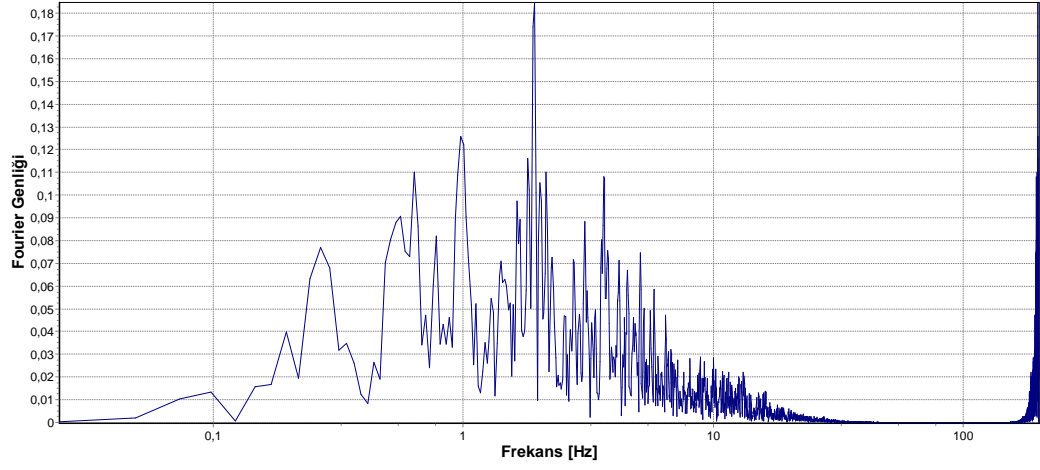
Şekil 4.19: Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının ivme spektrum eğrileri



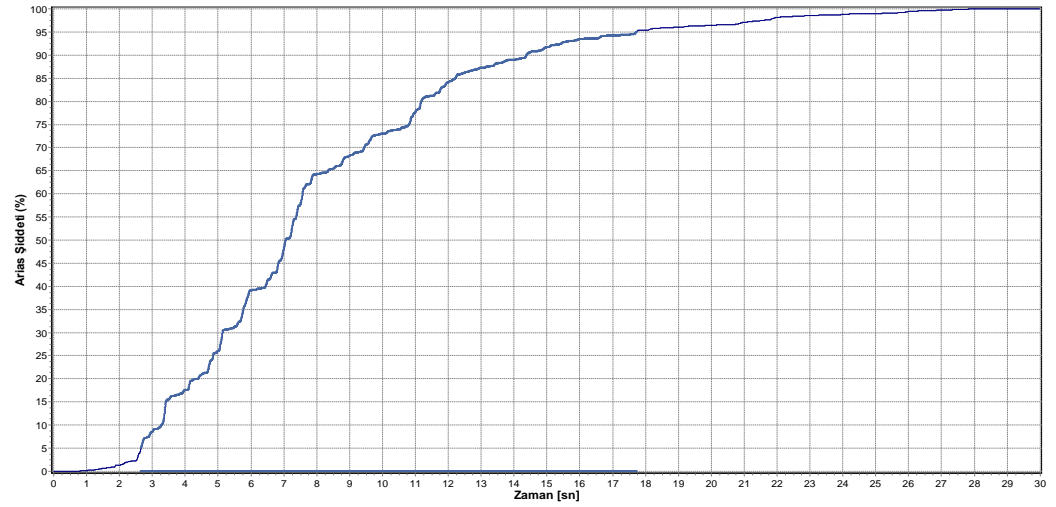
Şekil 4.20: Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının hız spektrum eğrileri



Şekil 4.21: Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri

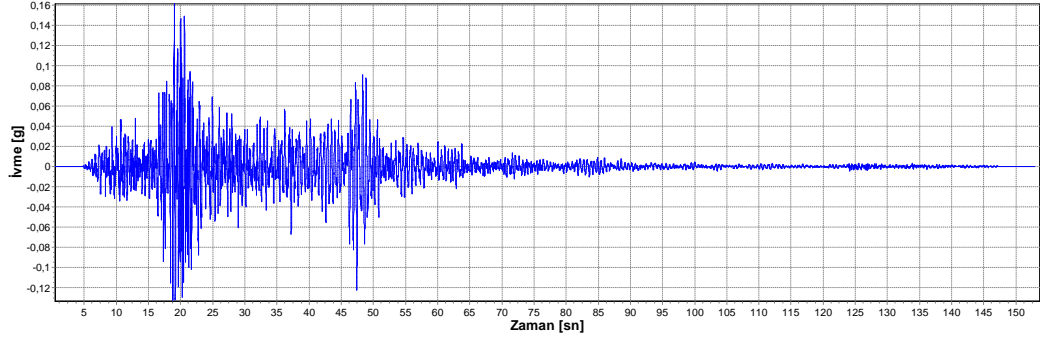


Şekil 4.22: Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının Fourier spektrumu

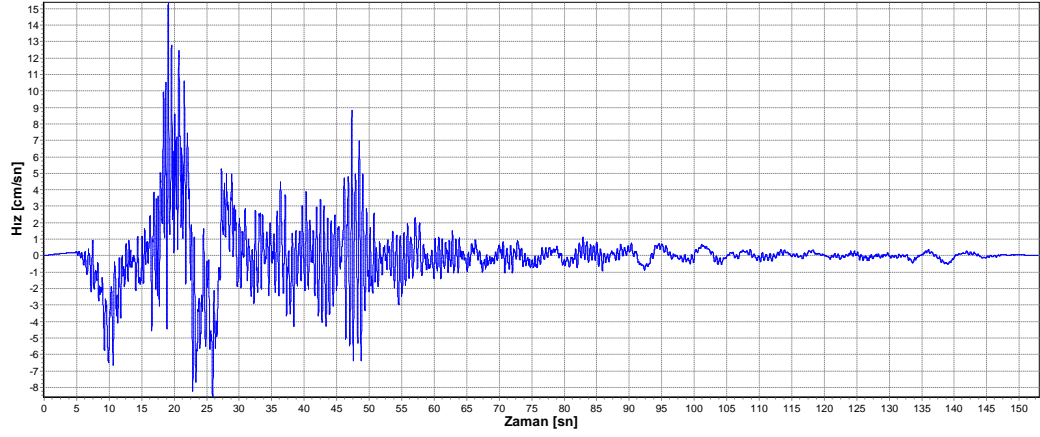


Şekil 4.23: Kocaeli 1999 (IZT180) kaydının Arias şiddeti

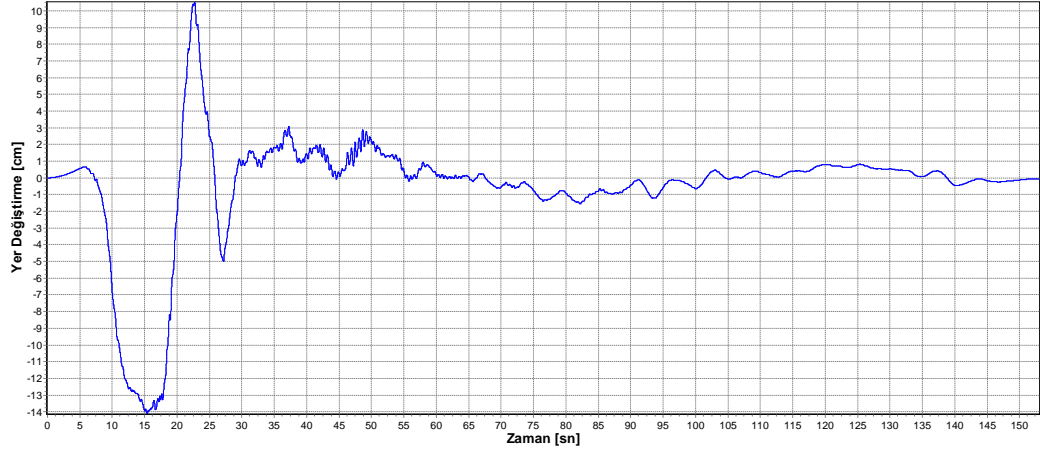




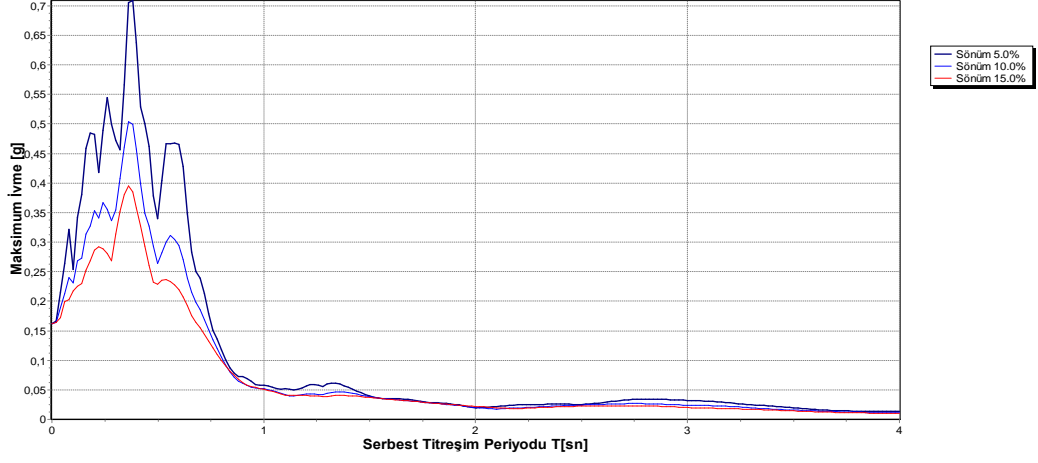
Şekil 4.24: Kocaeli 1999 (FAT090) ivme –zaman grafiği



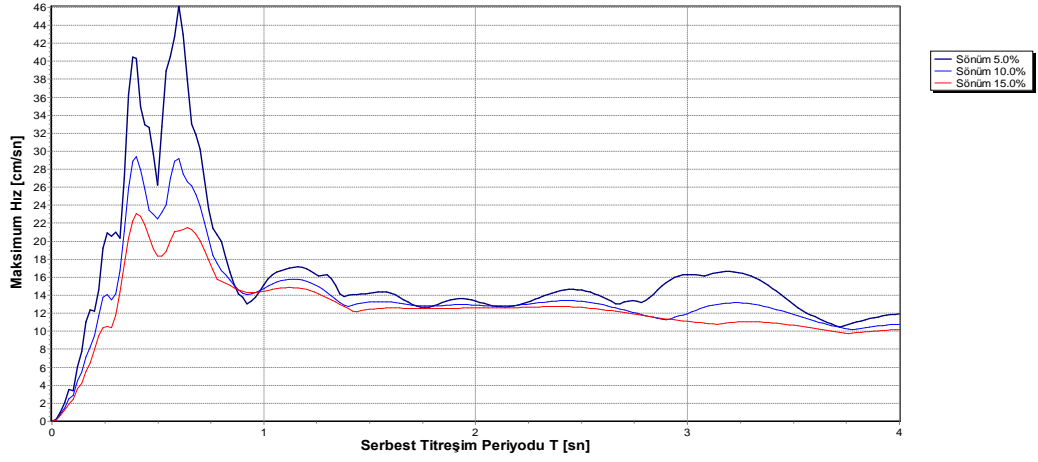
Şekil 4.25: Kocaeli 1999 (FAT090) hız –zaman grafiği



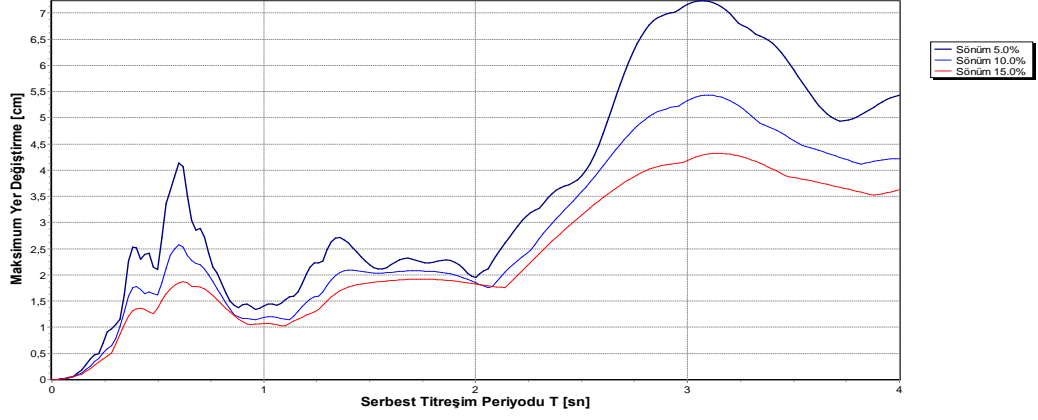
Şekil 4.26: Kocaeli 1999 (FAT090) yer değiştirme –zaman grafiği



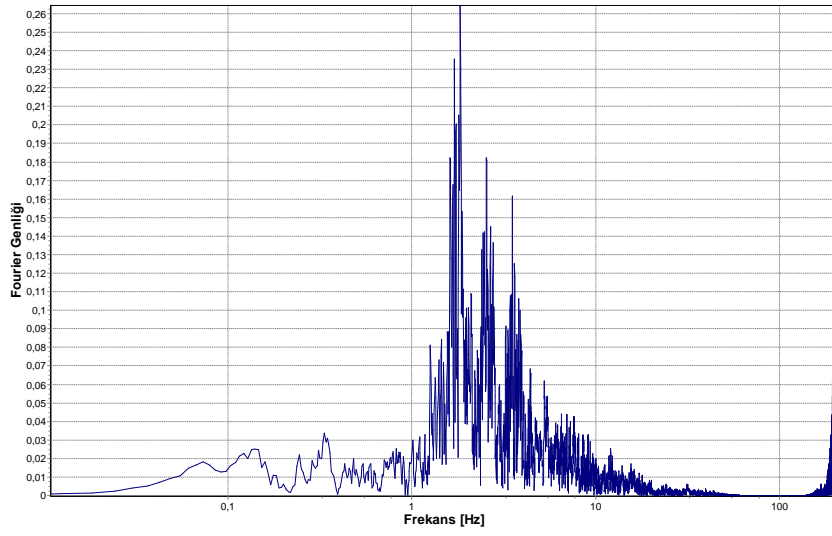
Şekil 4.27: Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının ivme spektrum eğrileri



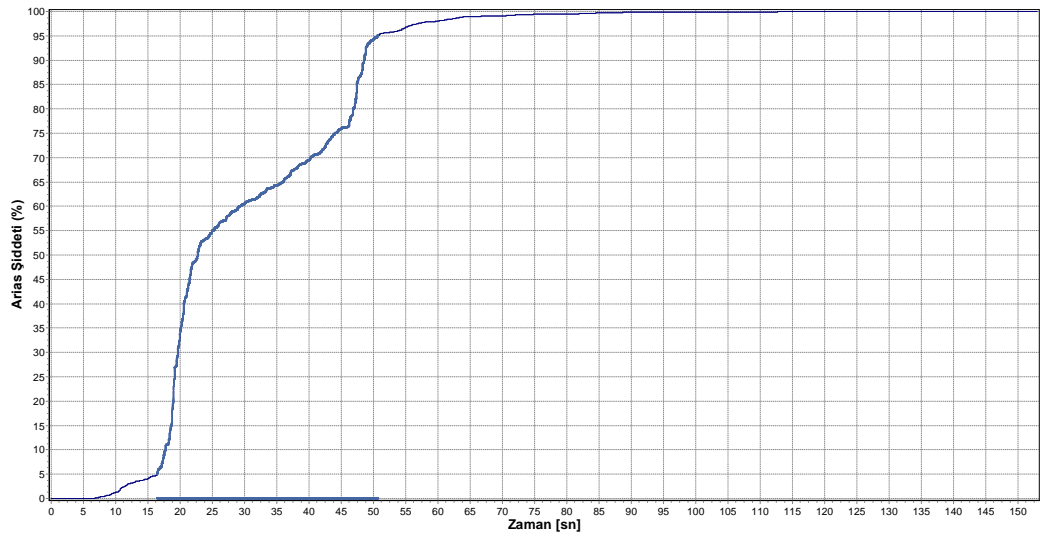
Şekil 4.28: Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının hız spektrum eğrileri



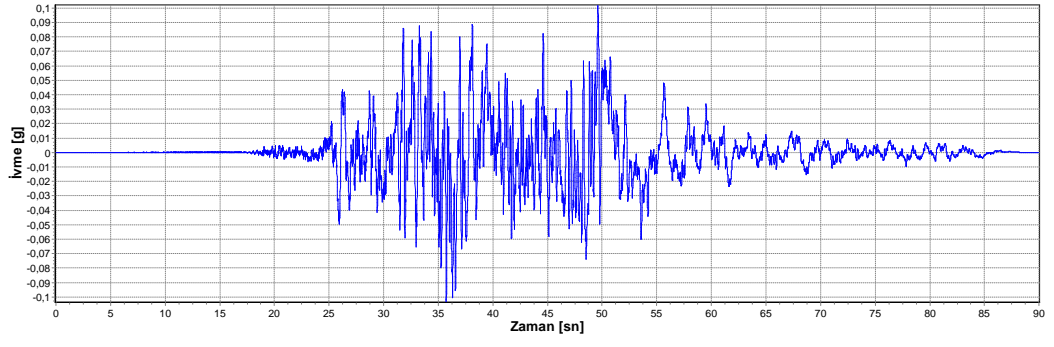
Şekil 4.29: Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri



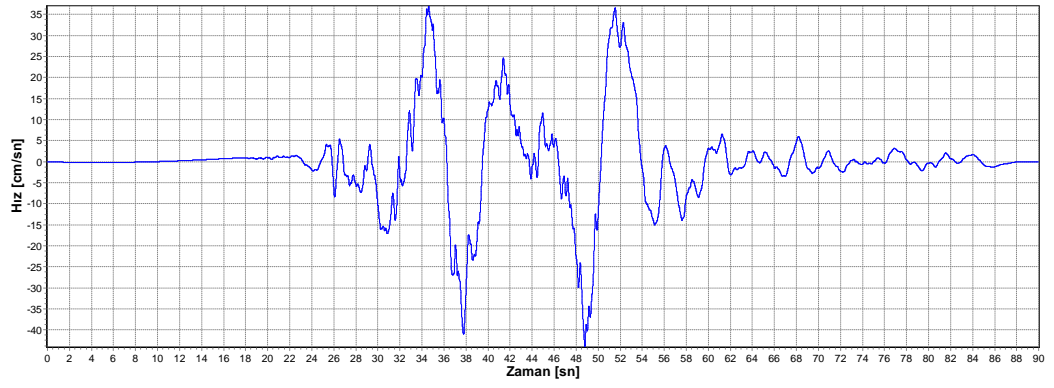
Şekil 4.30: Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının Fourier spektrumu



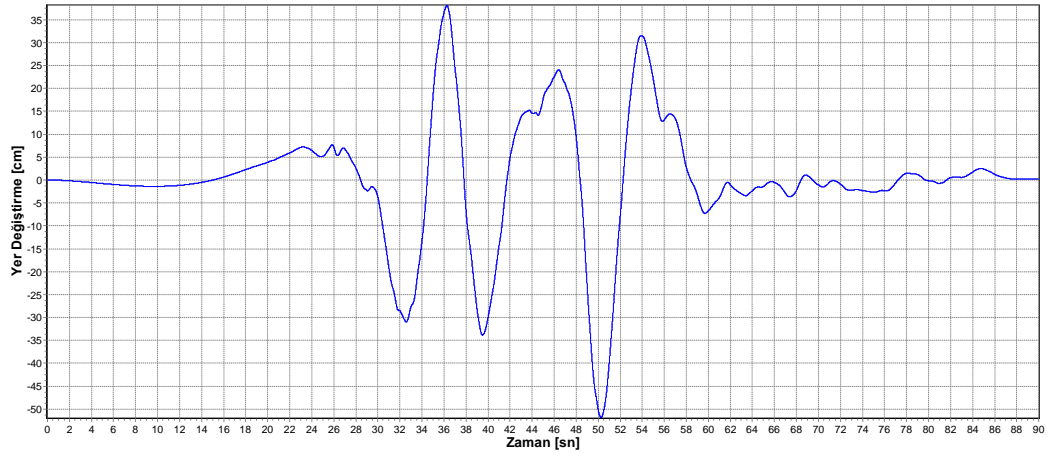
Şekil 4.31: Kocaeli 1999 (FAT090) kaydının Arias şiddeti



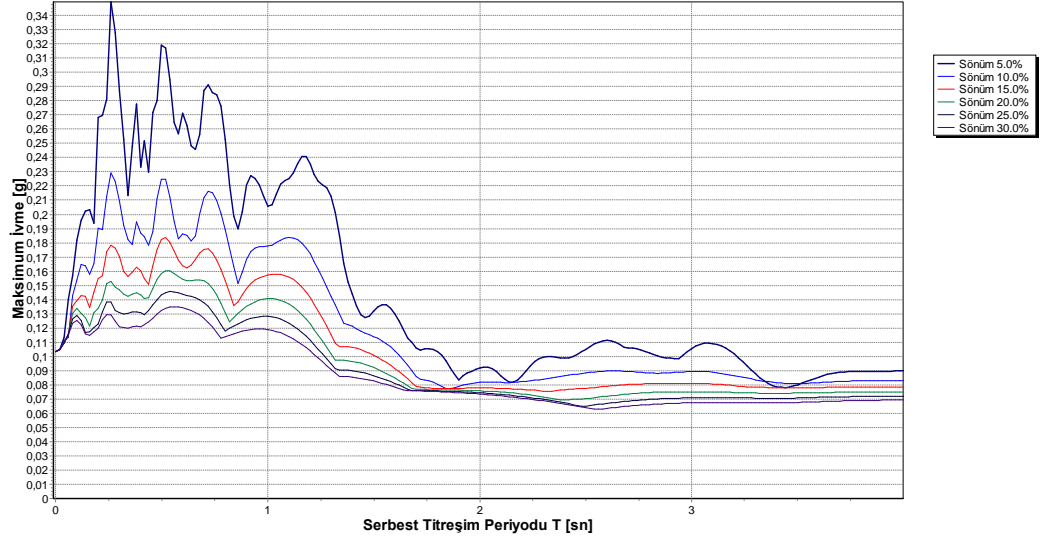
Şekil 4.32: Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının ivme-zaman grafiği



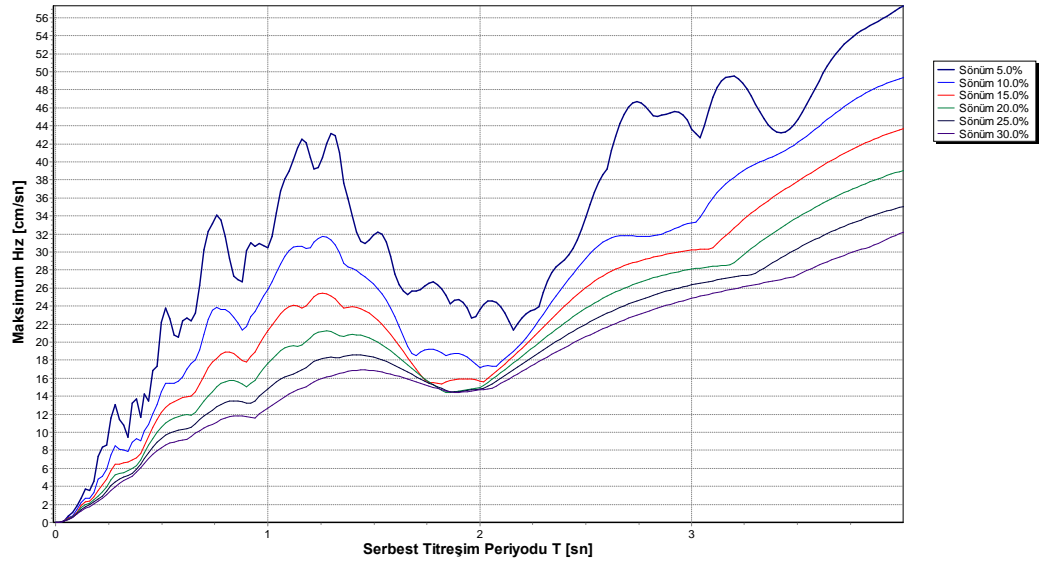
Şekil 4.33: Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının hız-zaman grafiği



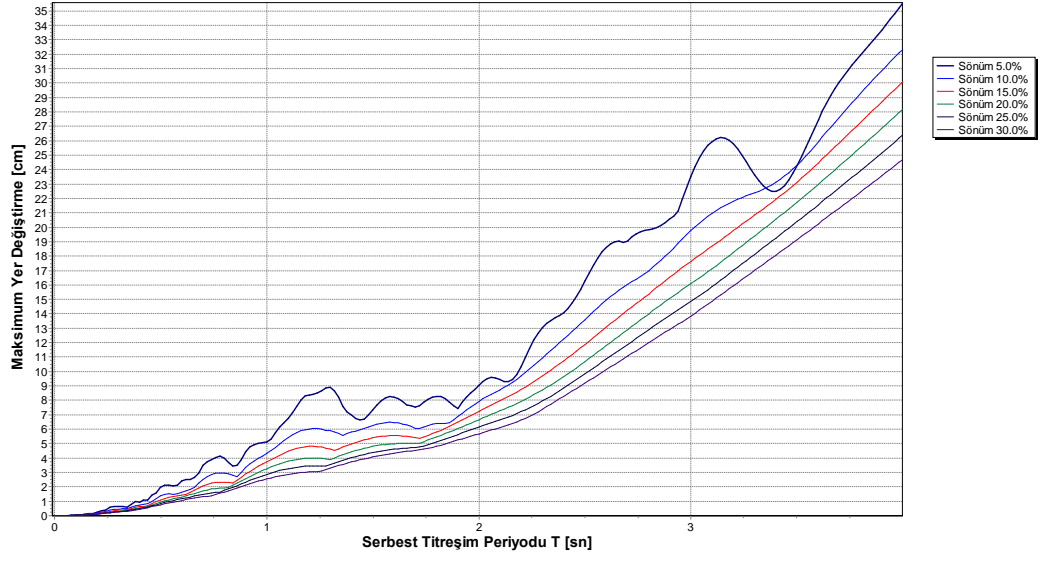
Şekil 4.34: Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının yer değiştirme-zaman grafiği



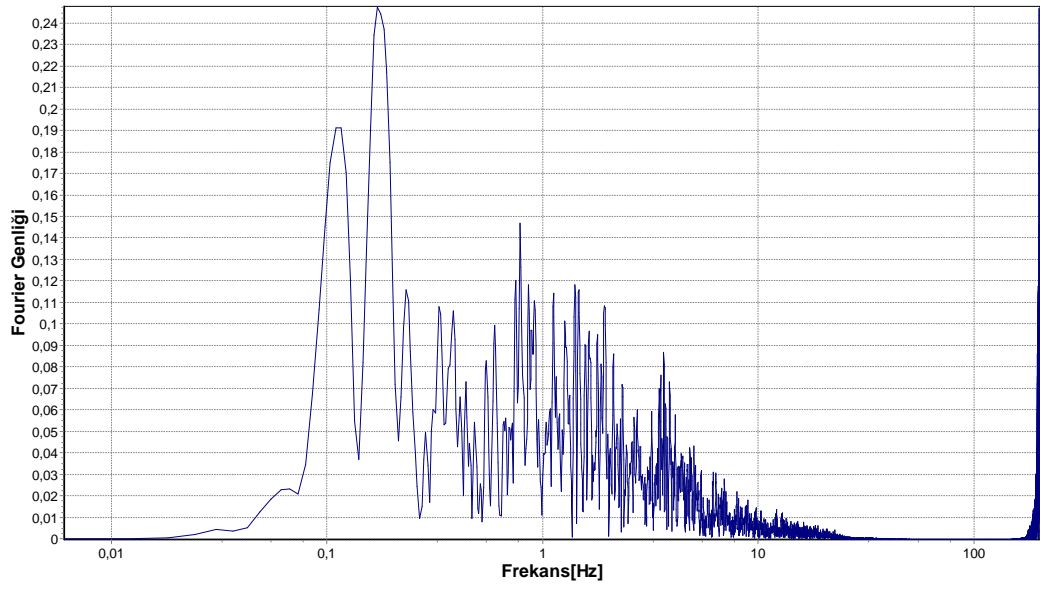
Şekil 4.35: Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının ivme spektrum eğrileri



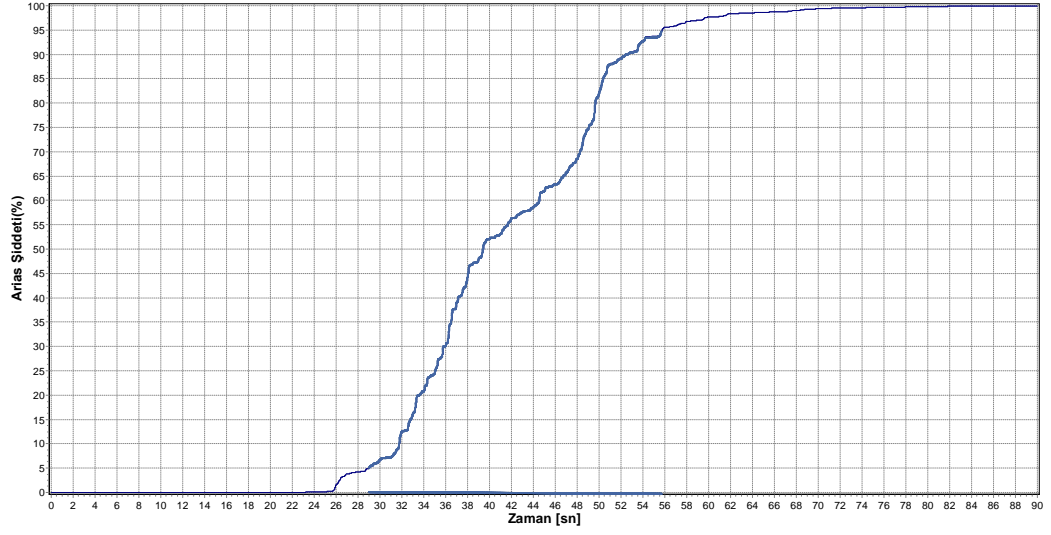
Şekil 4.36: Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının hız spektrum eğrileri



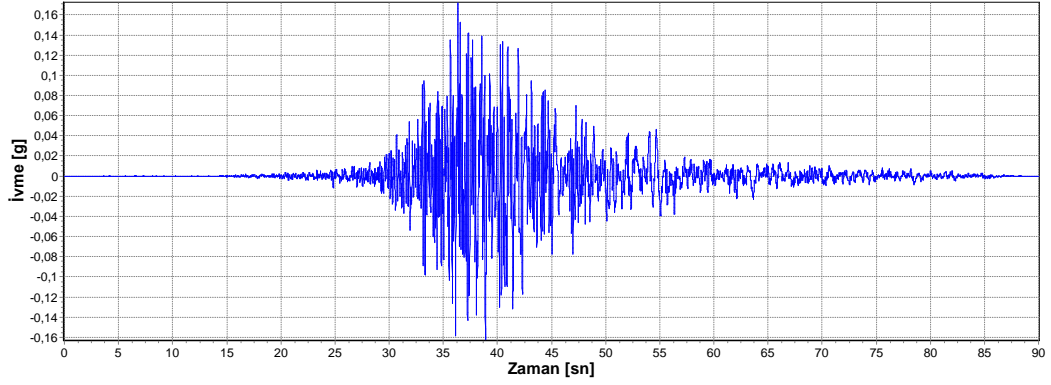
Şekil 4.37: Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri



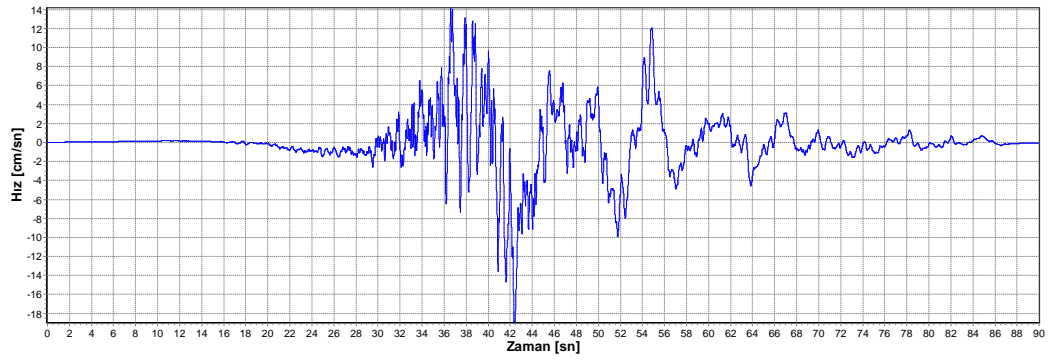
Şekil 4.38: Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının Fourier spektrumu



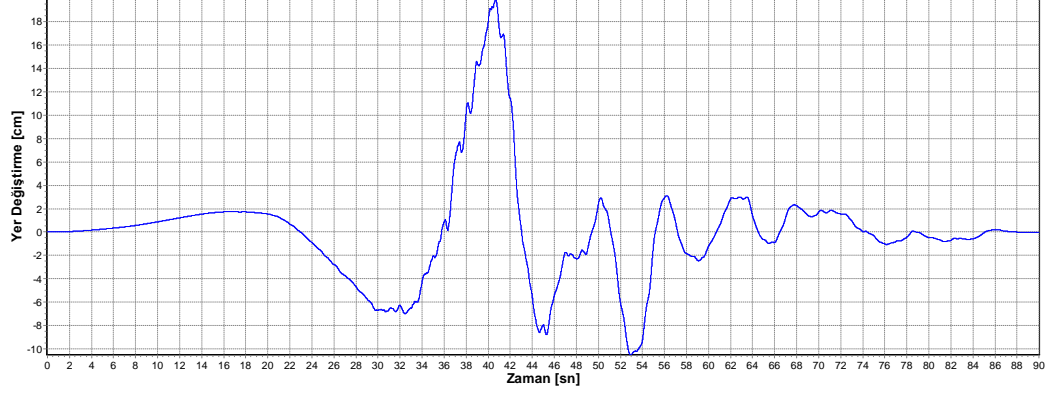
Şekil 4.39: Chi-Chi 1999 (TCU060) kaydının Arias şiddeti



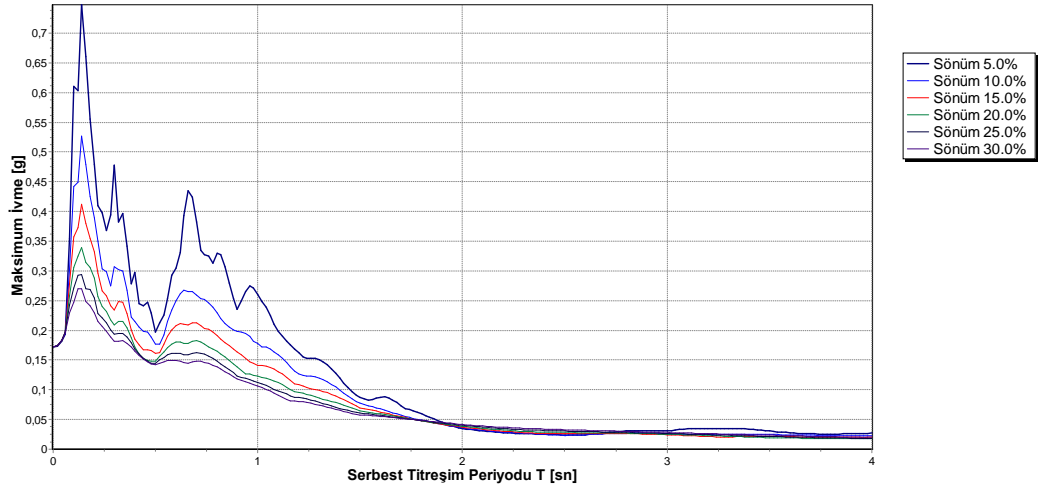
Şekil 4.40: Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının ivme-zaman grafiği



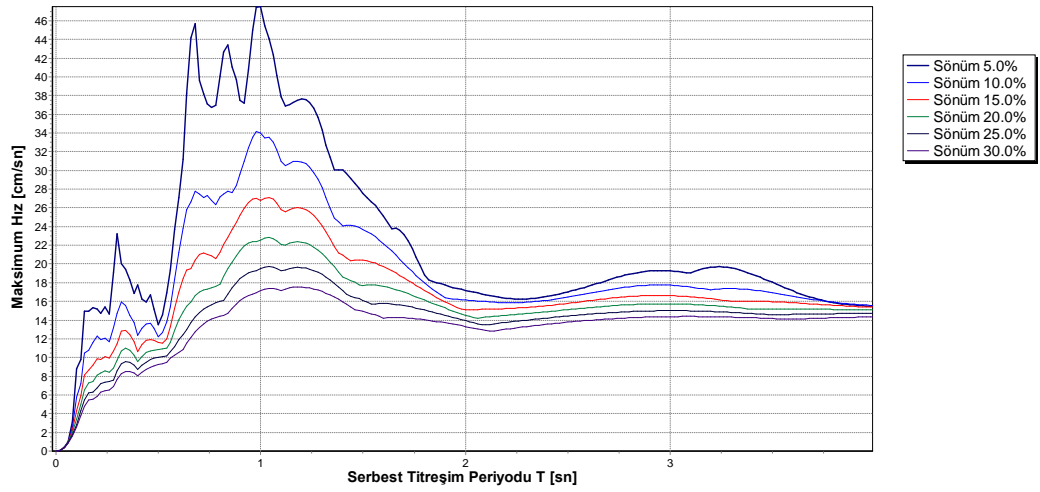
Şekil 4.41: Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının hız-zaman grafiği



Şekil 4.42: Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının yer değiştirme-zaman grafiği

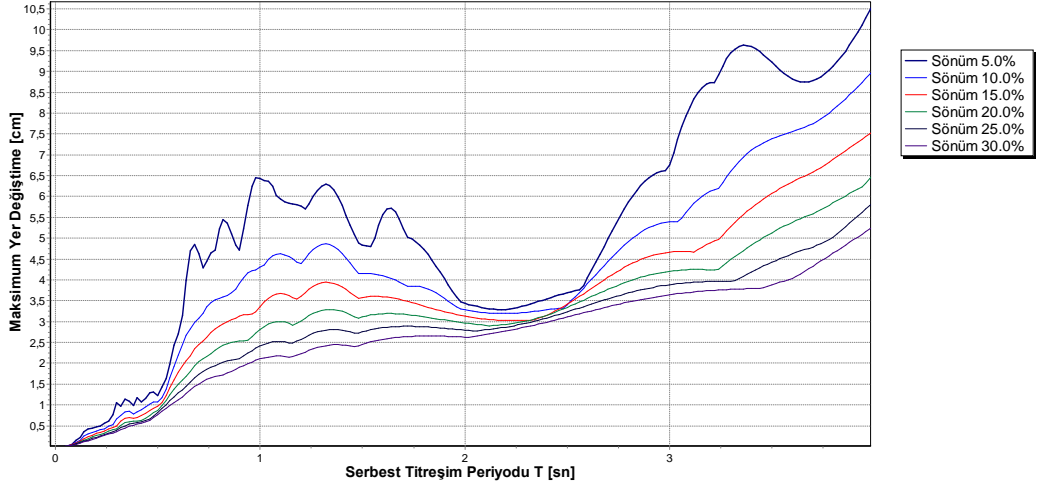


Şekil 4.43: Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının ivme spektrum eğrileri

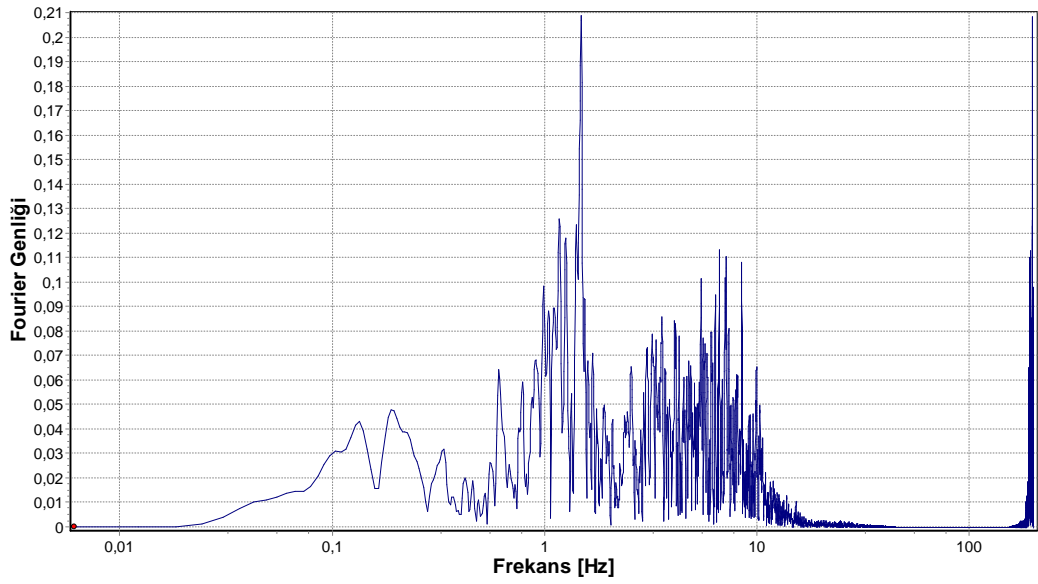


Şekil 4.44: Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının hız spektrum eğrileri

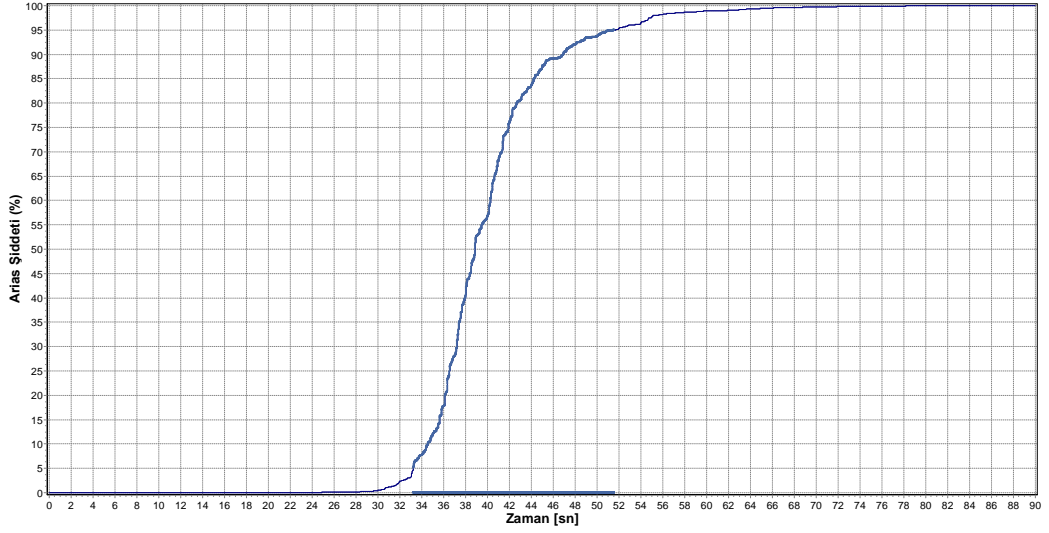




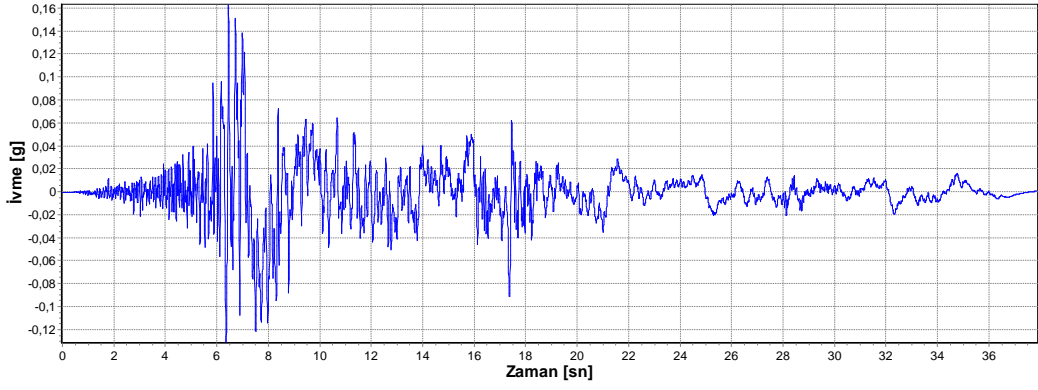
Şekil 4.45: Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri



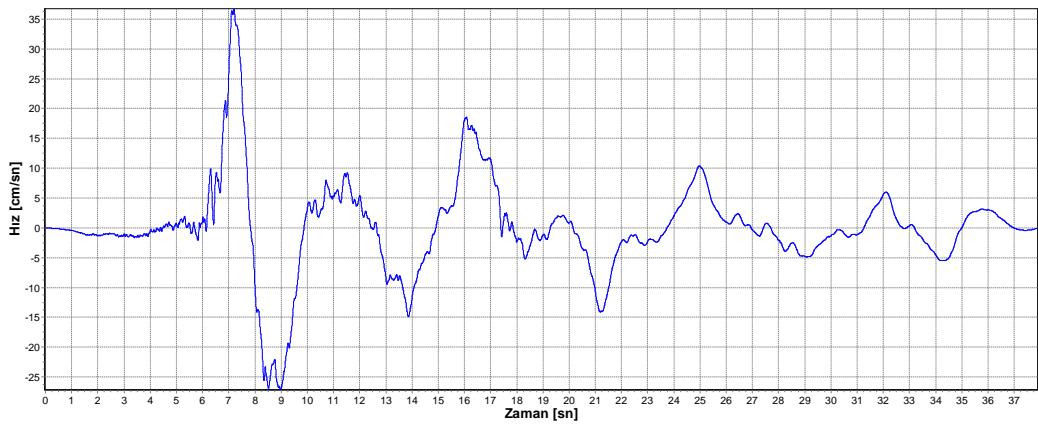
Şekil 4.46: Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının Fourier spektrumu



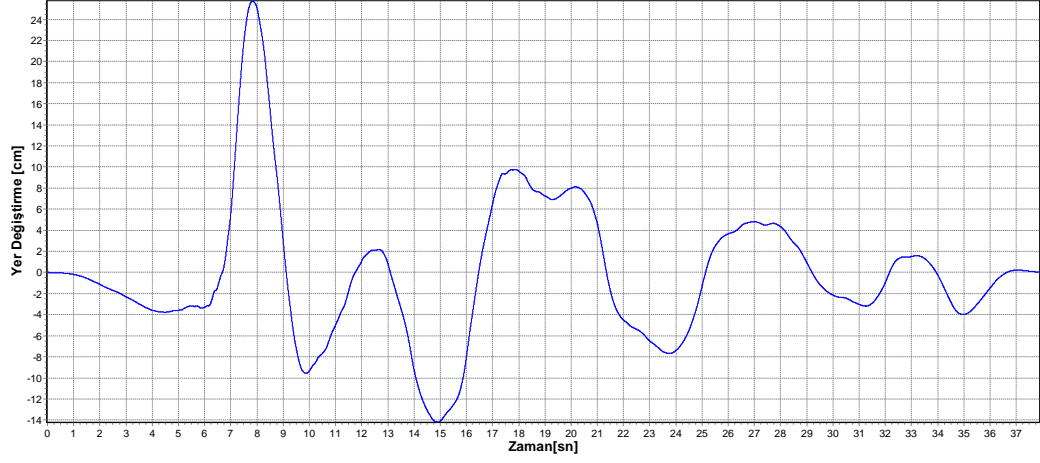
**Şekil 4.47:** Chi-Chi 1999 (ILA067) kaydının Arias şiddeti



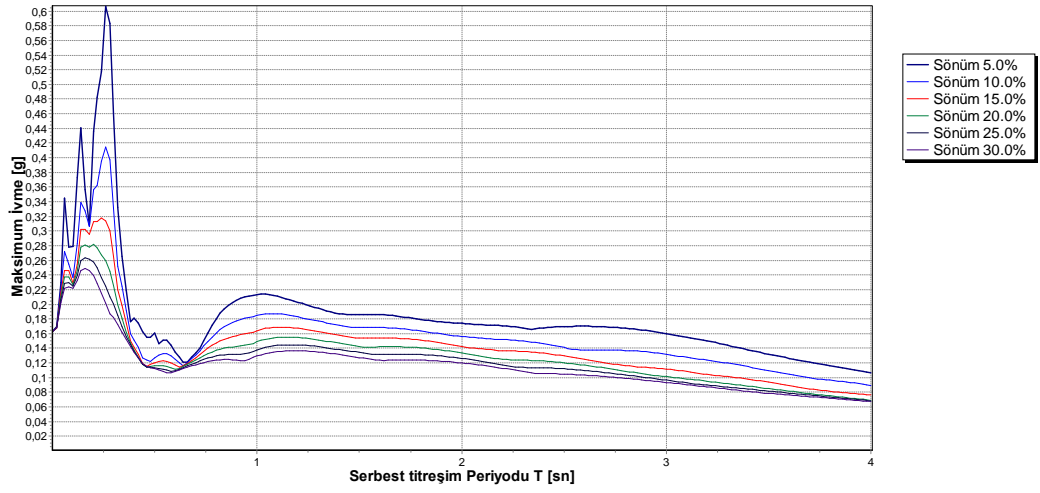
**Şekil 4.48:** Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının ivme-zaman grafiği



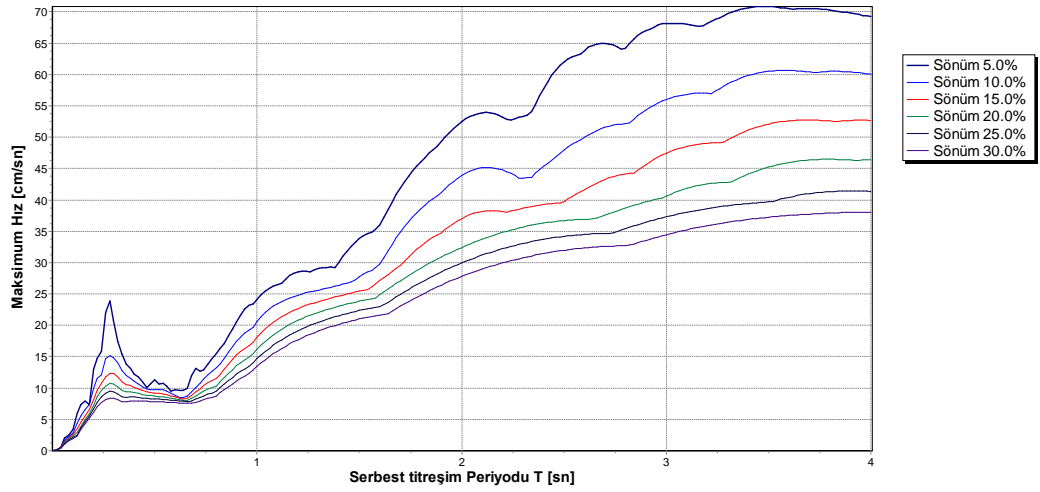
**Şekil 4.49:** Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının hız-zaman grafiği



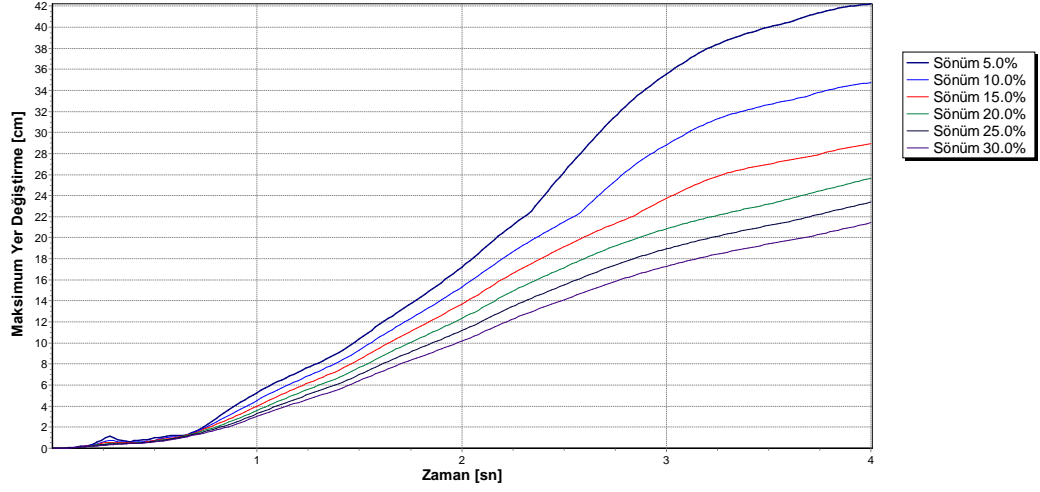
Şekil 4.50: Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının hız-zaman grafiği



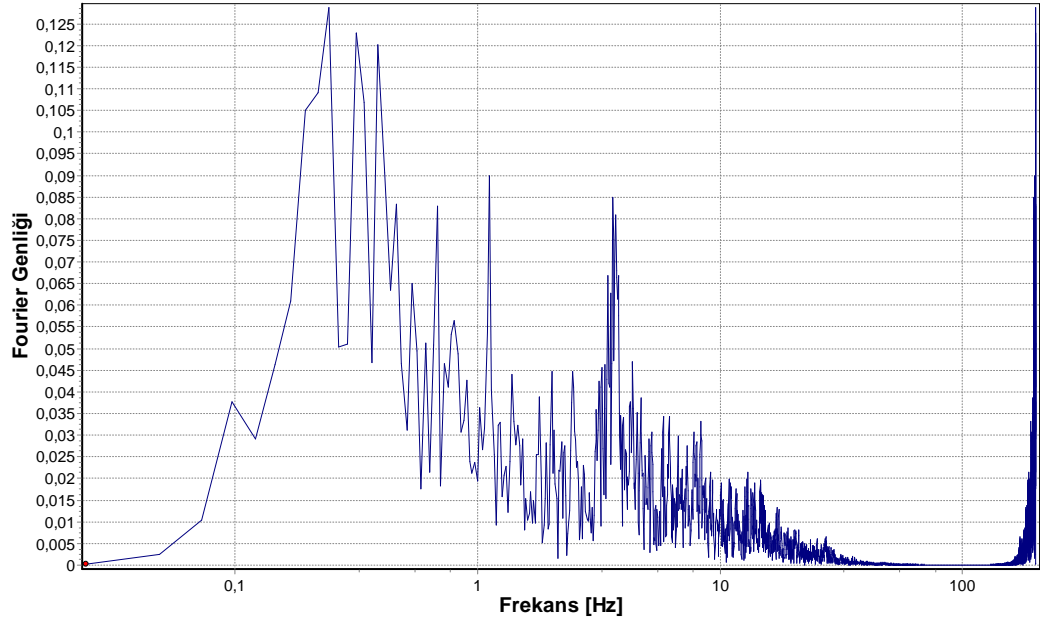
Şekil 4.51: Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının ivme spektrum eğrileri



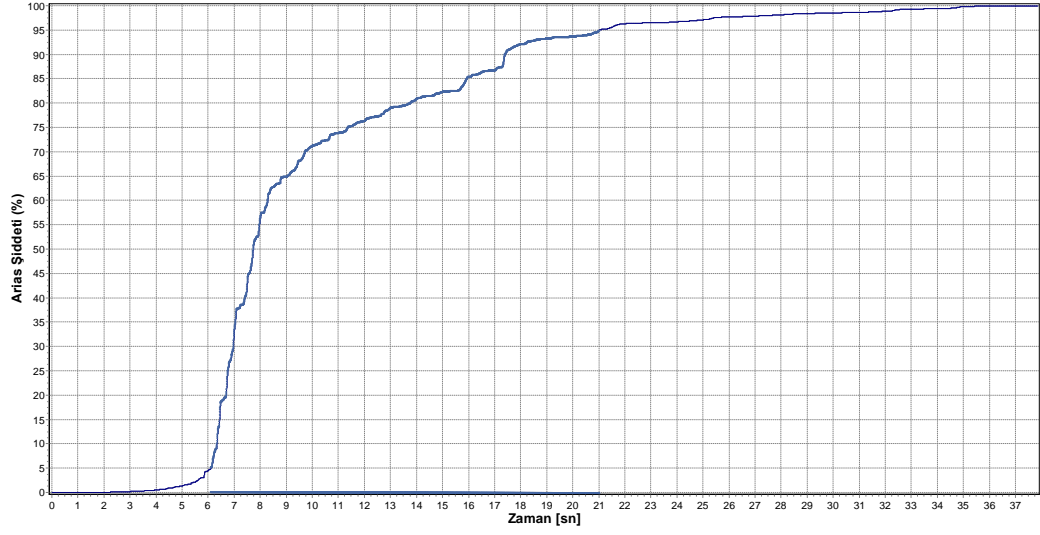
Şekil 4.52: Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının hız spektrum eğrileri



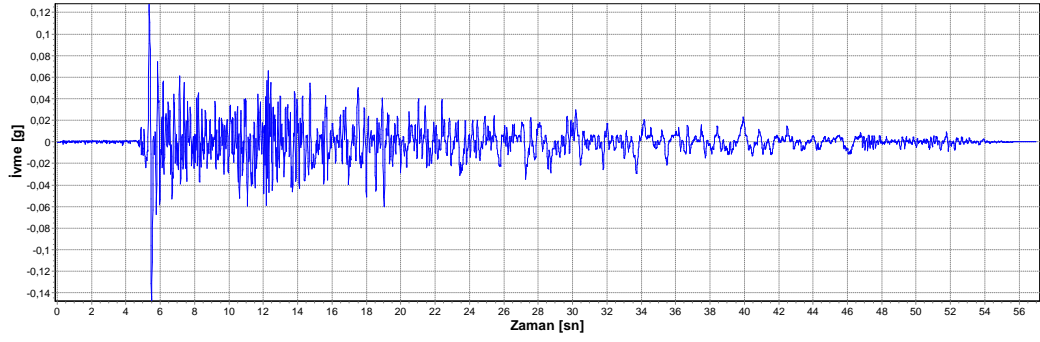
Şekil 4.53: Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri



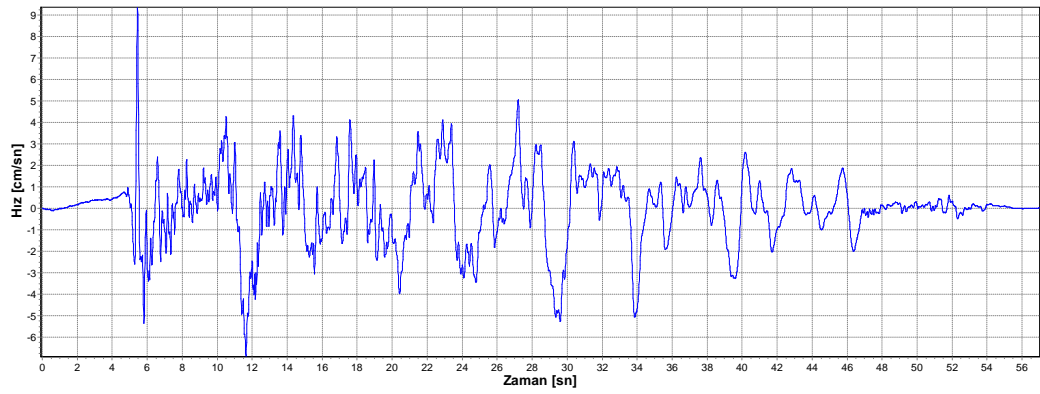
Şekil 4.54: Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının Fourier spektrumu



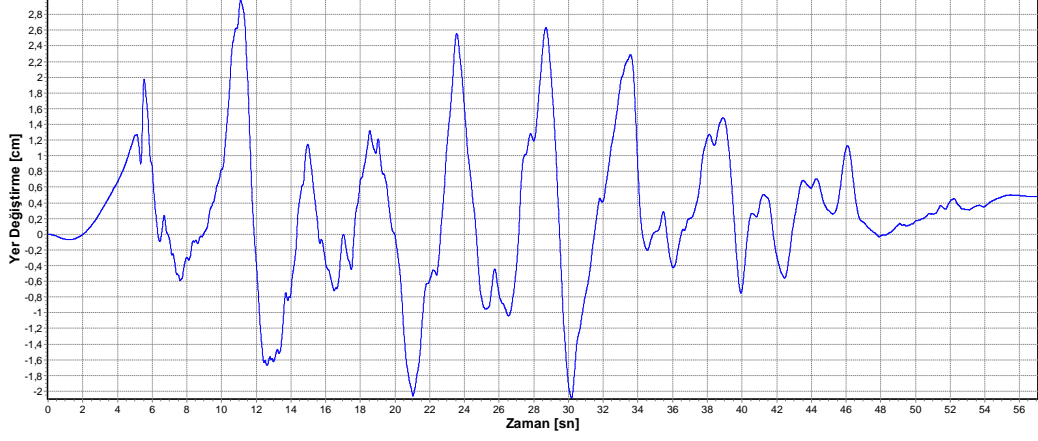
Şekil 4.55: Imperial Valley 1979 (H-BRA225) kaydının Arias şiddeti



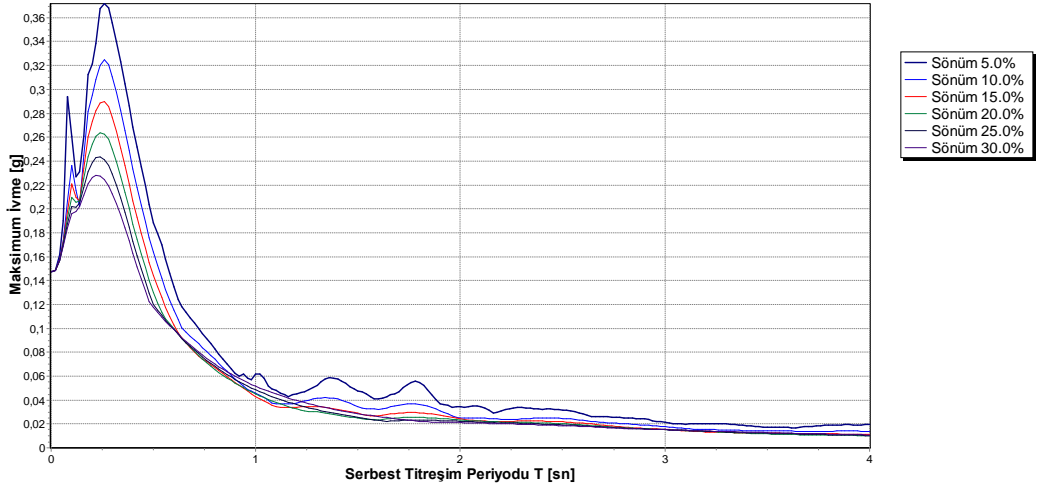
Şekil 4.56: Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının ivme-zaman grafiği



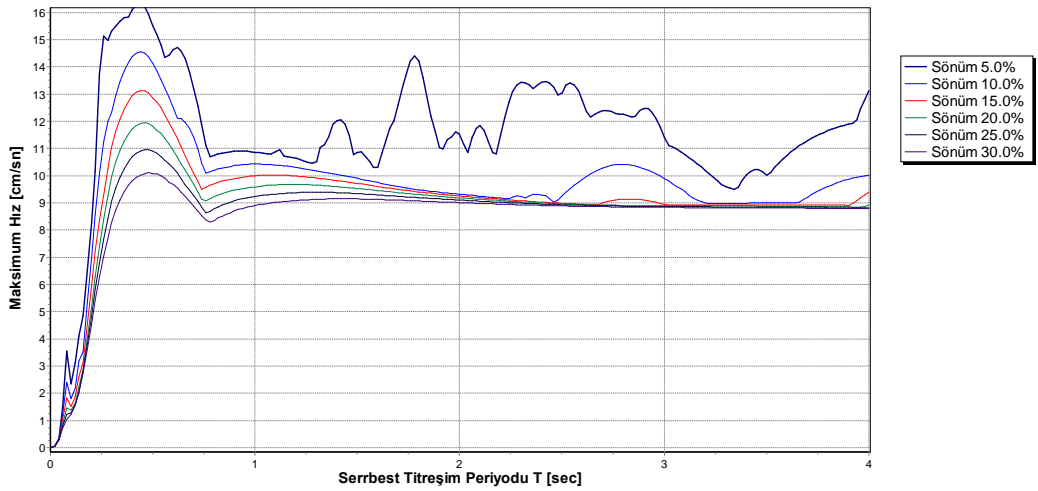
Şekil 4.57: Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının hız-zaman grafiği



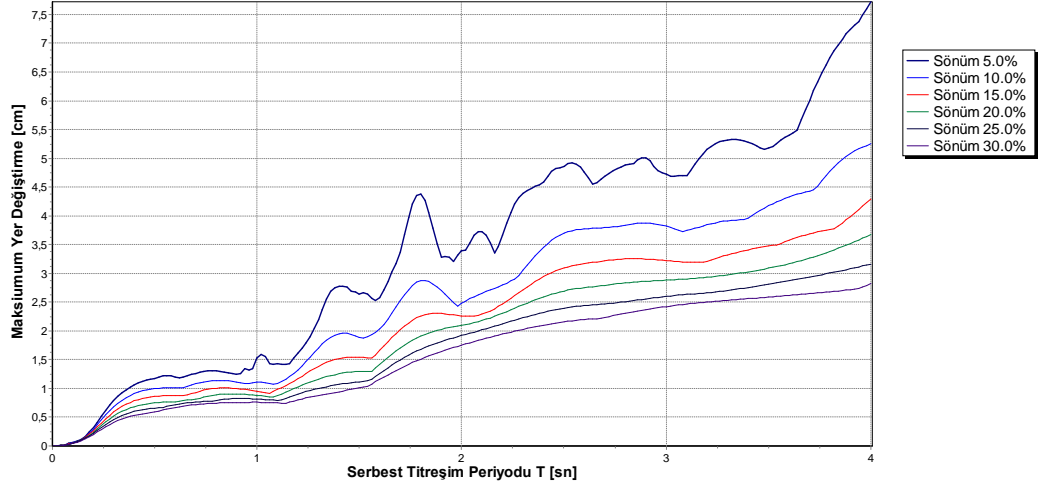
**Şekil 4.58:** Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının yer değiştirme-zaman grafiği



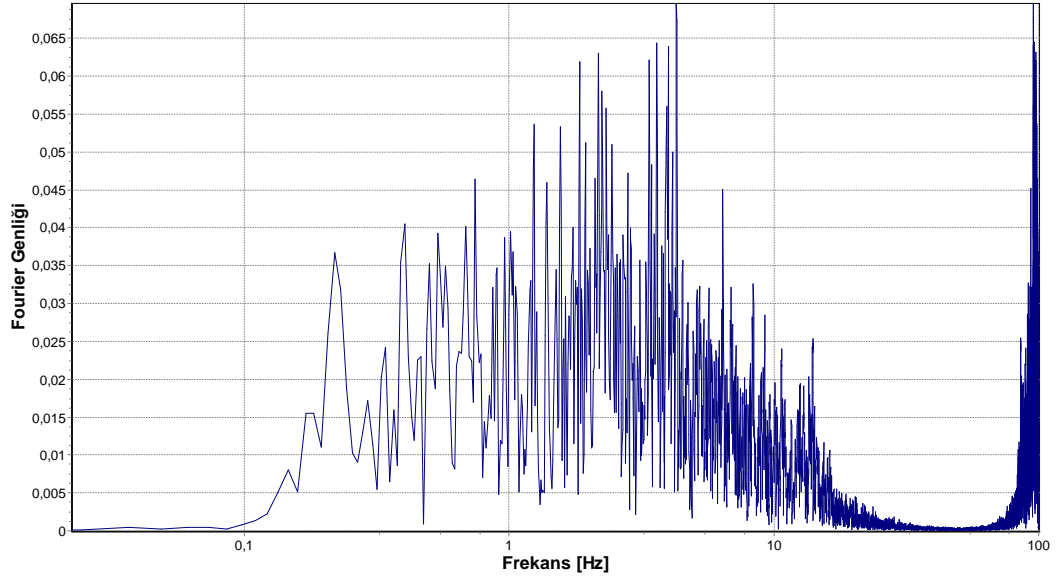
**Şekil 4.59:** Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının ivme spektrum eğrileri



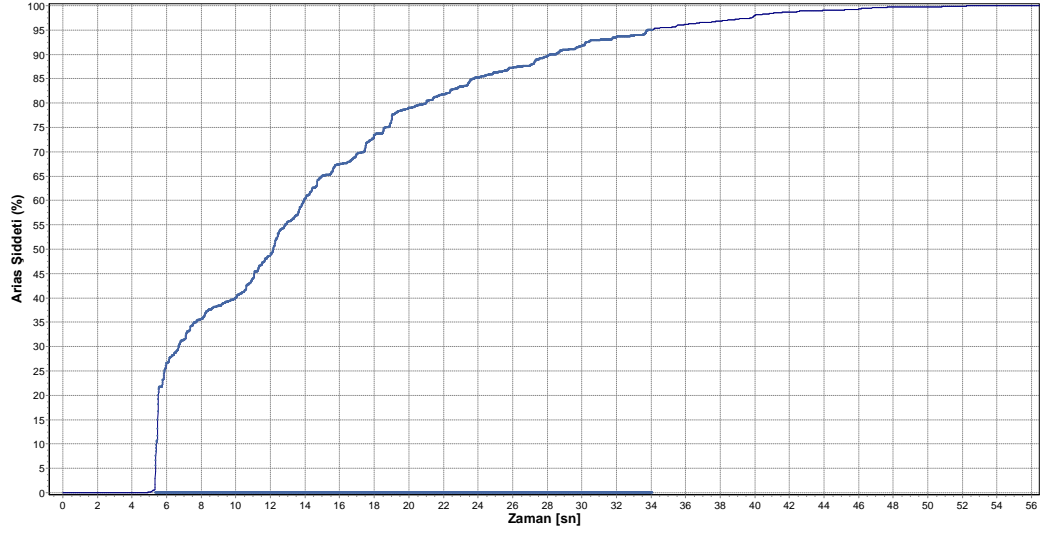
**Şekil 4.60:** Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının hız spektrum eğrileri



**Şekil 4.61:** Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının yer değiştirme spektrum eğrileri



**Şekil 4.62:** Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının Fourier spektrumu



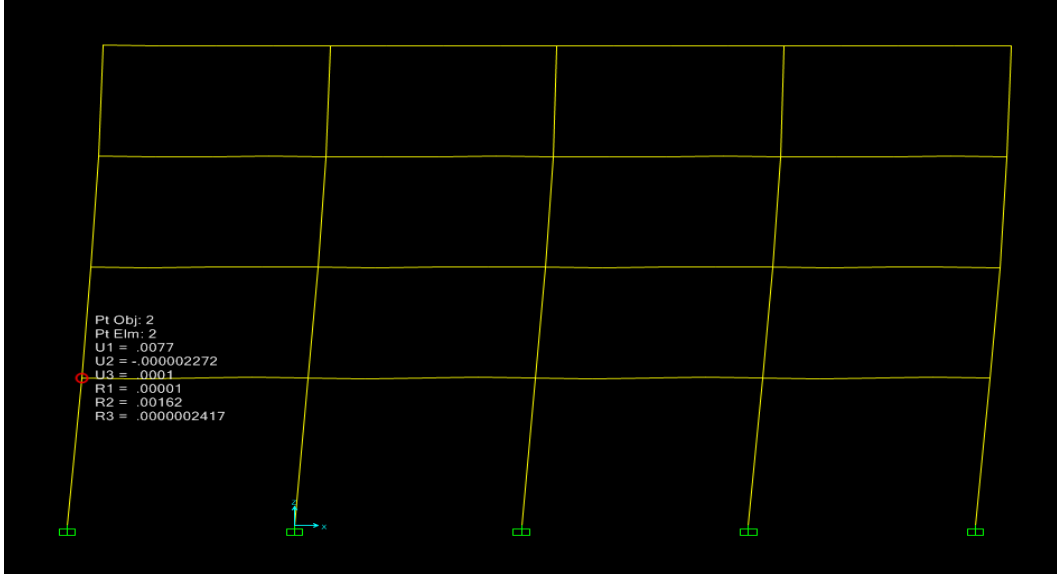
Şekil 4.63: Imperial Valley 1979 (H-CMP285) kaydının Arias şiddet spektrumu



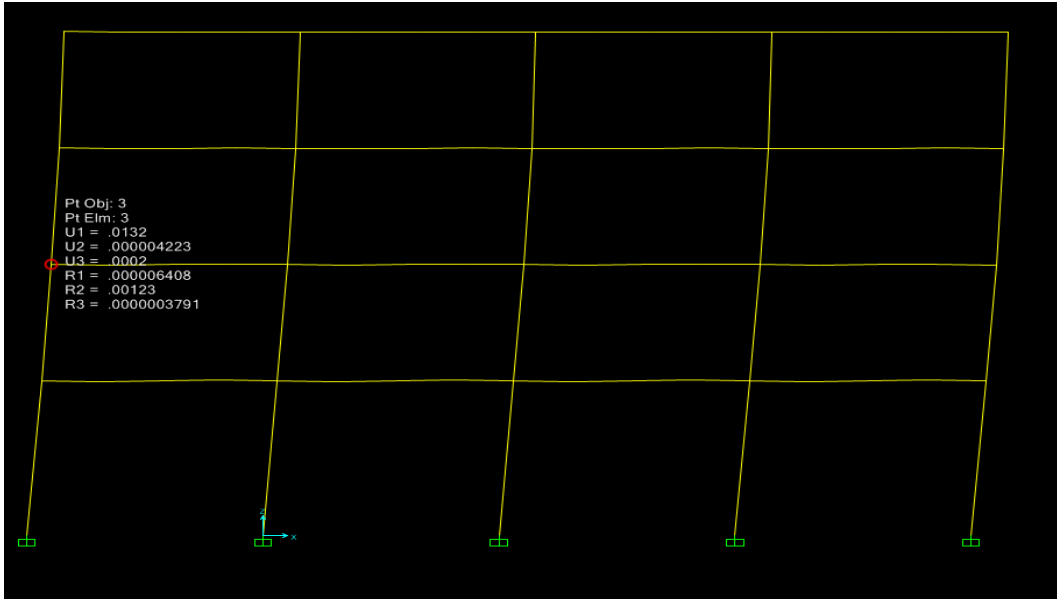
## EK B.

### Kocaeli 1999 Depremi IZT180 İstasyonu İvme Kaydı Altında Modellerin Yaptığı Yer Değişikliklerinin Şekillerle Gösterimi

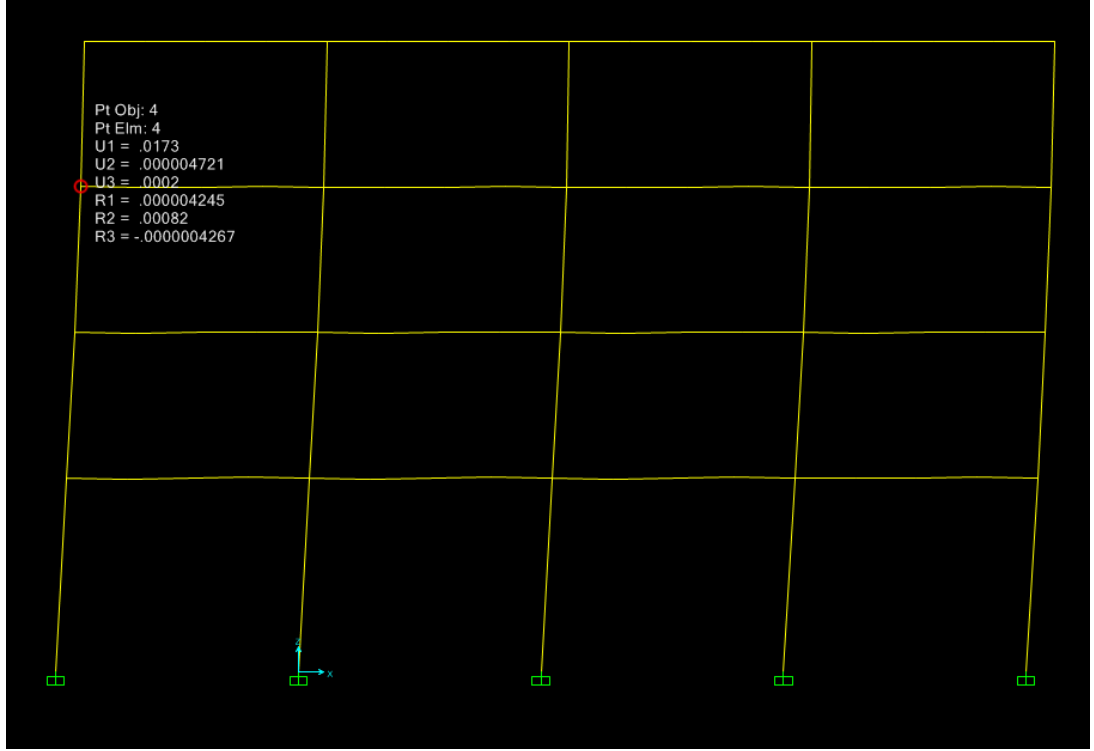
Sistemin yaptığı yer değişiklikleri göstermek açısından Kocaeli depremi IZT180 kaydı altında, sabit tabanlı, kauçuk izolatörlü ve sürtünmeli sarkaç mesnetli durumda oluşan yer değişiklikleri şekillerle gösterilmiştir.



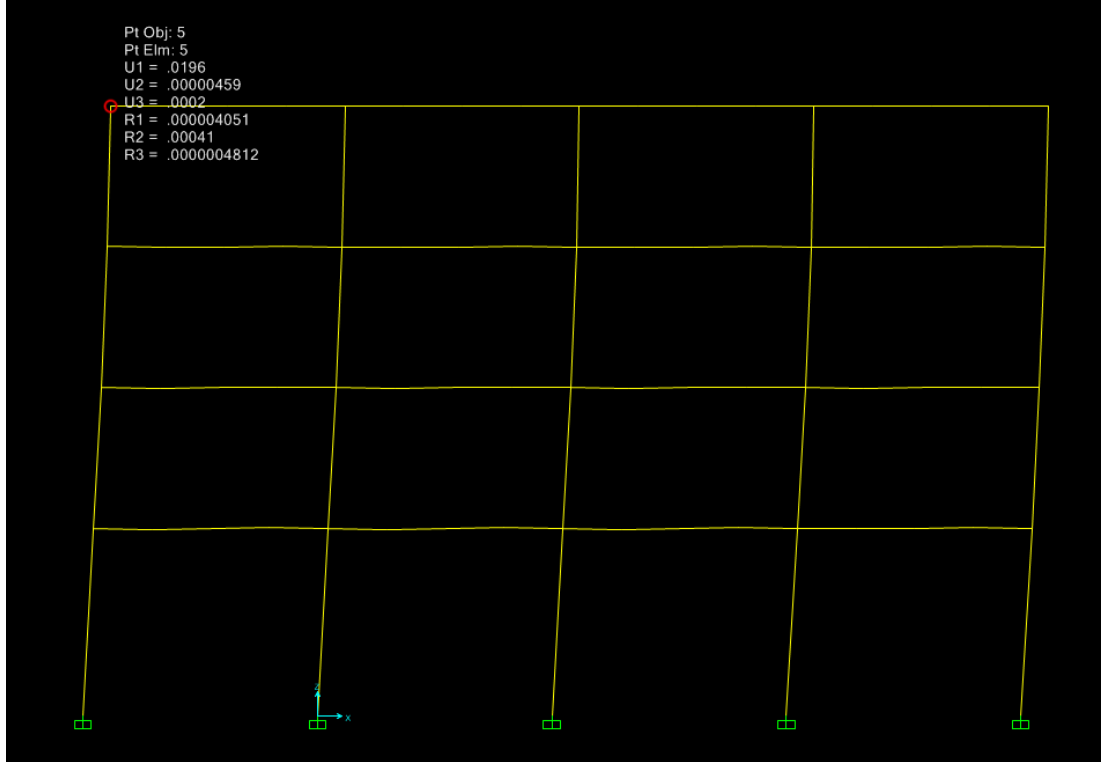
Şekil 4.64: Sabit tabanlı sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değişiklikleri



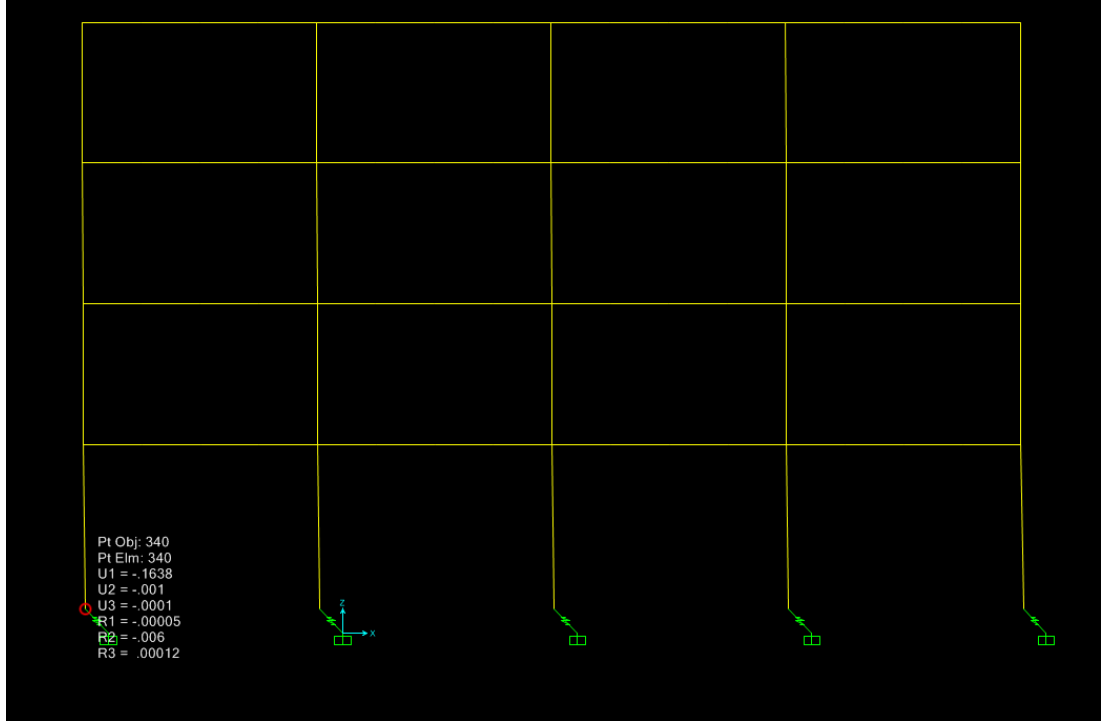
Şekil 4.65: Sabit tabanlı sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değişiklikleri



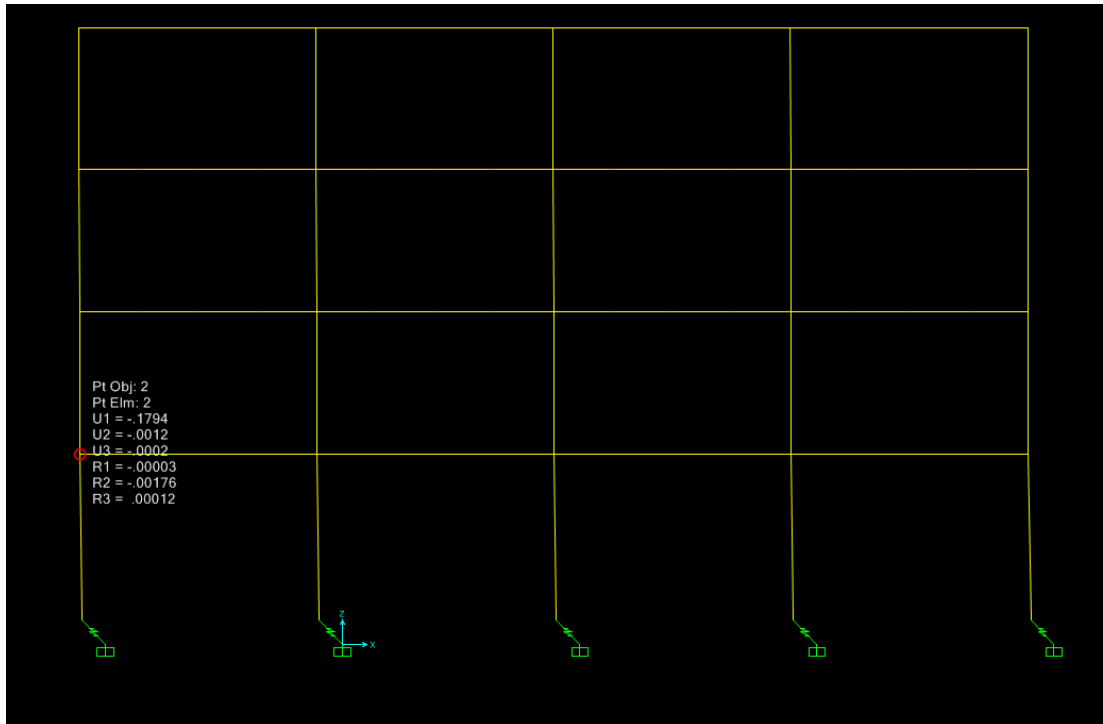
**Şekil 4.66:** Sabit tabanlı sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler



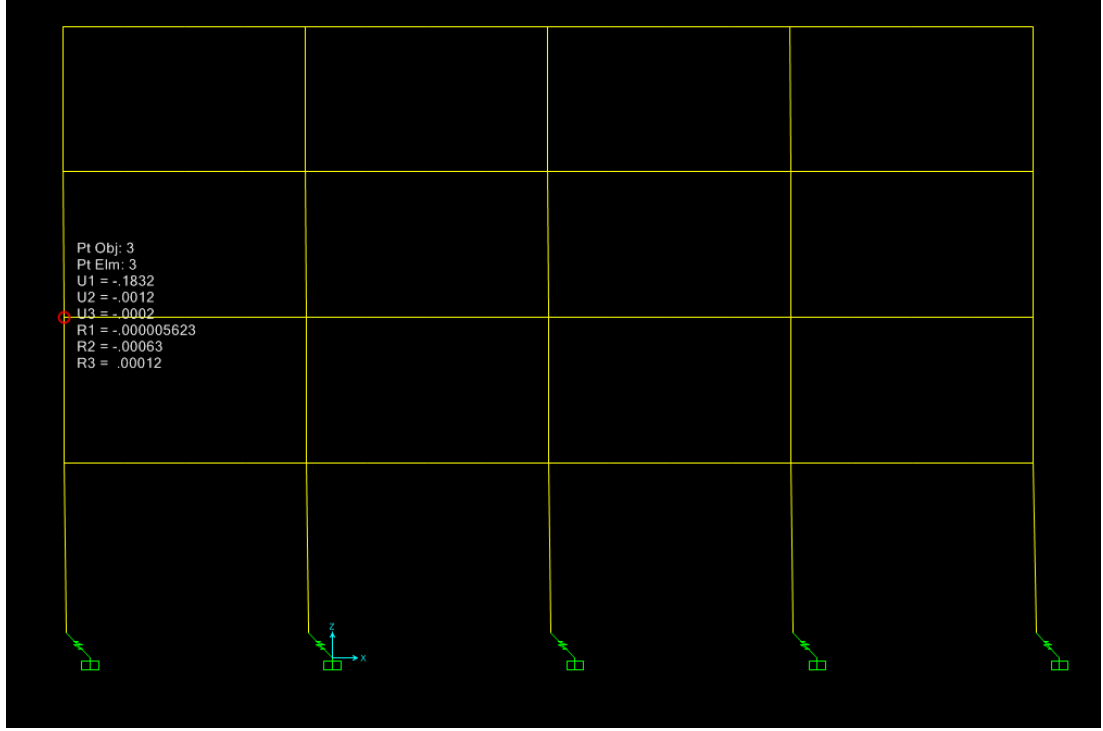
**Şekil 4.67:** Sabit tabanlı sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler



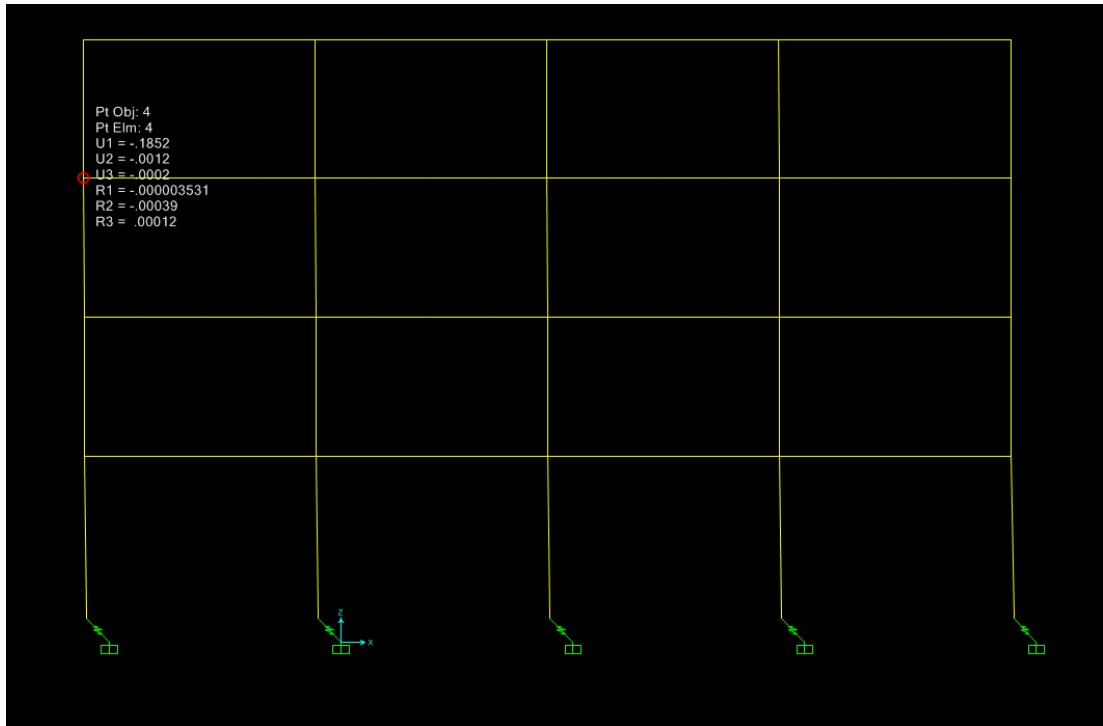
**Şekil 4.68:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D=2.00$  sn)



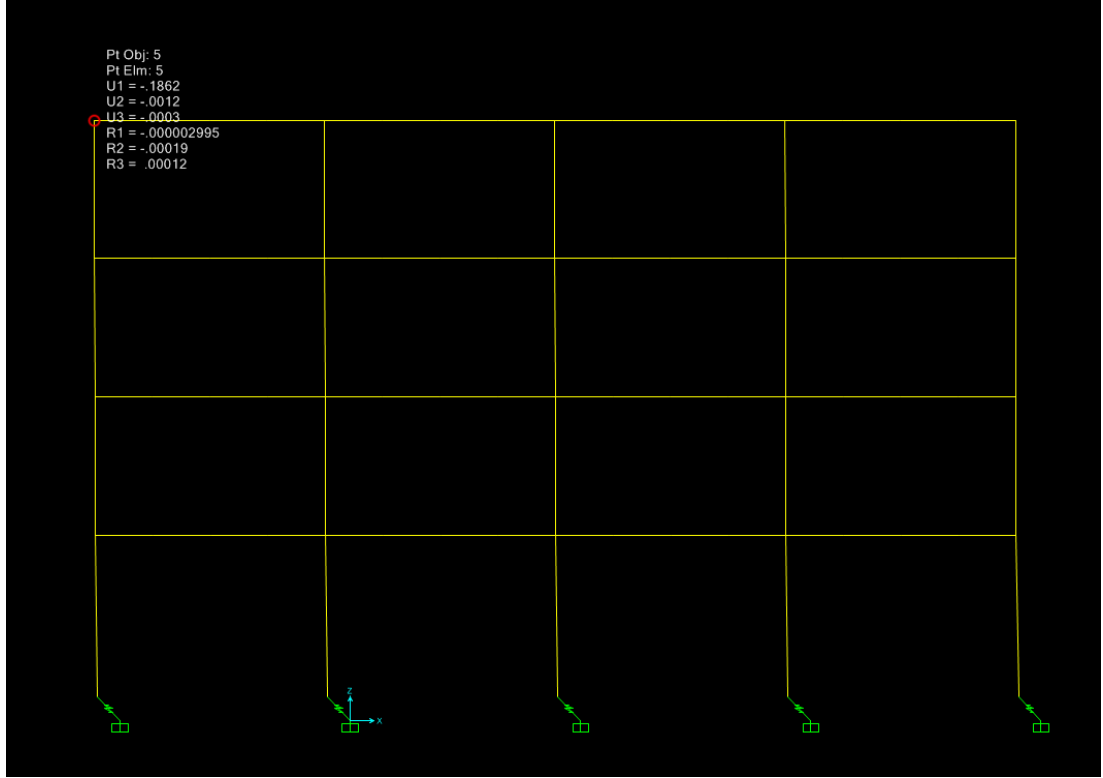
**Şekil 4.69:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 2.00$  sn)



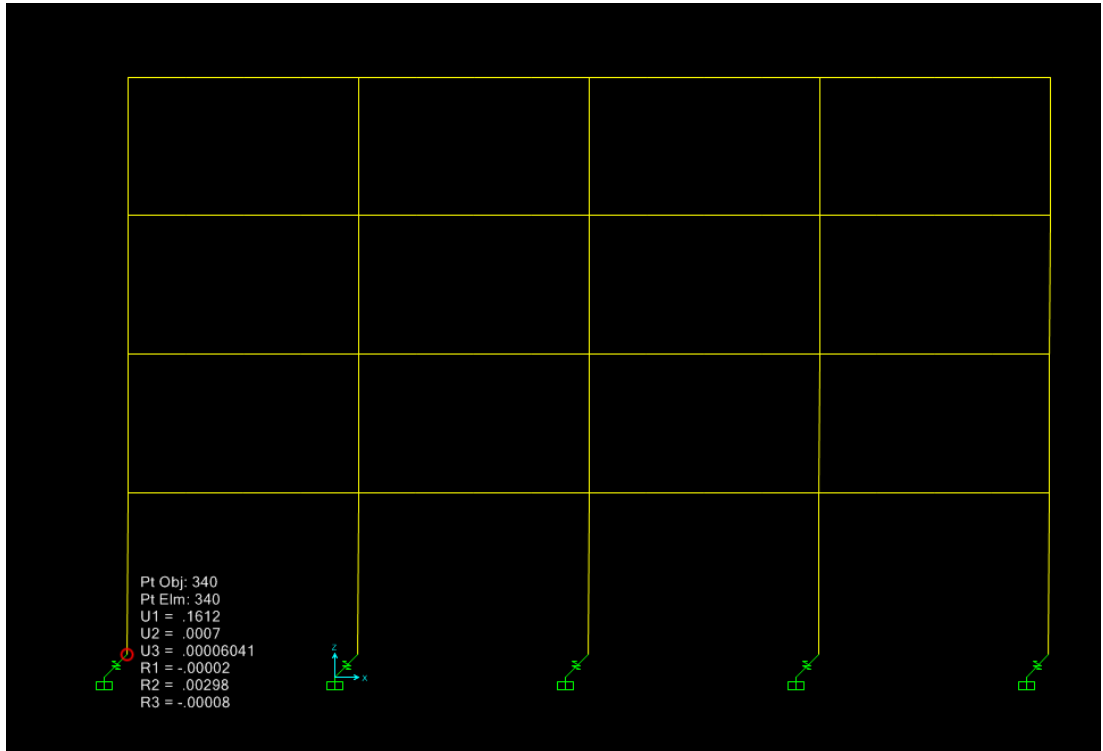
**Şekil 4.70:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 2.00$  sn)



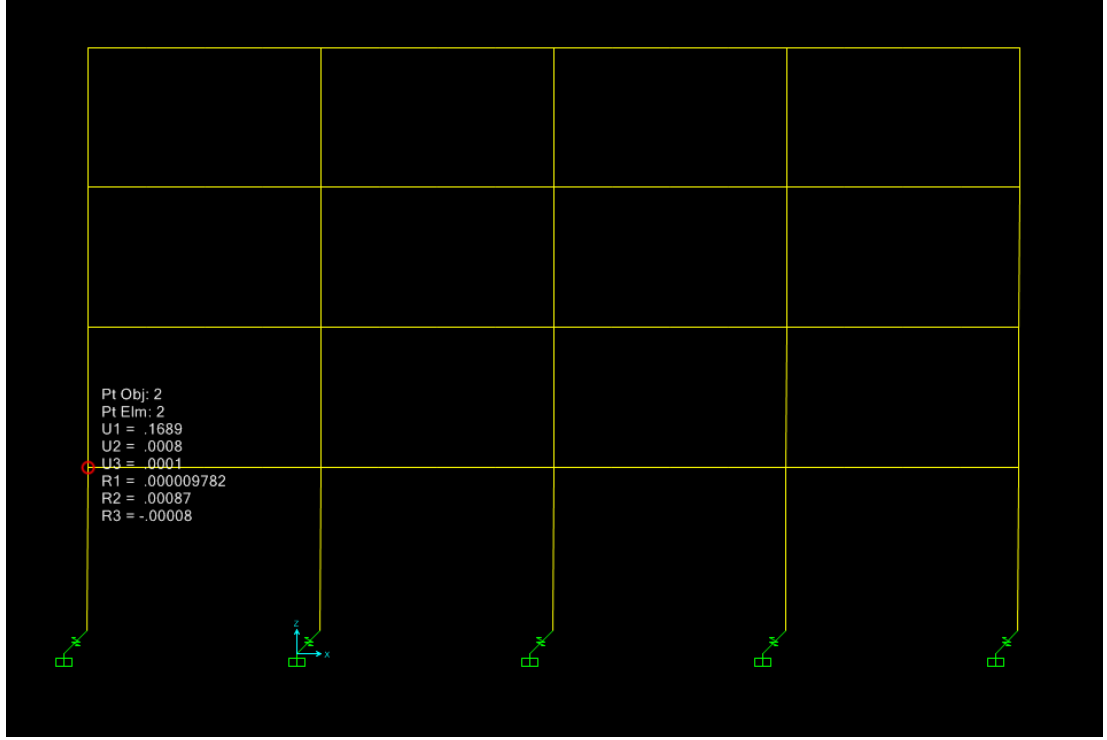
**Şekil 4.71:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 2.00$  sn)



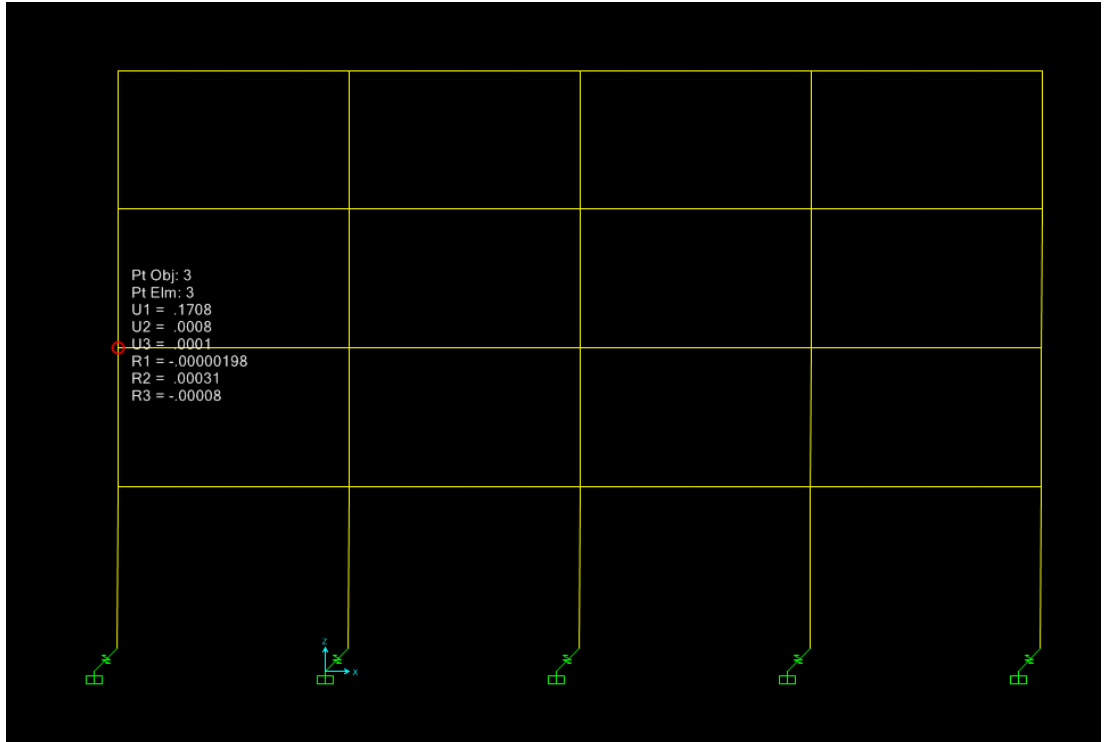
**Şekil 4.72:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 2.00$  sn)



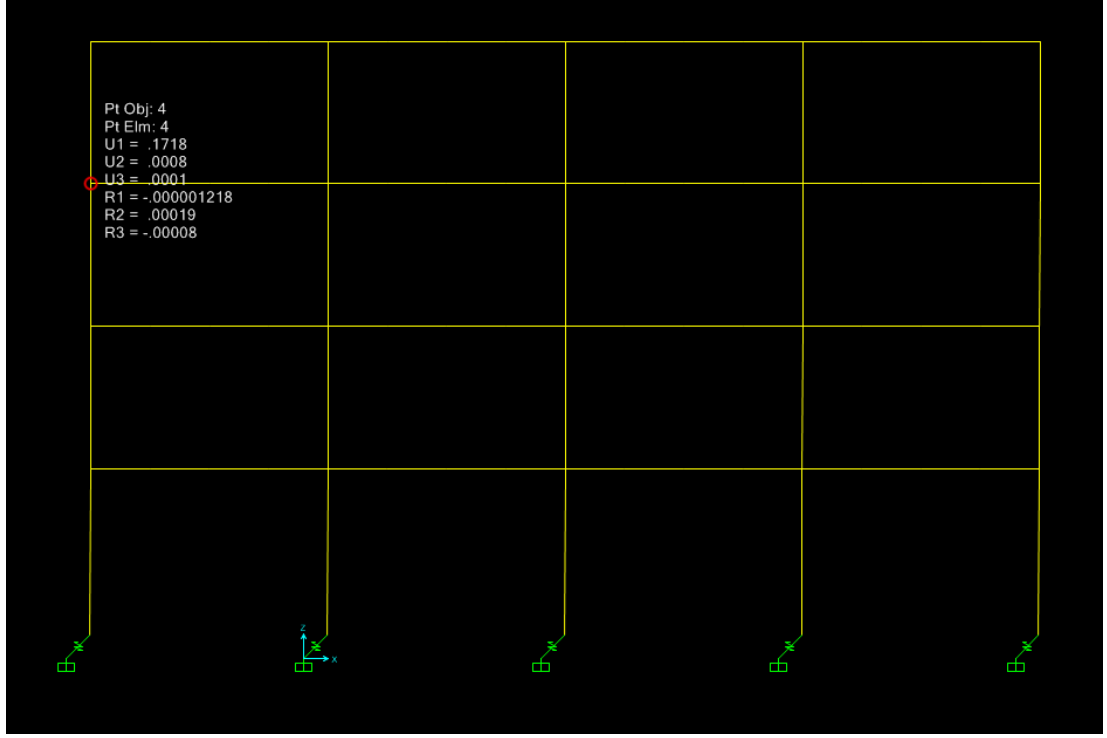
**Şekil 4.73:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)



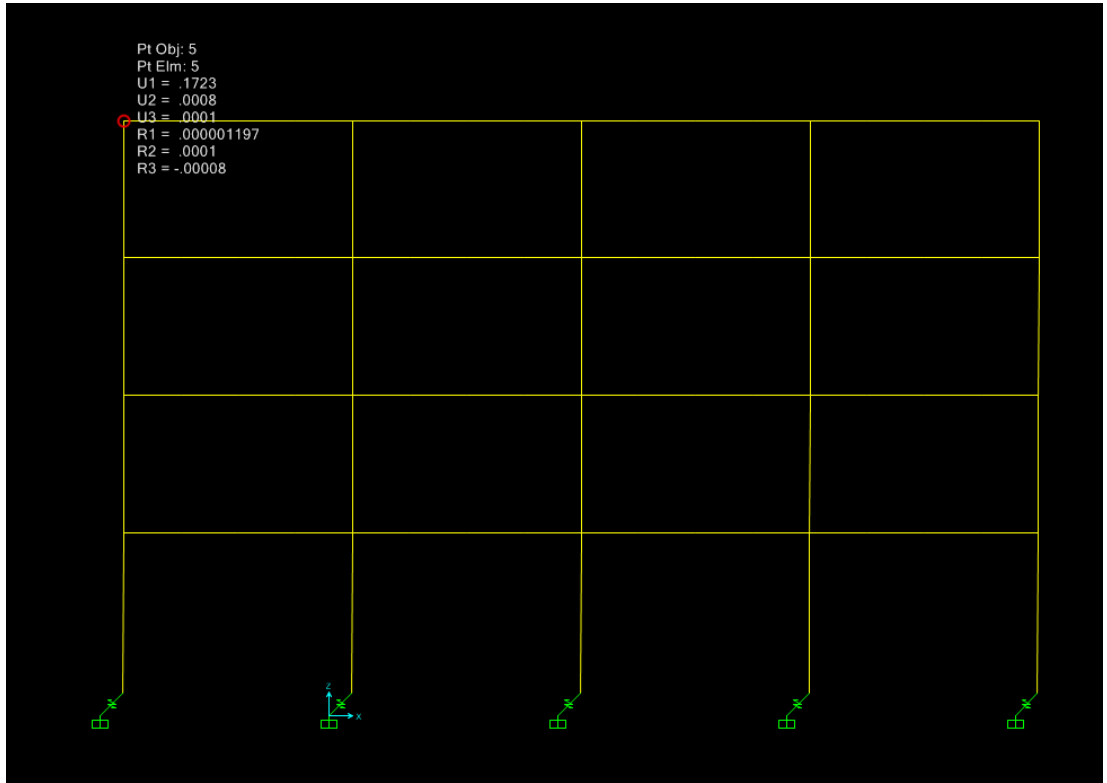
**Şekil 4.74:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)



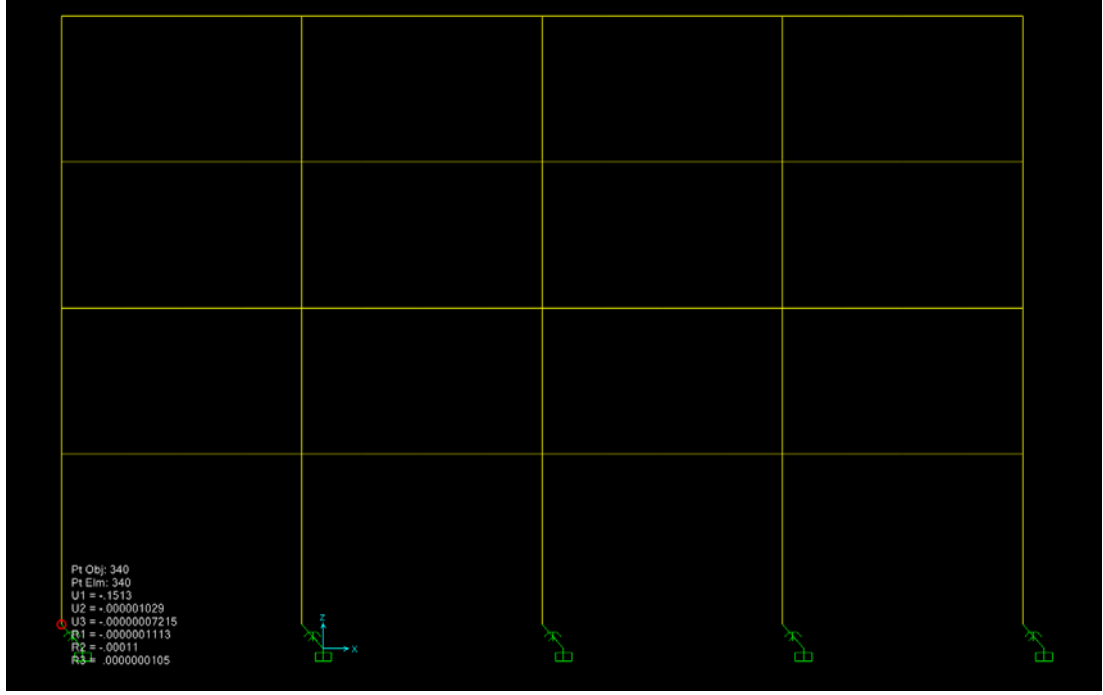
**Şekil 4.75:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)



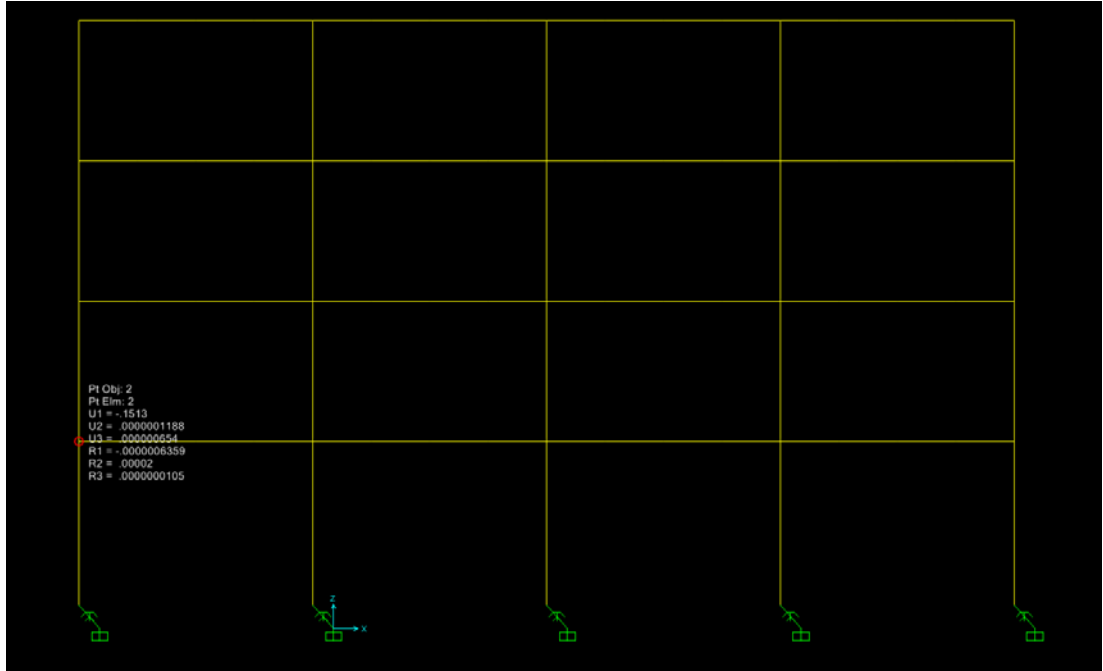
**Şekil 4.76:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)



**Şekil 4.77:** Kauçuk izolatörlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)

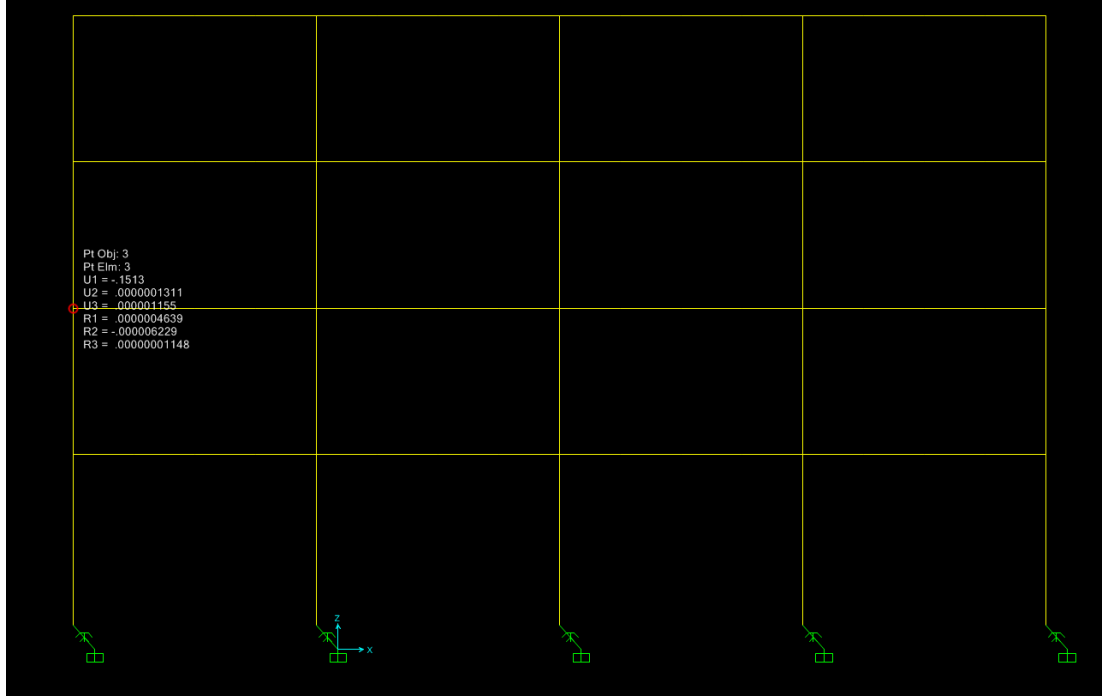


Şekil 4.78: Sürtünlü sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 2.00$  sn)

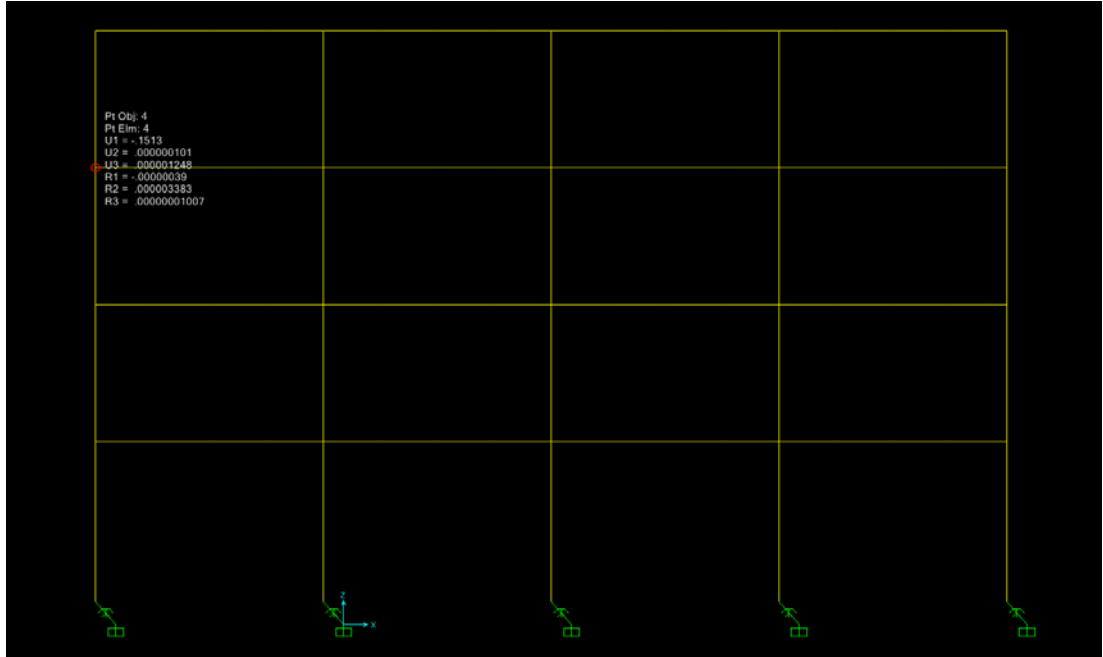


Şekil 4.79: Sürtünlü sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 2.00$  sn)

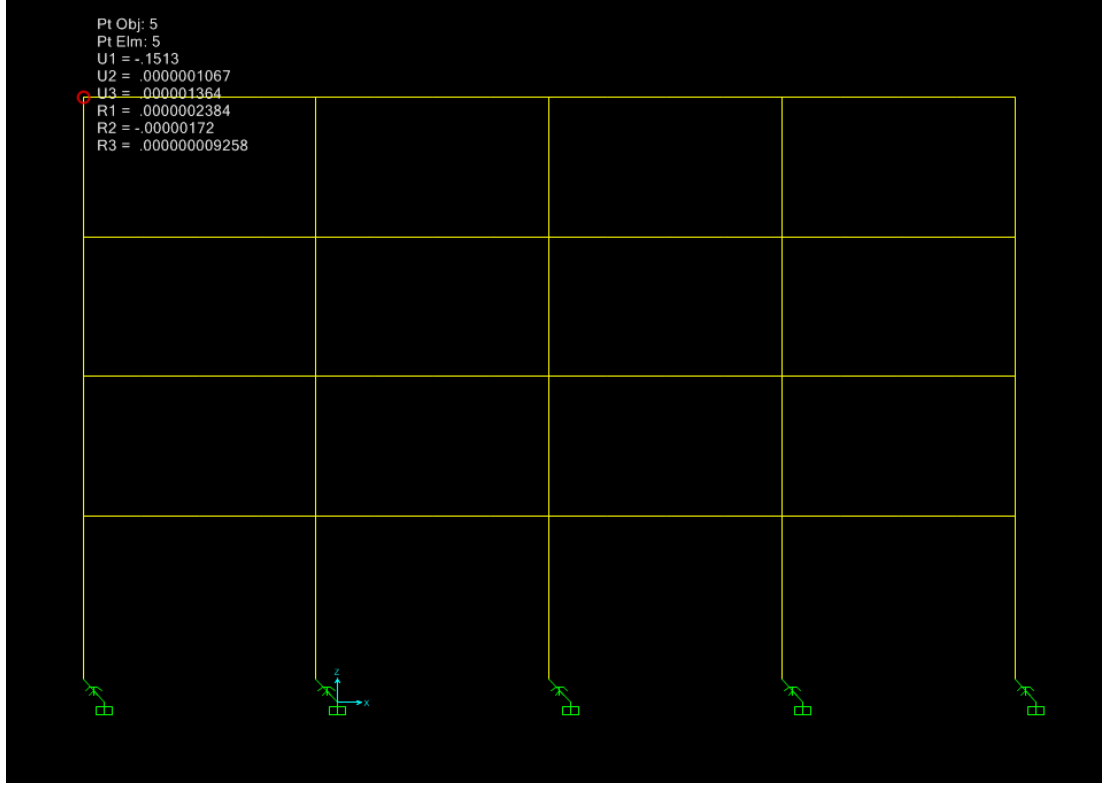




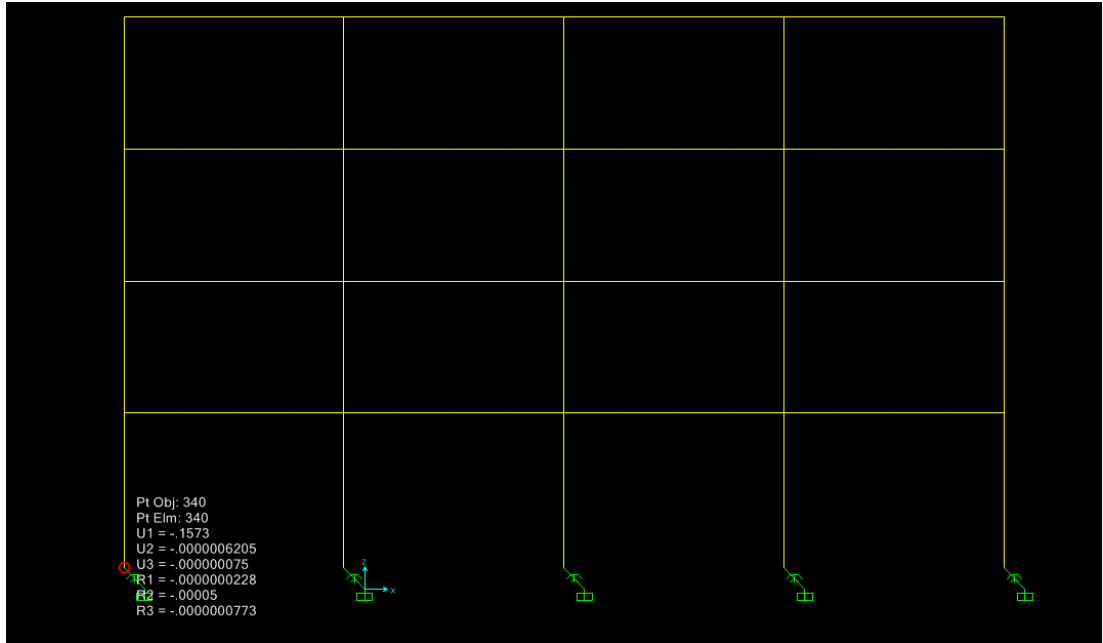
Şekil 4.80: Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 2.00$  sn)



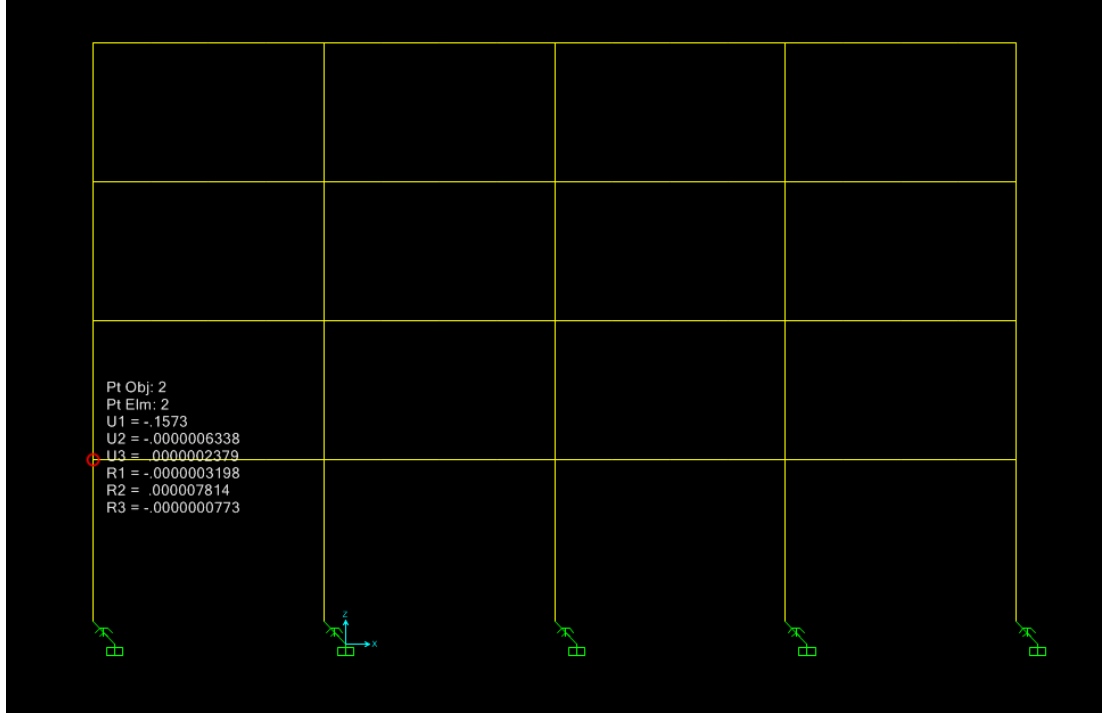
Şekil 4.81: Sürtünmeli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 2.00$  sn)



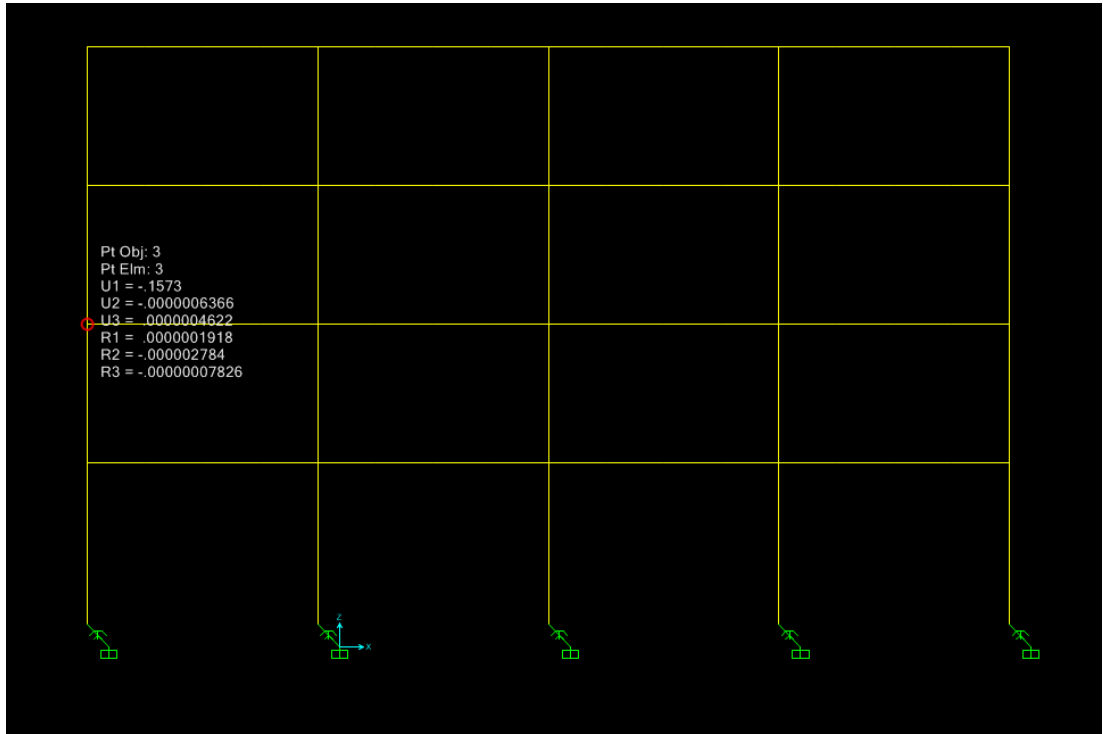
**Şekil 4.82:** Sürtünlü sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 2.00$  sn)



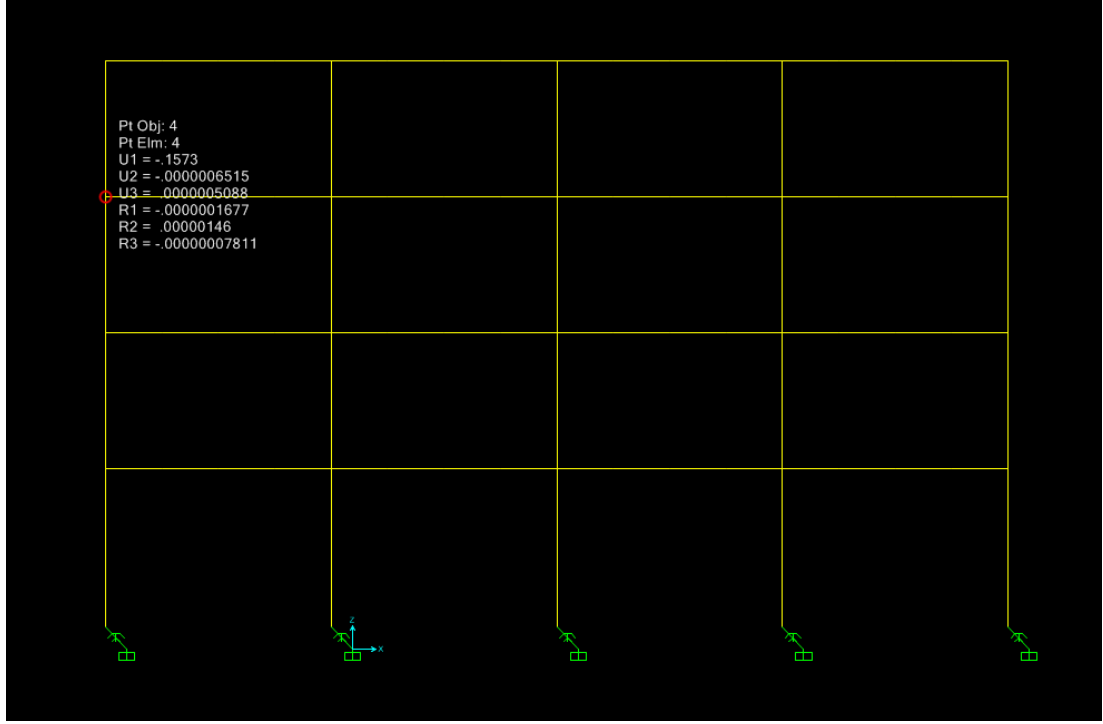
**Şekil 4.83:** Sürtünlü sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)



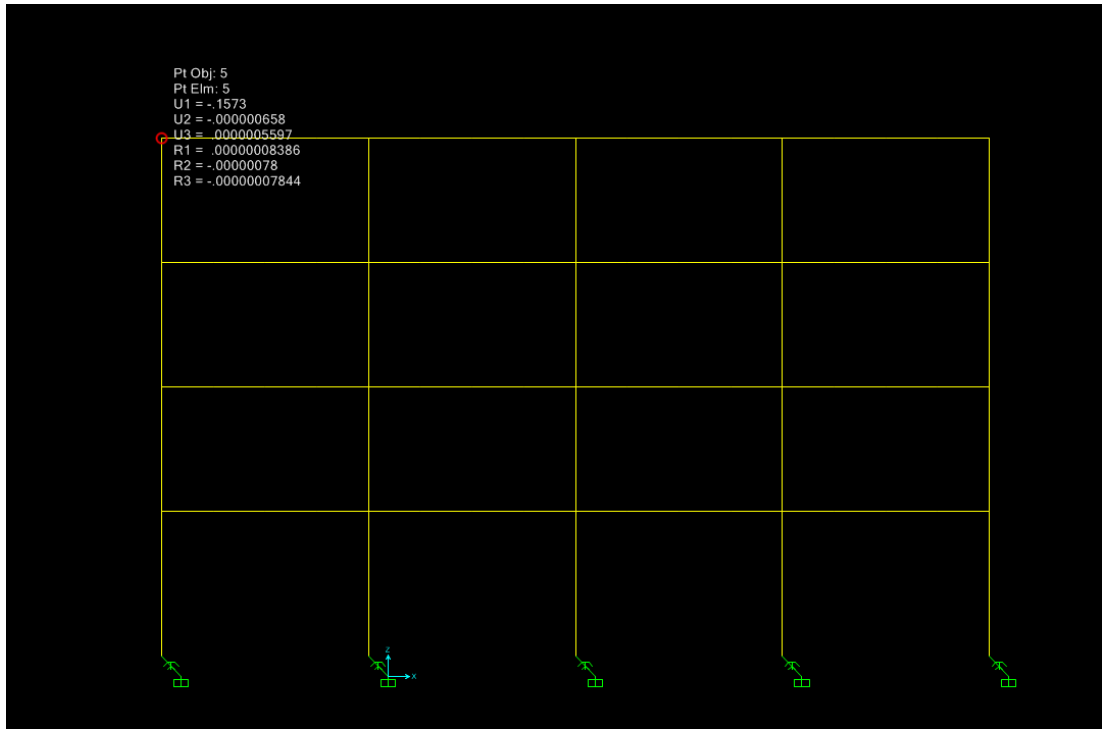
**Şekil 4.84:** Sürtünlü sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)



**Şekil 4.85:** Sürtünlü sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)



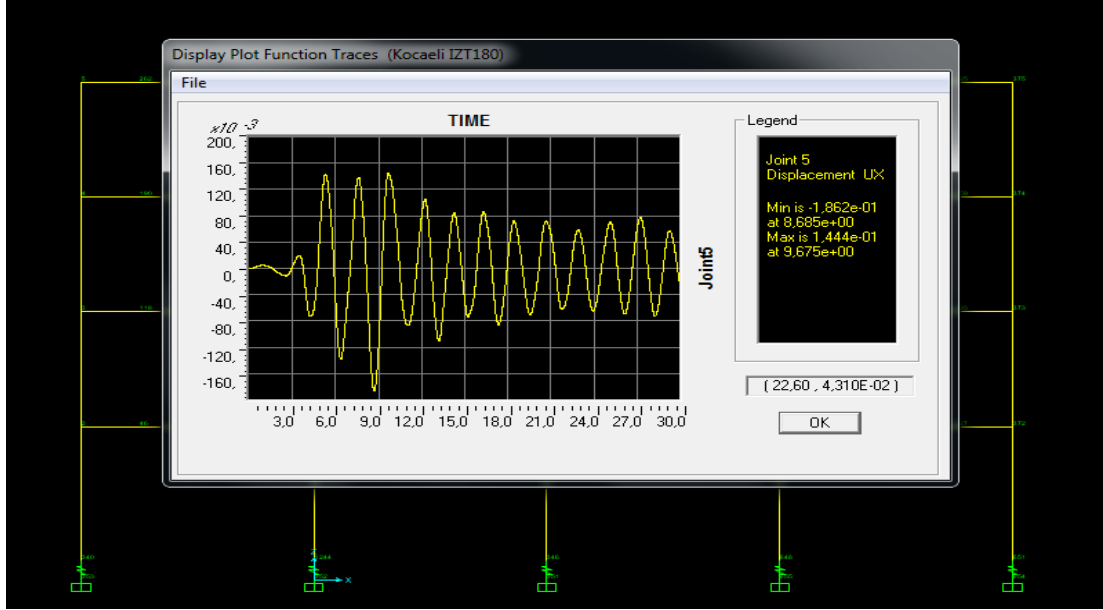
**Şekil 4.86:** Sürtünlü sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)



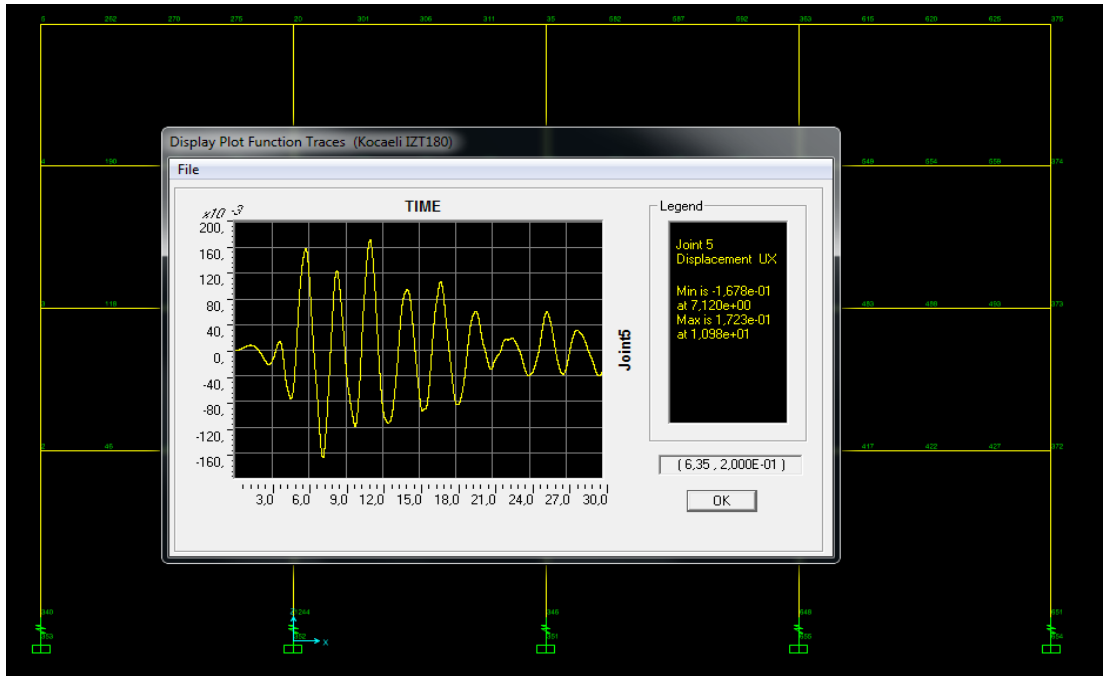
**Şekil 4.87:** Sürtünlü sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan yer değiştirmeler ( $T_D= 3.50$  sn)

## EK C.

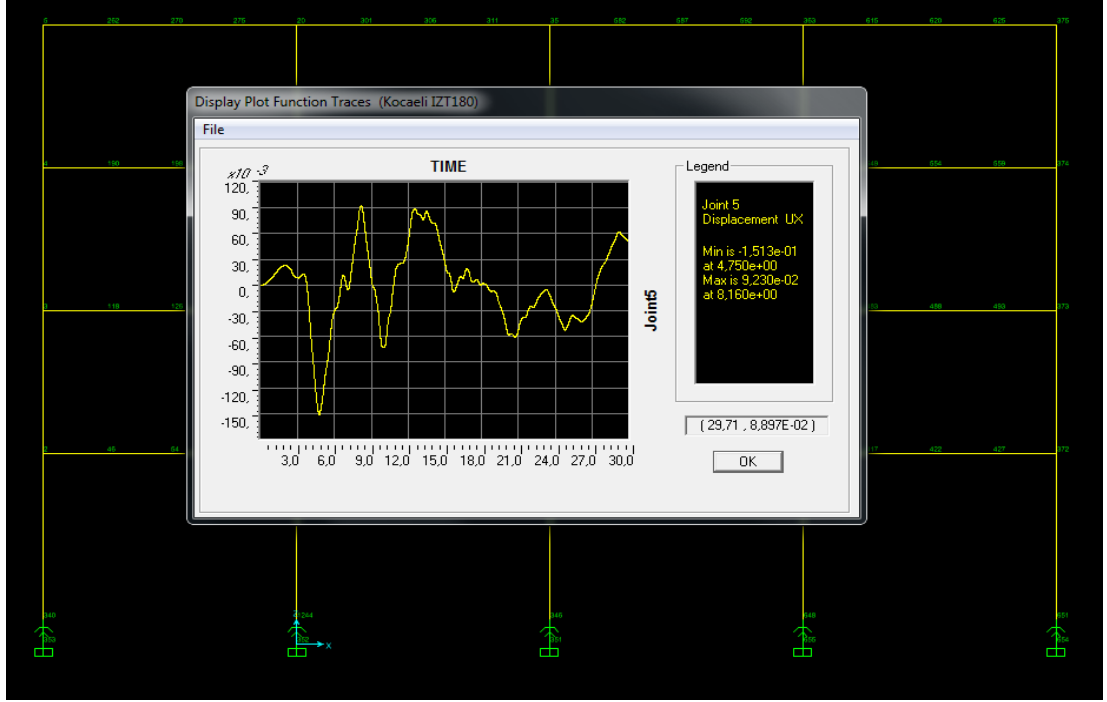
### 5 Numaralı Tepe Dügüm Noktasının Zamana Bağlı Yatay Yer Değıştirmeleri



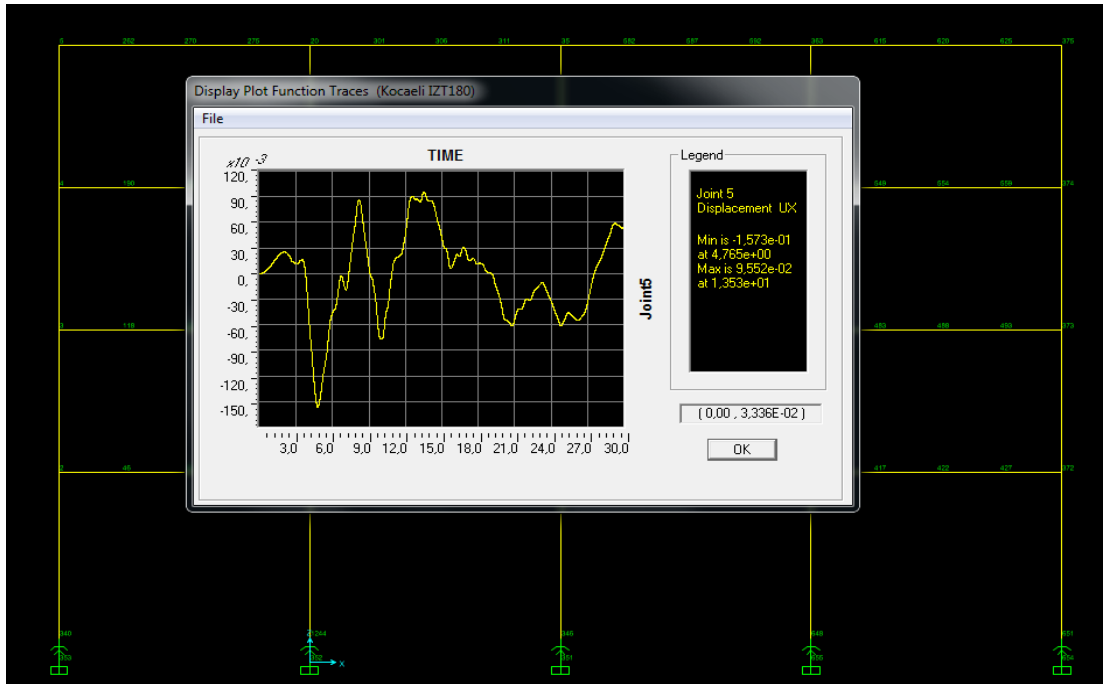
Şekil 4.88: Kauçuk izolatorlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan 5 numaralı düğüm noktasının yatay yer değıştirmelerinin zamana bağli değışimi ( $T_D= 2.00$  sn)



Şekil 4.89: Kauçuk izolatorlü sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan 5 numaralı düğüm noktasının yatay yer değıştirmelerinin zamana bağli değışimi ( $T_D= 3.50$  sn)



**Şekil 4.90:** Sürtüneli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan 5 numaralı düğüm noktasının yatay yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi ( $T_D= 2.00$  sn)



**Şekil 4.91:** Sürtüneli sarkaç mesnetli sistemde Kocaeli 1999 depremi IZT180 kaydı altında oluşan 5 numaralı düğüm noktasının yatay yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi ( $T_D= 3.50$  sn)