



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SÖNÜMÜN SİSMİK TABAN İZOLASYONU VE
SÖNÜMLEYİCİLERİN KULLANILDIĞI BİNALARIN
DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİ**

**İnş. Müh. Furkan ŞAHİN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN**

Temmuz, 2008

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SÖNÜMÜN SİSMİK TABAN İZOLASYONU VE
SÖNÜMLEYİCİLERİN KULLANILDIĞI BİNALARIN
DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİ**

**İnş. Müh. Furkan ŞAHİN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Cenk ALHAN**

Temmuz, 2008

İSTANBUL

Bu çalışma ^{30.07}.../2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

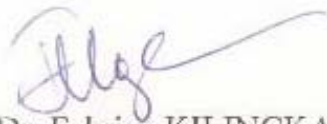
Tez Jürisi



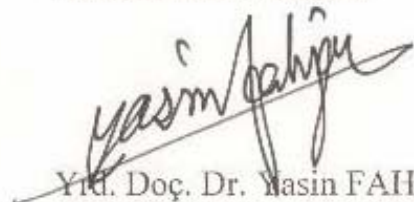
Prof. Dr. N. Kemal ÖZTORUN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Feyza ÇİNİCİOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Yrd. Doç. Dr. Yasin FAHJAN
(G.Y.T.E)
Deprem ve Yapı Bilimleri Enstitüsü



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

ÖNSÖZ

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

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca yardımlarından dolayı değerli hocam Araş. Gör. Erdem DAMCI, Araş. Gör. Rasim TEMUR, Araş. Gör. Hatice GAZİ, Araş. Gör. Barış GÜNEŞ'e, benden desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme ve eşime, tüm çalışma arkadaşlarıma gösterdikleri ilgi, anlayış ve hoşgörü dolayısıyla teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz, 2008

Furkan ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iii
TABLO LİSTESİ	iv
SEMBOL LİSTESİ	v
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
1. GİRİŞ	1
2. SİSMİK İZOLASYON VE PASİF SÖNÜMLEYİCİLER	9
2.1. SİSMİK İZOLASYONUN TARİHSEL GELİŞİMİ	9
2.2. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİ	10
2.2.1. Elastomer Mesnetler	11
2.2.1.1. Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetler.....	12
2.2.1.2. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler.....	12
2.2.1.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler.....	13
2.2.2. Kayıcı Sistemler.....	13
2.2.2.1. Sürtünmeli Sarkaç Mesnet.....	14
2.2.2.2. Fransız Elektrik Kurumu	14
2.2.2.3. TASS Sistemi	14
2.2.2.4. EERC Birleşik Sistemi	15
2.4. PASİF SÖNÜMLEYİCİLER	15
2.4.1. Histeritik Sistemler	15
2.4.2. Viskoz Sönümleyiciler.....	15
2.4.3. Visko-Elastik Sönümleyiciler	15

3. SİSMİK İZOLATÖRLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE UBC97 TASARIM KRİTERLERİ.....	18
3.1. GİRİŞ	18
3.2. KAÜÇUK MESNETLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	18
3.3. KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAÜÇUK MESNETLER İÇİN KUVVET-YER DEĞİŞTİRME İLİŞKİLERİ.....	20
3.4. KAÜÇUK MESNETLERİN MATEMATİK MODELLEMESİ	22
3.4.1. Kauçuk Mesnetlerin Lineer Modeli	22
3.4.2. Kauçuk Mesnetlerin Lineer Olmayan İki Eksenli Modeli	23
3.5. UNIFORM BUILDING CODE (UBC97) TANIMLARI VE TASARIM KRİTERLERİ	24
4. MATEMATİKSEL MODELLEME VE YÖNTEM	28
4.1. ÜST YAPININ ÖZELLİKLERİ	29
4.2. LİNEER İZOLASYON SİSTEMİ	30
4.2.1. Üç Katlı Yapı	30
4.2.2. Beş Katlı Yapı.....	31
4.3. LİNEER OLMAYAN İZOLASYON SİSTEMLERİ	32
4.3.1. Üç Katlı Yapı	33
4.3.1.1. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet Uygulaması.....	33
4.3.1.2.Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Uygulaması.....	40
4.3.2. Beş Katlı Yapı	47
4.3.2.1. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet Uygulaması.....	47
4.3.2.2.Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Uygulaması.....	54
4.4. TARİHİ DEPREM KAYITLARI	62
5. BULGULAR.....	86
6. SONUÇLAR	114
KAYNAKLAR	117
EKLER	122
ÖZGEÇMİŞ	126

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Sismik izolasyonlu yapının yer değiştirme hareketi.....	7
Şekil 1.2	: Ek sönümleyicilerin temelde kullanıldığı sismik izolasyonlu bir yapı.....	7
Şekil 1.3	: Ek sönümleyicilerin üst yapıda kullanıldığı taban ankastre bir yapı.	8
Şekil 1.4	: Artan sönüm miktarının spektral ivmeye olan etkisi.....	8
Şekil 2.1	: Düşük sönümlü ve yüksek sönümlü kauçuk izolatör	16
Şekil 2.2	: Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör	16
Şekil 2.3	: Düşük sönümlü kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme davranışı	17
Şekil 2.4	: Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme davranışı	17
Şekil 2.5	: Sürtünmeli sarkaç mesnet.....	17
Şekil 3.1	: Kayma şekil değiştirme ilişkisi	25
Şekil 3.2	: Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi	25
Şekil 4.1	: Üç ve beş katlı prototip yapılara ait tipik kat planı	63
Şekil 4.2	: Üç katlı prototip yapıya ait A-A ve B-B kesitleri	64
Şekil 4.3	: Beş katlı prototip yapıya ait A-A ve B-B kesitleri	64
Şekil 4.4	: Prototip yapıların SAP2000 programında hazırlanan sonlu elemanlar modelleri: (a) üç katlı yapı, (b) beş katlı yapı	65
Şekil 4.5	: Tipik izolatör kesitler: (a) yüksek sönümlü kauçuk izolatör, (b) kurşun çekirdekli izolatör	65
Şekil 4.6	: Üç katlı yapıda A tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	66
Şekil 4.7	: Üç katlı yapıda B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	66
Şekil 4.8	: Üç katlı yapıda A tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	67
Şekil 4.9	: Üç katlı yapıda B tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	67
Şekil 4.10	: Beş katlı yapıda A tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	68
Şekil 4.11	: Beş katlı yapıda B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	68
Şekil 4.12	: Beş katlı yapıda A tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	69
Şekil 4.13	: Beş katlı yapıda B tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	69
Şekil 4.14	: Taft Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.....	70
Şekil 4.15	: Taft Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.....	71
Şekil 4.16	: El Centro Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme	72

Şekil 4.17	: El Centro Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.....	73
Şekil 4.18	: Kobe Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.....	74
Şekil 4.19	: Kobe Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.....	75
Şekil 4.20	: Loma Prieta Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme....	76
Şekil 4.21	: Loma Prieta Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme....	77
Şekil 4.22	: Sylmar Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.....	78
Şekil 4.23	: Sylmar Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.....	79
Şekil 4.24	: Elcentro Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.	80
Şekil 4.25	: Elcentro Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.	80
Şekil 4.26	: Kobe Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.....	81
Şekil 4.27	: Kobe Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.....	81
Şekil 4.28	: Loma Prieta Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.....	82
Şekil 4.29	: Loma Prieta Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.	82
Şekil 4.30	: Sylmar Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.	83
Şekil 4.31	: Sylmar Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.....	83
Şekil 4.32	: Taft Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.....	84
Şekil 4.33	: Taft Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.	84
Şekil 5.1	: Taban ankastre yapılara ait kat ivmeleri, a_t :	
	(a) üç katlı yapı, (b) beş katlı yapı	93
Şekil 5.2	: Üç katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=2$ s.) yapıya ait kat ivmeleri,....	
	a_t : (a) $\zeta=0\%$, (b) $\zeta=20\%$, (c) $\zeta=30\%$, (d) $\zeta=40\%$. yapı	94
Şekil 5.3	: Beş katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=2$ s.) yapıya	
	ait kat ivmeleri, a_t : (a) $\zeta=0\%$, (b) $\zeta=20\%$,	95
Şekil 5.4	: Beş katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=2$ s.) yapıya	
	ait kat ivmeleri, a_t : (a) $\zeta=30\%$, (b) $\zeta=40\%$,	96
Şekil 5.5	: Üç katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=3$ s.) yapıya ait kat.....	
	ivmeleri, a_t : (a) $\zeta=0\%$, (b) $\zeta=20\%$, (c) $\zeta=30\%$, (d) $\zeta=40\%$	97
Şekil 5.6	: Beş katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=3$ s.) yapıya	
	ait kat ivmeleri, a_t : (a) $\zeta=0\%$, (b) $\zeta=20\%$	98
Şekil 5.7	: Beş katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=3$ s.) yapıya	
	ait kat ivmeleri, a_t : (a) $\zeta=30\%$, (b) $\zeta=40\%$	99
Şekil 5.8	: Üç katlı, ($\zeta_s=5\%$) lineer olmayan izolasyon sistemli	
	yapıya ait kat a_t : ivmeleri (a) yüksek sönümlü kauçuk,	
	(b) kurşun çekirdekli kauçuk.....	100
Şekil 5.9	: Beş katlı, ($\zeta_s=5\%$) lineer olmayan izolasyon sistemli	
	yapıya ait kat a_t : ivmeleri (a) yüksek sönümlü kauçuk,	
	(b) kurşun çekirdekli kauçuk.....	101
Şekil 5.10	: Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için üç katlı,	
	yüksek sönümlü kauçuk izolasyon sistemli yapıya.....	
	ait kat ivmeleri, a_t : (a) El Centro, (b) Taft.....	102
Şekil 5.11	: Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için üç katlı, yüksek.....	
	sönümlü kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri,	
	a_t : (a) Kobe, (b) Sylmar, (c) Loma Prieta	103
Şekil 5.12	: Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için beş katlı, yüksek	
	sönümlü kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri,	
	a_t : (a) El Centro, (b) Taft.....	104

Şekil 5.13	: Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için beş katlı, yüksek sönümlü kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a _t : (a) Kobe, (b) Sylmar, (c) Loma Prieta.....	105
Şekil 5.14	: Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için üç katlı, kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a _t : (a) El Centro, (b) Taft.....	106
Şekil 5.15	: Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için üç katlı, kurşun çekirdekli izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a _t : (a) Kobe, (b) Sylmar (c) Loma Prieta	107
Şekil 5.16	: Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için beş katlı, kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a _t : (a) El Centro, (b) Taft.....	108
Şekil 5.17	: Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için beş katlı, kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a _t : (a) Kobe, (b) Sylmar, (c) Loma Prieta.....	109
Şekil Ek.1.1	: Lineer bir izolasyon sisteminin hesap adımları.....	123
Şekil Ek.1.2a	: Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sisteminin hesap adımları 1/3.....	123
Şekil Ek.1.2b	: Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sisteminin hesap adımları 2/3.....	124
Şekil Ek.1.2c	: Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sisteminin hesap adımları 3/3.....	125

:

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	: Sismik bölge katsayısı.....	26
Tablo 3.2	: Sismik kaynak tipleri.....	26
Tablo 3.3	: Aktif faya yakınlık faktörü (N_a).....	26
Tablo 3.4	: Aktif faya yakınlık faktörü (N_v).....	26
Tablo 3.5	: Zemin tipleri.....	26
Tablo 3.6	: Spektral sismik katsayısı (C_{AD}).....	27
Tablo 3.7	: Spektral sismik katsayısı (C_{VD}).....	27
Tablo 3.8	: Sönüm azaltma katsayısı	27
Tablo 4.1	: Kolon Boyutları.....	85
Tablo 4.2	: Lineer izolasyon sistemlerine ait rijitlik (K_I) ve sönüm katsayıları (C_I).....	85
Tablo 4.3	: Elastomer mesnetlerin tasarımında kullanılan kauçun özellikleri	85
Tablo 4.4	: Depremlerin Doğu-Batı (D-B) ve Kuzey-Güney (K-G) bileşenlerine ait maksimum ötelenme, maksimum hız ve maksimum ivme değerleri.....	85
Tablo 5.1	: Üç katlı lineer izolasyon sistemli yapılara ait kat ivmeleri, a_t (cm/s^2).....	110
Tablo 5.2	: Beş katlı lineer izolasyon sistemli yapılara ait kat ivmeleri, a_t (cm/s^2).....	111
Tablo 5.3	: Üç katlı lineer olmayan izolasyon sistemli yapılara ait kat ivmeleri, a_t (cm/s^2)	112
Tablo 5.4	: Beş katlı lineer olmayan izolasyon sistemli yapılara ait kat ivmeleri, a_t (cm/s^2)	113

SEMBOL LİSTESİ

Φ	: dairesel kauçuğun çapı.
Φ_k	: kurşun çekirdeğin çapı.
α	: akma sonrası rijitliğin, akma öncesi rijitliğe oranı.
γ	: kayma yer değiştirmesi.
$\gamma_{\max}$	: maksimum kayma yer değiştirmesi.
ζ_{ef}	: lineer olmayan izolasyon sistemindeki efektif viskoz sönüm oranı.
ζ_I	: lineer izolasyon sisteminin viskoz sönüm oranı.
ζ_D	: hedeflenen efektif viskoz sönüm oranı.
μ	: kuvvet oranı.
ω_0	: akmadan sonraki açısal frekans.
ω_I	: sönümsüz doğal açısal frekans.
a_t	: kat ivmesi.
a_g	: yer ivmesi.
A	: kauçuk mesnetin kesit alanı.
A_k	: kurşunun kesit alanı.
B_D	: sönüm azaltma katsayısı.
c	: sönüm katsayısı.
C_I	: lineer izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısı.
C_{VD}	: spektral sismik katsayı.
C_{AD}	: spektral sismik katsayı.
D_D	: maksimum yatay yer değiştirme.
D_y	: akma yer değiştirmesi.
E_c	: kauçuk-çelik kompozit birleşiminin basınç modülü.
E_{ck}	: kauçuğun basınç modülü.
F	: lineer olmayan histeretik kuvvet.
f_H	: titreşimin yatay frekansı.
f_v	: titreşimin düşey frekansı.
f_{yk}	: kurşun akma dayanımı.
$F_{\max}$	: maksimum kuvvet.
F_y	: akma dayanımı.
f_{yk}	: kurşunun akma dayanımı.
g	: yerçekimi ivmesi.
G	: kauçuğun kayma modülü.
k	: rijitlik matrisi.
K	: hacimsel elastite modülü.
K_1	: akma öncesi rijitlik veya elastik rijitlik.
K_2	: akma sonrası rijitlik veya plastik rijitlik.
K_{ef}	: etkin rijitlik veya efektif rijitlik.
K_v	: kauçuk mesnetin düşey rijitliği.
K_I	: lineer izolasyon sisteminin rijitliği.
K_D	: tasarım depreminde sistemin etkin rijitliği.

K_{Dmin}	: minimum etkin rijitlik.
M	: yapı kütlesi.
$\mathbf{m}$	: kütle matrisi.
R	: dairesel kauçuğun yarıçapı.
S	: şekil faktörü.
q	: yer ivmesi faktörü.
Q	: karakteristik kuvvet.
t	: tek bir kauçuk tabakasının kalınlığı.
t_f	: toplam simulasyon zamanı.
t_r	: kauçuk tabakalarının toplam kalınlığı.
T_0	: akma sonrası titreşim periyodu veya izolasyon periyodu.
T_D	: tasarım yer değiştirmesindeki etkin periyot.
T_I	: sönümsüz doğal izolasyon periyodu.
T_{ef}	: yapının etkin titreşim periyodu.
T_v	: yapının düşey periyodu.
W	: yapının toplam ağırlığı.
W_D	: histeretik döngüde bir çevrimde sönümlenen enerji miktarı.
Z	: sismik bölge katsayısı.

ÖZET

SÖNÜMÜN SİSMİK TABAN İZOLASYONU VE SÖNÜMLEYİCİLERİN KULLANILDIĞI BİNALARIN DEPREM PERFORMANSINA ETKİSİ

Yıkıcı depremler her yıl yurdumuzda ve dünyada büyük can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Özellikle, deprem sırasında ve sonrasında işlevini sürdürmesi hayati önem taşıyan; hastane, laboratuvar, veri toplama merkezi gibi stratejik öneme sahip yapıların işlevinin kesintiye uğramamaları için, bu yapılarda bulunan titreşime karşı duyarlı hassas cihazların deprem titreşimlerinden kesinlikle korunmaları gerekmektedir. Bu amaçla sismik taban izolasyonu ve ek sönümleyicilerin kullanılması bu tür stratejik binaların tasarımında etkin bir yöntem olabilir. Bu tezde, seçilen üç ve beş katlı prototip yapıların hassas cihazlara hasar verebilecek kat ivmelerinin sismik izolasyon yöntemi kullanılarak ve üst yapının ek sönümleyiciler ile enerji yutma kapasitesinin de artırılmasıyla ne derece azaltılabileceği incelenmiştir. Bu kapsamda, farklı deprem etkileri altında, lineer ve lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip yapılarda kat yüksekliği boyunca kat ivmelerinin nasıl dağıldığını incelemek; izolasyon sisteminin sönüm oranındaki artışın kat ivmelerini hangi seviyeye kadar azaltılabileceğini belirleyebilmek ve temel sönümleyicileri yerine üst yapıda ek sönümleyicilerin kullanılmasıyla kat ivmelerinin daha fazla azaltılıp azaltılamayacağını ve hangi seviyeye kadar azaltılabileceğinin anlaşılması için zaman tanım alanında lineer ve lineer olmayan toplam 340 analiz yapılmıştır. Analizlerde 1940 El Centro, 1952 Taft, 1995 Kobe, 1989 Loma Prieta ve 1994 Sylmar Depremleri kullanılmış ve yapılar aynı anda iki yönlü (Doğu-Batı ve Kuzey-Güney) olarak zaman tanım alanında analiz edilmiştir. Çalışmada göz önüne alınan parametreler arasında izolasyon sönümü, üst yapı sönümü, izolasyon periyodu ve lineer ve lineer olmayan farklı izolasyon sistemleri bulunmaktadır. Analiz sonuçları taban ankastre yapıların analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

SUMMARY

EFFECT OF DAMPING ON THE SEISMIC PERFORMANCE OF SEISMIC-BASE-ISOLATED BUILDINGS EQUIPPED WITH DAMPERS

Each year destructive earthquakes cause extensive damage and loss of human life in Turkey and around the globe. Vibration-sensitive equipment housed in strategically critical facilities, which has to function during and right after the earthquakes, such as hospitals, laboratories, and data collection centers should particularly be protected from the hazardous effects of earthquakes. Use of seismic isolation and passive dampers could be an effective method in protecting such strategically important buildings. In this thesis, three and five story prototype structures are analyzed in order to examine to what extent the floor accelerations, which may cause harm to vibration-sensitive equipment, could be reduced via use of seismic isolation and passive dampers in the superstructure. In this context, a total of 340 linear and nonlinear time history analyses are performed under different earthquake excitations in an effort to understand how the floor accelerations are distributed along the height of seismically isolated structures; to what levels the floor accelerations can be reduced by increasing the damping in the isolation system; and whether the floor accelerations can be reduced further by using passive dampers in the superstructure instead of using passive dampers at the isolation level. In the bi-directional time history analyses North-South and East-West components of the 1940 El Centro, the 1952 Taft, the 1995 Kobe, the 1989 Loma Prieta, and the 1994 Sylmar earthquakes are used. The parameters that are taken into account in this study include isolation damping, isolation period, superstructure damping, and different types of linear and nonlinear isolation systems. The results are presented in comparison to fixed-base structures.

1. GİRİŞ

Neden oldukları büyük can ve mal kayıpları sebebiyle, yurdumuzda ve dünyada meydana gelen yıkıcı depremler insanlığın karşı karşıya olduğu en büyük doğal felaketlerdir. Son yıllarda meydana gelen depremlerden sadece üç depremde yani 1989 Loma Prieta, 1994 Northridge ve 1995 Kobe Depremleri'ndeki maddi hasar 170 Milyar Dolar civarındadır (Alhan ve Gavin, 2005). Bu tezin yazımına devam edildiği sırada Çin'in Sichuan Eyaleti'nde meydana gelen $M_w=7.9$ büyüklüğündeki depremde, binaların % 80'nin yıkıldığı, ölü sayısının altmış bini geçtiği ve maddi zararın milyarlarca doları bulduğu rapor edilmiştir. Bu can kayıplarını önlemek ve maddi hasarları azaltmak maksadıyla depreme dayanıklı farklı tasarım teknikleri geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam etmektedir (Kelly, 1997; Bayülke, 2002; Celep ve Kumbasar, 2004; Yozgat ve Hüsem, 2005).

Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımı tekniğine göre, depremlerle gelen yüklerin güvenli bir şekilde taşınması, yapıların plastik enerji tüketme kapasitelerine bağlıdır (Sucuoğlu, 1999; Bayülke, 1998). Deprem yönetmeliklerinin ana felsefesi, yapı ömrü içerisinde meydana gelebilecek depremlerden, hafif şiddetlerde yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi birinin hasar görmemesi, orta şiddetlerde bu hasarın sınırlı düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise kalıcı yapısal hasarın oluşumunun sınırlı seviyede tutularak, can güvenliğinin sağlanması yönündedir (TDY, 2007). Buna göre, sıklıkla meydana gelebilecek küçük depremlerde yapının elastik sınırlar içerisinde kalması beklenirken, daha az sıklıkla meydana gelebilecek büyük depremlerde, deprem enerjisinin, yapının yapacağı kalıcı deformasyonlar ile plastik bir biçimde tüketilmesi öngörülmektedir. Can güvenliği açısından özellikle büyük depremler için kabul edilebilir olan bu yöntem, mal güvenliği açısından yeterli olmayabilir. Özellikle son yıllarda büyük stratejik öneme sahip, deprem sırasında ve sonrasında işlevini sürdürmesi hayati önem taşıyan; hastane, laboratuvar, veri toplama merkezi, havaalanı iniş kulesi gibi yapıların sayısı artmıştır. Bu yapılarda, titreşime hassas ve çok pahalı elektronik cihazlar bulunmaktadır. Belirli ivme seviyelerinin

aşılması durumunda bu tür cihazlar işlevlerini yerine getiremiyebilmekte ve/veya kalıcı hasar görebilmektedir (Kelly ve Tsai, 1985; Gordon, 1991; Dolce ve Carbone, 2003; Stöbener, 2006; Gavin ve Zaicenco, 2007; Ungar, 2007). Bu da, yukarıda bahsi geçen stratejik öneme sahip yapıların işlevinin kesintiye uğramasına sebep olabilmektedir. Örneğin, internet sitelerinin ve networklerin bir veya iki günlük kesintiye uğramalarının neden olacağı maddi kaybın korkunç boyutlara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Ramallo et al, 2002; Alhan ve Gavin, 2005).

Yapısal elamanların ve yapısal olmayan duvar, cam, mimari kaplamalar, vb. elemanların hasar görmemesi için katlar arası görelî yer değıştirmelerin sınırlandırılması gereklidir. Katlar arası görelî yer değıştirmeler perde duvar gibi rijit elemanlar kullanılarak azaltılabilir ancak artan yapı rijitliği, kat ivmelerinin artmasına dolayısıyla yapı içerisindeki titreşime hassas cihazların zarar görmesine sebebiyet verebilir. Buna karşın, esnek yapısal sistemlerin kullanılması durumunda, kat ivmeleri azalacak ancak bu defa da katlar arası görelî yer değıştirmeler artacaktır (Aydın, 2004). Bu duruma çözüm bulabilmek için, yani hem katlar arası görelî yer değıştirmeleri hem de kat ivmelerini *aynı anda* azaltabilmek için aktif ve pasif kontrol teorisinin temelini oluşturduğu yeni depreme dayanıklı yapı tasarımı yöntemleri geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir (Yao et al, 1997; Housner et al, 1997; Aldemir ve Aydın, 2005; Eyyubov et al, 2006). Bu yeni yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanı sismik taban izolasyonu ve enerji sönümleyici sistemlerdir (Kösedağ, 2002; Tezcan ve Erkal, 2002; Baştuğ, 2004).

Depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni yöntemlerden birisi olan sismik izolasyon, temel ile düşey taşıyıcı elemanlar arasına yatay rijitliği düşük, düşey rijitliği yüksek elastomer mesnetler yerleştirilerek elde edilebilir. Düşük yatay rijitlik sayesinde sismik izolasyonlu bir yapıda Şekil 1.1’de gösterildiği gibi yer değıştirmelerin önemli bir kısmı izolasyon katı seviyesinde oluşmakta ve üstyapı bir blok halinde rijit ötelenme hareketi yapmaktadır. Bu sayede, hem üst yapıda katlar arası yer değıştirmeler sınırlandırılmış olur hem de Şekil 1.4’te gösterildiği gibi yapının doğal periyodu arttırılarak depremlerin tipik hakim periyotlarından uzaklaştırılmış ve böylece deprem kat kuvvetleri azaltılmış olur (Mc Kay et al, 1990; Kelly, 1997). Ayrıca, izolasyon sistemlerindeki sönüm sayesinde üst yapıya aktarılan deprem enerjisi daha da azaltılmakta ve böylece yapının

deprem performansı artmaktadır (Tadjbakhsh ve Ma, 1982; Jangid, 1995; Kelly, 1997; Şahin, 2001; Tezcan ve Erkal, 2002; Tezcan ve Cimilli, 2002).

Sismik izolasyon konusunda bugüne kadar pek çok araştırma çalışması yapılmış ve günümüzde de yapılmaya devam etmektedir. Sismik izolasyonun teorik temelleri, sismik izolasyon sistemlerinin çeşitleri ve sismik izolasyonun pratik uygulamaları çeşitli araştırmacılar tarafından kapsamlı şekilde farklı makalelerde sunulmuştur (Housner et al, 1997; Palazzo ve Petti, 1997; Kitagawa ve Midorikawa, 1998; Ateş ve Dumanoglu, 1999; Austin ve Lin, 2004; Deb, 2004; Midorikawa et al, 2004). Sismik izolasyon, hem tarihi yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde hem de yeni yapıların depreme dayanıklı tasarımında kullanılmaktadır (Mokha et al, 1996; Youssef, 2001; Asher et al, 2001; De La Llera et al, 2004). Özellikle, 1994 Northridge ve 1995 Kobe Depremleri'nde kuvvetli yer hareketine maruz kalan sismik izolasyonlu yapıların beklendiği gibi davrandığının gözlenmesi sismik izolasyonun etkinliğini kanıtlamıştır (Housner ve Masri, 1994; Kitagawa ve Midorikawa, 1998; Nagarajaiah ve Xiaohong, 2000).

Depreme karşı dayanıklı yapı tasarımında kullanılan yeni yöntemlerden bir diğeri enerji sönümleyici sistemlerdir (Tezcan ve Erkal, 2002; Housner et al, 1997; Goel, 2000). Enerji sönümleyici sistemler, sismik izolasyon sistemlerine ek sönüm sağlamak amacıyla temelde temel sönümleyicisi olarak (Şekil 1.2) veya üst yapıda katlar arasında bir köşegen eleman olarak kullanılırlar (Şekil 1.3). Enerji sönümleyici sistemlerin etkinliği teorik ve deneysel çalışmalarla ortaya konmuştur (Constantinou ve Symans 1993a; Constantinou ve Symans 1993b). Yapıların deprem ve rüzgar yükleri altındaki dinamik davranışını iyileştirmek, katlar arası görelî yer değiştirmeleri ve yapısal ivmeleri azaltmak amacıyla son yıllarda geliştirilen ve giderek daha yaygın halde kullanılmaya başlanan enerji sönümleyici cihazlar pasif, aktif veya yarı-aktif olarak tasarlanabilmektedir (Hanson, 1993; Kelly, 2001; Aldemir ve Aydın, 2005). Bu cihazlardan özellikle pasif olanları günümüzde pratik uygulamalarda tercih edilmektedir. Enerji sönümleyici sistemlerin teorik temelleri, çeşitleri ve pratik uygulamaları ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması Soong ve Spencer (2002) tarafından hazırlanmış ve bu makalede pasif enerji sönümleyicilerin kullanıldığı toplam bina sayısının 2000 yılı itibarıyla sadece Kuzey Amerika'da 103'ü geçtiği bildirilmiştir.

Enerji sönümleyiciler hem tarihi binaların depreme karşı güçlendirilmesinde hem de yeni yapıların depreme dayanıklı tasarımında kullanılmaktadır (Constantinou et al, 1998). Örneğin, A.B.D.'nin Kaliforniya Eyaleti'nde bulunan 32 katlı tarihi Los Angeles City Hall Binası'nın depreme karşı güçlendirilmesinde hem sismik izolasyon yöntemi kullanılmış hem de buna ek olarak, düşeyde rijitlik düzensizliğinin 24 ve 25'inci katlar arasında sebep olduğu aşırı görelî katlar arası yer değiştirmeleri azaltmak için bu katlar arasına pasif viskoz sönümleyiciler yerleştirilmiştir (Youssef, 2001).

Daha önce değinildiği gibi, stratejik öneme sahip yapıların işlevinin kesintiye uğramalarının neden olacağı maddî kayıp korkunç boyutlara ulaşabileceğinden, özellikle son yıllarda, titreşime karşı duyarlı olan hassas cihazların titreşimin zararlı etkilerinden korunmaları için sismik izolasyon ve yapısal kontrol tekniklerinin kullanılması konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Stöböner (2004), atom mikroskopları, yüksek hassasiyetli tartılar gibi çok hassas cihazların rüzgar, deprem ve dışarıdaki trafiğin binada yarattığı titreşimlerden korunmalarının önemine değinmiş ve bu iş için toplam hızın geri-besleme olarak kullanıldığı skyhook sönümleyicilerine yer veren kontrol mekanizmaları ile aktif izolasyon sistemlerinin kullanılması önerisinde bulunmuştur. Gordon (1991), özellikle araştırma, mikro elektronik cihaz üretimi ve benzeri faaliyetlerde bulunan yapıların tasarımının bu yapılarıdaki titreşime hassas cihazların göz önünde bulundurularak yapılması gerektiğini belirtmiş ve farklı hassasiyetteki cihazlar için farklı sınır titreşim seviyelerinin aşılmaması önerisinde bulunmuştur. Ungar (2007), özellikle hastane binalarında meydana gelebilecek aşırı titreşimlerin buralarda yürütülen tıbbî işlemlerin performansını olumsuz yönde etkileyebileceği ve hastaları rahatsız edebileceği üzerinde durmuş ve bu tür sağlık kuruluşlarında önerilen titreşim sınırlarının çok düşük seviyelere düşebileceğini rapor etmiştir. Gavin ve Zaicenco (2007), pasif ve yarı-aktif izolasyon sistemlerinin titreşime hassas cihazların depreme karşı korunmasındaki performanslarını ve güvenilirliklerini araştırmışlar ve yarı-aktif izolasyon sistemlerinin iyi performans sergilediğini ortaya koymuşlardır. Khechfe et al (2002), taban ankastre yapılarda bulunan bilgisayar ve benzeri hassas cihazların üzerlerine oturacakları sismik izolasyonlu platformlar ile depreme karşı korunmaları önerisinde bulunmuştur. Yapılan çalışmada üç katlı taban ankastre bina ve içindeki titreşime hassas cihazı temsil eden tek serbestlik dereceli sistemin 1:6 ölçekli modeli sarsma tablasında farklı deprem titreşimlerine maruz

bırakılmış ve izolasyon platformunun etkinliği deneylerle gösterilmiştir. Veprik (2003), hassas elektronik cihazların kritik parçalarının dinamik davranışını minimize edecek şekilde tasarlanan bir titreşim izolasyonu sayesinde bu cihazların titreşime karşı nasıl daha iyi korunacaklarını göstermiştir. Xu ve Li (2006) yarı iletken ve optik mikroskoplar gibi yüksek teknoloji ürünü cihazların üretim merkezlerindeki titreşimin, bu cihazların kaliteli bir şekilde üretilibilmelerini sağlamak açısından çok düşük seviyelerde olması gerektiğini belirtmiş ve bu cihazların titreşime karşı korunmalarında kullanılacak hibrit platformlar önermişlerdir. Önerilen hibrit platformlar deprem sırasında pasif izolasyon görevi görerek cihazların hasar görmelerini engelleyecek, günlük çalışmalar sırasında da aktif izolasyon görevi görerek cihazın hassas üretimine imkan verecek şekilde tasarlanmışlardır.

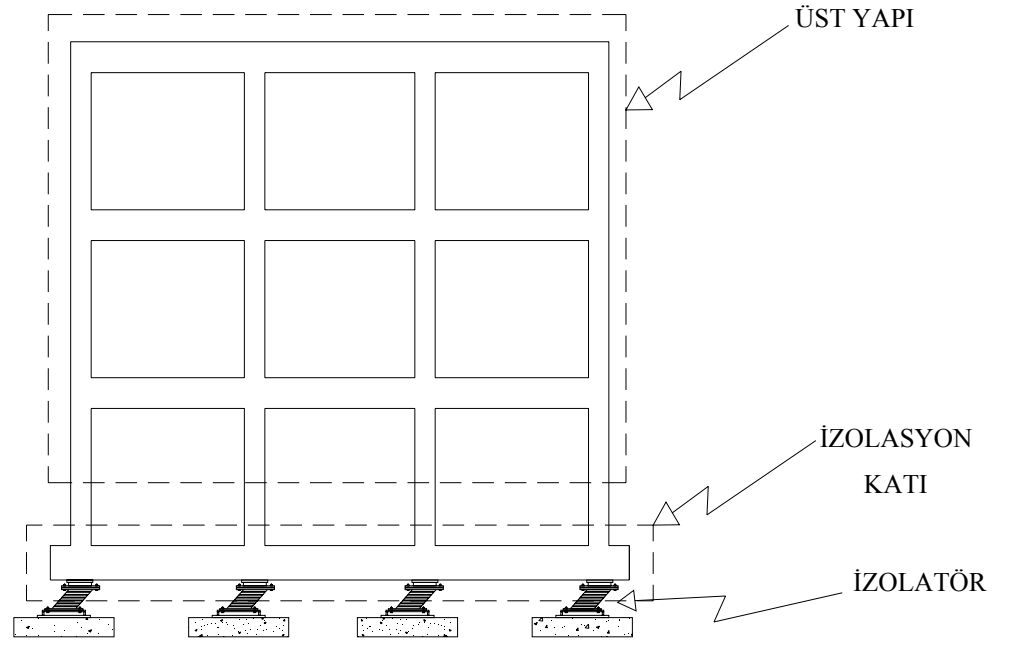
Her bir cihaz için sismik izolasyonlu platform kullanmak yerine, bu tezde önerildiği gibi, titreşime hassas cihazların bulunduğu binalar tümüyle sismik izolasyona tabi tutularak yapının tümü hassas cihazların kullanılabileceği bir yer haline getirilebilir. Ancak, kat ivmelerinin izolasyonlu bir yapıda, yapı yüksekliği boyunca nasıl değiştiğinin bilinmesi, bu tür hassas cihazların hangi katlara yerleştirilmesinin daha uygun olacağının belirlenmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Taban ankastre binalarda, kat ivmelerinin yapı yüksekliği boyunca üst katlara çıkıldıkça genellikle düzenli olarak arttığı bilinmektedir (Naeim, 2001). Bundan farklı olarak, sismik izolasyonlu yapılarda izolasyon katı da dahil olmak üzere, yapı yüksekliği boyunca kat ivmeleri üst katlara doğru düzenli bir şekilde artmayabilir. Dolayısıyla, kat ivmelerinin yapı yüksekliği boyunca dağılımı farklı depremler için incelenmeli ve genel eğilim tespit edilmelidir.

Depremi odak noktasına uzak noktalarda kaydedilen yüksek frekanslı tipik depremlere karşı oldukça etkin olan sismik izolasyon sistemleri, kaynağa yakın noktalarda kaydedilen ve yüksek periyotlu, yüksek genlikli hız pulsarı içeren depremlere karşı aynı performansı göstermekte zorlanabilmektedir. Bu pulsaların uzun periyotları genellikle sismik izolasyonlu yapıların izolasyon periyotlarına oldukça yakın olduğundan rezonans etkisi yaratabilmekte bu da kat ivmelerinin aşırı artmasına sebep olabilmektedir (Heaton et al, 1995). Bu tür yakın depremlere maruz kalabilecek, fay hattına yakın bölgelerde bulunan sismik izolasyonlu yapılarda izolasyon sönüm oranı

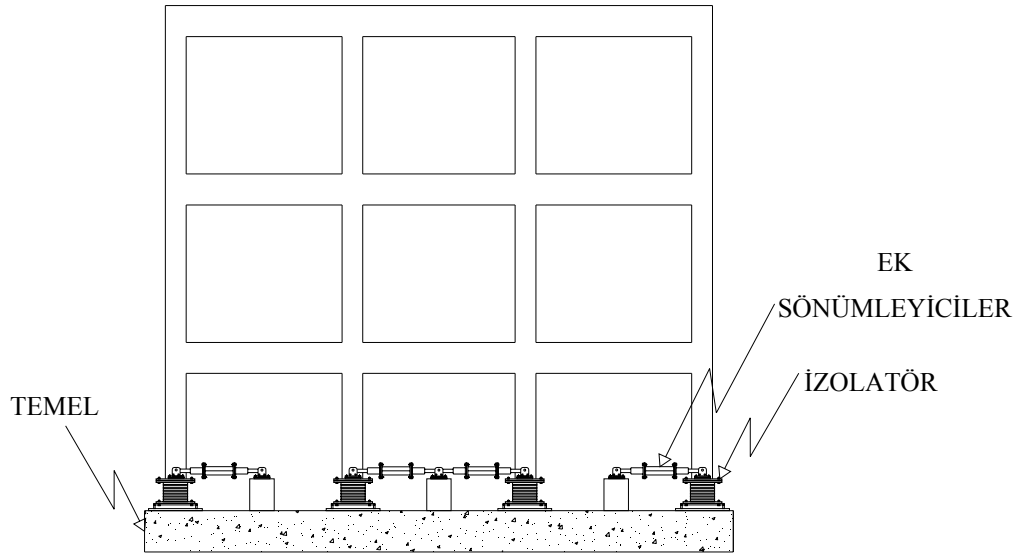
arttırılarak kat ivmeleri azaltılabilir. Ancak, izolasyon sisteminin sönüm oranındaki artışın kat ivmelerini hangi seviyeye kadar azaltabileceği incelenmelidir.

Ayrıca, izolasyon katında ek sönümleyici kullanılmadığı sürece, sadece kurşun çekirdekli veya yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin kullanıldığı durumlarda izolasyon sönüm oranı pratik olarak ancak belirli bir seviyede olacak şekilde tasarlanabilir. Öte yandan, bakım ve onarımın zor olduğu izolasyon katında ek sönümleyici kullanılması tercih edilmeyebilir. Bu durumda, sismik izolasyonlu bir yapının kat ivmeleri sismik izolasyon sayesinde ancak belli bir seviyeye kadar azaltılabilir. Ancak, yukarıda detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi, titreşime karşı aşırı duyarlı olan hassas cihazların depremin yaratacağı titreşimin zararlı etkilerinden korunmaları için kat ivmelerinin bu sınırların da ötesinde azaltılması gerekebilir. Bu durumda, bu tezde önerildiği gibi, sismik izolasyonlu yapılarda izolasyon sistemi yerine üst yapıda ek sönümleyicilerin kullanılması kat ivmelerinin daha da azaltılmasına yönelik bir çözüm olabilir.

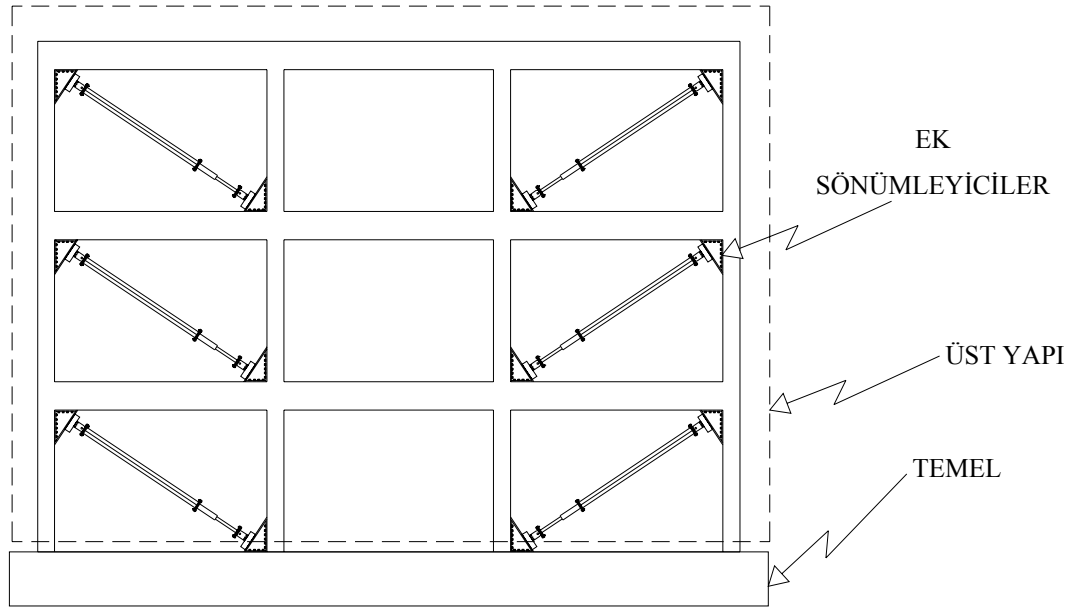
Bu tezde, üst yapı esnekliğini de göz önüne alabilmek için üç ve beş katlı iki prototip yapı üç boyutlu olarak modellenmiş ve hem yakın hem de uzak deprem tiplerini içeren beş değişik tarihi deprem altında (1940 El Centro, 1952 Taft, 1995 Kobe, 1989 Loma Prieta ve 1994 Sylmar Depremleri) aynı anda iki yönlü (Doğu-Batı ve Kuzey-Güney) olarak zaman tanım alanında analiz edilmiştir. Analizlerde, farklı izolasyon sönüm oranları, farklı üst yapı sönüm oranları, farklı izolasyon periyotları ve lineer ve lineer olmayan farklı izolasyon sistemleri göz önüne alınmıştır. Zaman tanım alanında lineer ve lineer olmayan toplam 340 analizin yapıldığı bu kapsamlı parametrik çalışmanın amacı sismik izolasyonlu bir yapıda: (1) kat yüksekliği boyunca kat ivmelerinin nasıl dağıldığının incelenmesi; (2) izolasyon sisteminin sönüm oranındaki artışın kat ivmelerini hangi seviyeye kadar azaltabileceğinin incelenmesi; (3) temel sönümleyicileri yerine izolasyonlu bir binanın üst yapısında ek sönümleyicilerin kullanılmasıyla kat ivmelerinin daha fazla azaltılıp azaltılamayacağının ve hangi seviyeye kadar azaltabileceğinin incelenmesidir. Ayrıca, bu çalışmada incelenen sismik izolasyonlu yapılar taban ankastre olan eşlenikleriyle de karşılaştırılmıştır.



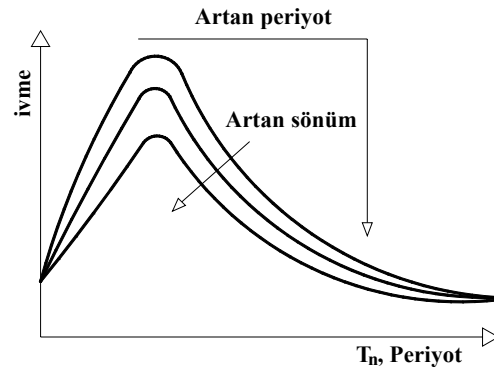
Şekil 1.1 Sismik izolasyonlu yapının yer değiştirme hareketi.



Şekil 1.2 Ek sönümleyicilerin temelde kullanıldığı sismik izolasyonlu bir yapı.



Şekil 1.3 Ek sönümleyicilerin üst yapıda kullanıldığı taban ankastre bir yapı.



Şekil 1.4 Artan sönüm miktarının spektral ivmeye olan etkisi.

2. SİSMİK İZOLASYON VE PASİF SÖNÜMLEYİCİLER

2.1. SİSMİK İZOLASYONUN TARİHSEL GELİŞİMİ

Bilinen ilk sismik izolasyon taslağı Japonya’da rapor edilmiştir. Sismolog Dr. John Milne Tokyo Üniversitesi’nde 1876 ile 1895 yılları arasında yaptığı çalışmada; 25cm çapındaki çelik bilyaları kullanarak bir izolasyon sistemi tasarlamıştır. Bu çalışma sonucu ortaya çıkan sistemin performansı orta seviyedeki depremlerde oldukça tatminkar olmuştur. (Tezcan ve Cimilli, 2002).

Sismik izolasyon konusunda ilk resmi referans Amerika’da 1906 yılında ortaya çıkmıştır. Bilyalar üzerine depreme dayanıklı bina monte edilerek yapılan bu işlemde patent başvurusu yapılmıştır (Komodromos, 2000). 1909 yılında ise, İngiltere’de J.A. Calantarients isimli doktor, Santiago’da bulunan sismoloji servisine başvurarak, binaların yapımı esnasında temele talk, mika veya kumdan oluşan bir tabakanın eklenmesiyle yapıların deprem esnasında hareket serbestliğine kavuşacak bir düzenek geliştirdiğini bildirmiştir (Naeim ve Kelly,1999).

İtalya’da 1908 yılında meydana gelen ve yüzbinden fazla kişinin ölümüne sebep olan Messimo-Reggio depreminin ardından, yapılan çalışmalar sonucunda iki adet depreme dayanıklı yapı tasarımı benimsenmiştir. Bunlardan birinde binanın deprem kuvvetlerine karşı izole edilmesi fikri yer almış ve binanın temelini altındaki zeminden bir kum tabakası ile ayrılması veya kolonların altında yatay hareket sağlayıcı rulman yatakları kullanılması karara bağlanmıştır (Augenti ve Serino, 1989).

Modern anlamda sismik izolasyon tekniğinin kullanılması 1960’lı yılların sonlarına doğru Yugoslavya’da bir okulda, İsviçreli mühendisler tarafından inşaa edilen üç katlı yapıdır. 1969 yılında ilk defa, kauçuk mesnetli izolatör mekanizmaları bu binada kullanılmıştır (Tezcan ve Cimilli, 2002).

Sismik izolasyonun tarihçesi bu kadar eskiye dayanmasına rağmen, bu sistem ancak yakın tarihlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Japonya’da sismik taban izolasyonu konularak yapılan ilk dört katlı modern bina 1986 yılında tamamlanmıştır. Japonya’da inşaa edilmiş sismik izolasyonlu en büyük bina, Batı Japon Posta Bilgisayar Merkezi’dir ve bu binanın izolasyonlu periyodu 3.9 saniyeye ulaşmaktadır (Komodromos, 2000). Amerika Birleşik Devletleri’ndeki sismik izolasyonlu ilk bina The Foothill Communities Law And Justice Center binasıdır ve 1985 yılında tamamlanmıştır (Kelly, 1997). Bu bina 38 milyon dolara mal olmuş ve 98 adet yüksek sönümlü kauçuk izolatör kullanılmıştır. Sismik izolasyon metodunun en çok kabul gördüğü ve bu konuda lider olan diğer bir ülke Yeni Zelanda’dır. Bu ülkedeki sismik izolasyonlu olarak inşaa edilen ilk bina dört katlı betonarme William Clayton Binasıdır. Bu bina Wellington şehrinde 1981 yılında tamamlanmış olup kurşun-çekirdekli kauçuk kullanılarak inşaa edilmiş olan ilk binadır (Komodromos, 2000).

Sismik izolasyon konusunda, birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen, UBC’ de ilk olarak sismik izolasyon ile alakalı bölüm 1994 yılında yayınlanmıştır (UBC, 1994). Bu bölümün temeli, Structural Engineers Association of Northern California (SEAONC) tarafından 1986’da yayınlanan dökümanlara dayanmaktadır (Kelly, 1997). Günümüzde 17 farklı ülkede sismik taban izolasyonlu bina inşaa edilmiş olup, halen pek çok ülkede sismik izolasyonla alakalı araştırma programı yürütülmektedir. Ülkemizde de çeşitli üniversitelerde teorik ve deneysel çalışmalar devam etmektedir. Ancak, profesyonel anlamda sismik izolasyon uygulamaları ülkemizde henüz yeterince yaygın hale gelmemiştir (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005). Ülkemizdeki bina türü yapılarda az sayıdaki uygulamalardan bir tanesi, Atatürk Hava Limanı’nın ana terminalindeki uygulamadır.

2.2. SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİ

Deprem esnasında, yeryüzünde meydana gelen dalga şeklindeki hareket tüm doğrultularda yayılmaktadır. Yerin katmanlarından yapının temeline ulaştığında, temelden itibaren yapıya etki etmeye başlar. Temel’den yapıya iletilen titreşim yapının taşıyıcı sistemlerini zorlar; atalet kuvvetlerinin oluşturduğu etkiler sistem elemanlarında zorlanmalar meydana getirir. Taban izolasyonunda amaç; yapının temeliyle taşıyıcı

sistemini izolatörler vasıtasıyla birbirinden ayırarak yapıya iletilen deprem etkisini azaltabilmektir (Celep ve Kumbasar, 2004).

Genellikle temel ile kolon arasına yerleştirilen izolasyon sistemleri (Şekil 1.1), kolon ve perdelerin alt, orta ve üst kesitlerine de yerleştirilebilirler (Celep ve Kumbasar, 2004; Aydın, 2004). İzolatörler, hareketli ve ölü yükleri düşeyde rahatlıkla taşıyabilmeleri için düşey doğrultuda çok rijit olarak tasarlanırlar. Buna karşın yatay doğrultuda oldukça esnektirler. Düşük yatay rijitlik sayesinde sismik izolasyonlu bir yapıda yer değiştirmelerin önemli bir kısmı izolasyon katı seviyesinde oluşur. Böylece üstyapı bir blok halinde rijit ötelenme hareketi yapmaktadır. Bu sayede, hem üst yapıda katlar arası yer değiştirmeler sınırlandırılmış olur hem de yapının doğal periyodu arttırılarak, depremlerin tipik hakim periyotlarından uzaklaştırılmış ve böylece deprem kat kuvvetleri azaltılmış olur (Kelly, 1997).

Günümüze kadar çok çeşitli izolasyon sistemleri tasarlanmış ve pratik olarak uygulanmıştır. Elastomer ve kauçuk mesnetler veya kayma yüzeyleri teflon veya paslanmaz çelik olan kayıcı sistemler günümüzde en çok kullanılan izolasyon sistemleridir (Naeim ve Kelly, 1999).

2.2.1 Elastomer Mesnetler

Doğal veya yapay kauçuk kullanılarak üretilen elastomer mesnetler en yaygın olarak kullanılan izolasyon sistemidir. Tipik olarak 8 ila 20 mm kalınlığındaki ince kauçuk tabakaları arasına 2 ila 3 mm kalınlığındaki çelik levhaların yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu çelik levhalar, mesnedin düşey yük kapasitesini artırır ve düşeyde rijitliği sağlarlar. Ayrıca kauçuk tabakaların yanal şişmelerini kısıtlarlar (Celep ve Kumbasar, 2004; Kelly, 1997). Elastomer mesnetlerin düşey rijitliği mesnedin şekline bağlıdır ve tasarımda şeklin etkisi farklı geometrik şekillere sahip izolatörler için farklı olarak hesaplanacak şekil faktörü ile göz önüne alınır (Aydın, 2004). Şekil 2.1 ve 2.2’de gösterildiği gibi, en üst ve en altta bulunan çelik levhalar, mesnedin temel ile üst yapıya birleşimini sağlarlar. Mesnetin hareket bölgesi zarar görmediği ya da korozyona maruz kalmadığı sürece elastomer mesnetlerin tamir gereksinimleri çok azdır ve uzun süre kullanım kapasitesine sahiptirler (Komodromos, 2000).

Elastomer mesnetler; düşük sönümlü kauçuk mesnetler, yüksek sönümlü kauçuk mesnetler ve kurşun saplamalı kauçuk mesnetler olarak üç sınıfa ayrılırlar:

2.2.1.1 Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetler

Sismik izolasyonda uygulanan ilk sistem olan düşük sönümlü kauçuk mesnetler uzun süre kullanım kapasitesine sahiptirler. Tipik kesiti Şekil 2.1’de gösterilen düşük sönümlü kauçuk mesnetler, kolay imal edilmeleri, kolay modellenmeleri ve sıcaklıktan ve zamandan etkilenmemeleri sebebiyle çok avantajlıdır. Çok düşük sıcaklıklarda bile esnekliklerini kaybetmemektedirler (Naeim ve Kelly, 1999; Köseadağ, 2002). Viskoz sönümleri genellikle %5’den düşük olan elastomer mesnetlerin yatay yer değiştirme durumunda meydana gelen büyük şekil değiştirmelerden dolayı taşıyabileceği düşey yük azalır. Bu sebepten deprem şiddetinin çok yüksek olacağı bölgelerde kullanılmaları sakıncalı olabilmektedir. Bu tür bölgelerde yapılan yapıların izolasyon sistemlerinde ek sönümleyiciler kullanılarak bu mesnetlerin ötelenmeleri sınırlandırılmalıdır. %100’e varan kayma şekil değiştirmelerinde dahi davranışı Şekil 2.3’de gösterildiği gibi lineerdir (Çağlar, 2002).

2.2.1.2 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler

Çoğunlukla yeterli miktarda sönüm içermeleri sebebiyle, ek sönümleyicilere ihtiyacı pek çok durum için ortadan kaldıran bu mesnetler 1982 yılında İngiltere’de geliştirilmiştir (Köseadağ, 2002). Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerdeki eşdeğer viskoz sönüm oranı elastomer mesneti oluşturan lastiğin malzeme özelliğine bağlı olmakla beraber tipik olarak düşük şekil değiştirmeler için %15 civarında olup şekil değiştirmelerin %100’ün üstüne çıktığında eşdeğer viskoz sönüm oranı %12 civarında olmaktadır (Celep ve Kumbasar, 2004). Yüksek sönümlü tabakalardan oluşan kauçuğun çelik plakalar arasına yerleştirilmesiyle oluşturulur ve tipik kesiti şekil 2.1’de gösterildiği gibi düşük sönümlü kauçuk mesnet ile aynıdır. Düşük sönümlü kauçuk mesnetten farklı olarak, yüksek sönüm elde edebilmek için sönüm özelliğine sahip karbon veya reçine gibi ek malzemelerle doldurulmuştur. Mesnetin kayma modülü 0.3 ile 1.5 MPa arasında değişmektedir (Naeim ve Kelly, 1999). Bu mesnede özgül olarak başlangıç rijitlikleri küçük gerilmeler altında çok yüksek olmaktadır ve böylece rüzgar yükleri ve küçük deprem yükleri altında lineer davranış elde edilmektedir. Boy uzamaları % 20 den küçük olduğu zaman lineer davranış sergileyen malzeme, bu oranın

üzerine geçildiğinde lineer olmayan bir davranış sergileyerek kuvvetli depremlerde etkin hale gelmektedir (Komodromos, 2000).

2.2.1.3 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler ilk olarak Yeni Zelanda'da üretilmişlerdir ve dolayısıyla Yeni Zelanda mesnedi olarakta bilinirler. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler de, aynı yüksek sönümlü kauçuk mesnetler gibi; kauçuk tabakaları arasına çelik levhaların yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır ancak buna ek olarak Şekil 2.2'de gösterildiği gibi mesnedin ortasına kurşun çekirdek yerleştirilmiştir. Bu sistemin davranışı histeretik sönümleyici aletlere benzer ve ancak lineer olmayan diferansiyel denklemler yardımıyla modellenenbilirler (Skinner et al, 1975; Nagarajaiah et al, 1991a; Nagarajaiah et al, 1991b). Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kuvvet-yer değiştirme davranışına ait grafik Şekil 2.4'de verilmiştir. Ortadaki kurşun plak, mesnede bir başlangıç rijitliği kazandırmakta ve izolatörde enerji dağıtıcı bir mekanizma gibi davranmaktadır. Bu mekanizmalarda kurşun plastik davranış göstermekte ve çevrimsel davranış sonucu sönüm meydana gelmektedir. Sistemin, yaptığı yer değiştirmeye bağlı olarak eşdeğer sönüm %15'den % 35'e kadar çıkmaktadır. Kauçuk ve kurşunun birleşiminden dolayı başlangıçta küçük bir bölgede elastik ve daha sonra pekleşen bir plastik davranış gösteren bir şekil değiştirme durumu ortaya çıkmaktadır. (Celep ve Kumbasar, 2004; Komodromos, 2000).

2.2.2 Kayıcı Sistemler

İlk olarak 1909 yılında İngilterede tasarlanan ve çalışma prensibi olarak sürtünmeye dayanan kayıcı sistemler düşünce ve yapı itibarıyla en eski izolator tipidir. Belli bir seviyeye kadar kayma kuvvetinin iletimine izin verilmektedir. Bu değerden sonra mesnette öteleme hareketi başlamaktadır. Böyle sistemlerde düşük bir sürtünme katsayısı kullanarak, çok küçük taban kesme kuvvetleri elde edilebilir. Öteleme yüzeyleri çoğunlukla paslanmaz çelik ve teflondan oluşmaktadır (Naeim ve Kelly,1999). Bu mesnetler şiddetli depremlerin etkilerini azaltmak için oldukça etkin sistemlerdir. Kayıcı sistemler çok sayıda alt çeşidi var olup her gün bir yenisi eklenmektedir (Komodromos, 2000).

2.2.2.1 Sürtünmeli Sarkaç Mesnet

Sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminde, mesnedin geometrisinden dolayı oluşan geri çağırım kuvveti sürtünme hareketi ile birleşip izolasyon sistemi meydana getirir (Şekil 2.5). Bu sistemin kullanıldığı yapılarda, deprem hareketlerine karşı, küçük genlikli bir sarkaç hareketi yapmaktadır. Sistemin sürtünmeli olması sebebiyle de deprem enerjisi harcanmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). Deprem sırasında, yanıl rijitlik ve her bir mesnette oluşan sürtünme kuvveti mesnedin taşıdığı yük ile orantılıdır. Yapı ağırlık merkeziyle yatakların rijitlik merkezleri çakıştırılmalıdır. Aksi takdirde yapıya gelen burulma hareketi engellenemez (Zayas et al,1989; Zayas et al,1990).

2.2.2.2 Fransız Elektrik Kurumu Sistemi

Bu kayıcı sistem, Fransız elektrik kurumunun desteğiyle, 1970’li yıllarda nükleer enerji santrallerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bu sistemde, kauçuk mesnetler burulmayı kontrol ederken, kayıcı mesnetlerde sönümü sağlamaktadır. İzolasyon sisteminin ömrü boyunca sürtünme katsayısı 0.2 alınarak tasarlanmıştır. Önceden belirlenen şekil değıştirme limitleri aşıldığında onarımı zor olan bir sistemdir (Aydın, 2004).

2.2.2.3 TASS Sistemi

Kullanılan bir başka izolasyon sistemi olan TASS sistemi, Japonya’da bulunan TAISEI firması tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde kullanılan elemanlardan sadece teflon-paslanmaz çelik düşey yükleri taşır, izolasyon sisteminin diğler elemanı neopran mesnetler ise sadece dengeleyici elemanlar olarak kullanıldığından düşey yük almazlar. Teflon kayıcı yüzeylerde 10 MPa’a kadar basınç yükü kaldırabilmekte ve sürtünme katsayısı kayma hızına bağılı olarak 0.05 ile 0.15 arasında değışmektedir. Sistemin en önemli dezavantajı hiç düşey yük taşımayan neopran mesnetlerde yatay yükler sebebiyle gerilmeler meydana gelebilmesidir (Naeim ve Kelly, 1999).

2.2.2.4 EERC Bileşik Sistemi

Bu sistem Amerika’da bulunan Earthquake Engineering Research Center (EERC) adlı kuruluş tarafından geliştirilmiştir. İzolasyon sistemi elastomer ve kayıcı sistemlerin bir birleşimi olduğundan bileşik sistem olarak adlandırılmıştır. Bu sistemde, yapının iç kolonları kayıcı mesnetler, dış kolonları ise düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetlere oturtulur. İç kolonlarda bulunan sönüm elemanlarında, kolonların altına teflon yüzeyler ve onun altında da paslanmaz çelik elemanlar konularak oluşturulmuştur. Dışta bulunan

elastomerik izolatörler hem yapının burulmasını engellerler, hem de dengeleyici rol oynarlar (Aydın,2004; Baştuğ,2004).

2.4. PASİF SÖNÜMLEYİCİLER

Hem yeni yapıların deprem performanslarını arttırmak hem de eski yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılan yeni sistemlerdir. Yapıların enerji yutma kapasitesini arttırmak için kullanılan pasif enerji tüketen elemanları histeritik, viskoz ve visko-elastik sönümleyiciler olarak sınıflandırabiliriz (Aldemir, 2005).

2.4.1 Histeritik Sistemler

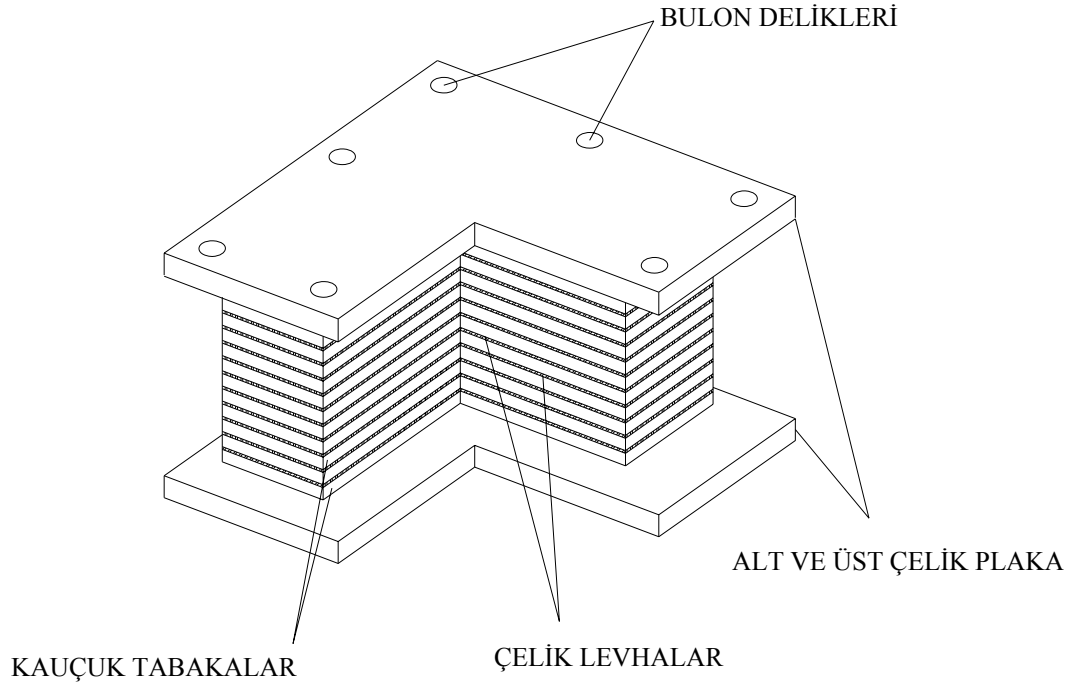
Histeritik sönümleyiciler genellikle çelik olup, eğilme akmasına, katlar arası sismik ötelemeye, aksel yüklerle ya da kesme yüklerine göre imal edilebilirler. Aksel akma sönümleyicileri genellikle çaprazdır. Histeritik sistemlerde enerji tüketimi yük uygulamasına bağlı olarak değişmektedir. Metal ve friksiyon sönümleyiciler histeretik sistemlerdendir (Kelly 2001).

2.4.2 Viskoz Sönümleyiciler

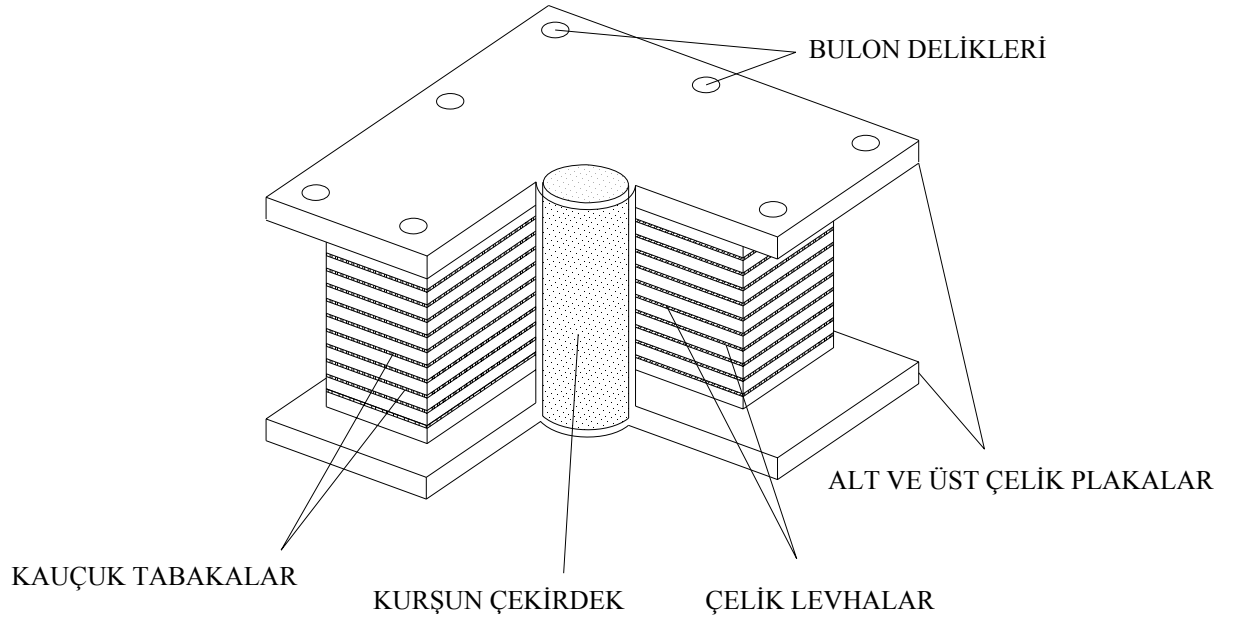
Viskoz sönümleyiciler deplasmanlar yerine hıza karşı orantılı kuvvet temin eden araçlardır. Viskoz sönümleyicilerin büyük çoğunluğu akışkan sönümleyicilerdir. Bu sönümleyiciler eğer yükleme yavaş olursa düşük seviyede karşı kuvvet ile cevap vermektedirler. Ancak yükleme hızı yüksekse karşı koyan kuvvet de o oranda artmaktadır. (Kelly 2001).

2.4.3 Visko-Elastik Sönümleyiciler

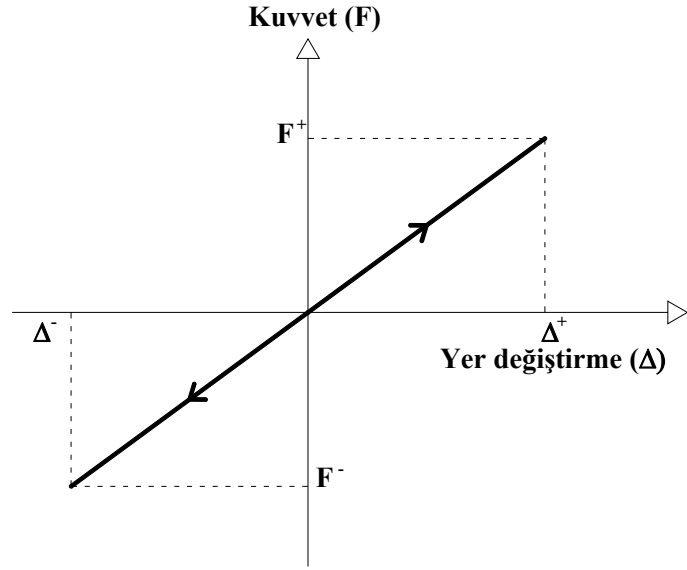
Visko-elastik sistemler hıza bağımlı sönümleyici kuvvetlerin yanında elastik rijitlikleri olan sönümleyicilerdir. Bu sönümleyicilerin en yaygın olarak kullanılan türünde, iki adet dış levha arasına bir levha polimer malzemeyle bağlanmıştır. İçteki levha hareketli levhadır. Sönüm özellikleri frekansa, sıcaklığa ve gerilmeye bağlı olarak değişmektedir. Elastik yay ve bir viskoz sönümleyicinin birleşiminin özelliklerini taşır (Kelly 2001).



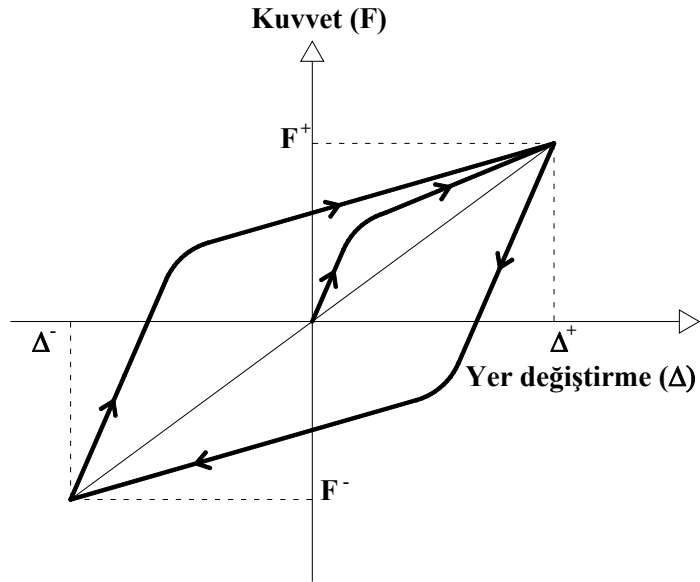
Şekil 2.1: Düşük sönümlü ve yüksek sönümlü kauçuk izolatör.



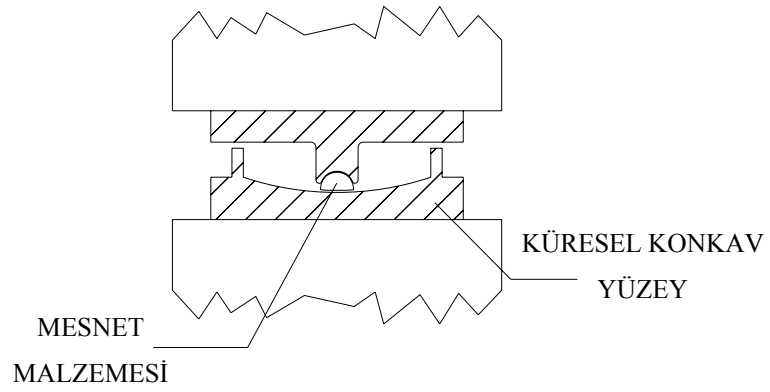
Şekil 2.2: Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör



şekil 2.3: Düşük sönümlü kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme davranışı



şekil 2.4: Yüksek sönümlü kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme davranışı



şekil 2.5: Sürtünlü Sarkaç Mesnet

3. SİSMİK İZOLATÖRLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE UBC97 TASARIM KRİTERLERİ

3.1. GİRİŞ

Bir önceki bölümde değinildiği gibi, sismik izolasyon sistemleri kayıcı mesnetlerin veya kauçuk (elastomerik) mesnetlerin ayrı ayrı veya birlikte kullanılmasıyla elde edilebilir. Bu tez kapsamında, sadece kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sistemleri ele alındığından, bu bölümde sadece kauçuk mesnetlerin mekanik özelliklerine değinilecektir. Kauçuk mesnetlerin mekanik özellikleri ile ilgili çok ayrıntılı bilgi, Kelly (1997) tarafından sunulmuştur. Buna ek olarak, bu konuyla ilgili geniş bir özet Aydın (2004), Baştuğ (2004) ve Tezcan ve Cimilli (2002)'de sunulmuştur. Bu bölümde, tezin bütünlüğünü korumak açısından kauçuk mesnetlerin önemli mekanik özellikleri yukarıdaki kaynaklar kullanılarak kısaca özetlenmiştir.

Kauçuk tabakaların aralarda kullanılan çelik levhalarla birlikte bir araya getirilmesiyle elde edilen sismik izolatörlere genel olarak kauçuk mesnetler veya elastomerik mesnetler denilmektedir. Kauçuk mesnetler düşük sönümlü, yüksek sönümlü ve kurşun saplamalı olarak üç sınıfa ayrılabilir. Bu bölümde, histeritik bir davranışa sahip olan kurşun saplamalı kauçuk mesnetlerin kuvvet-yer değiştirme eğrileri ile ilgili bilgi de ayrıca sunulmuştur.

3.2. KAUÇUK MESNETLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Tabakalı kauçuk izolatörler, alt ve üst başlıkta olmak üzere iki kalın çelik levha ve kauçuk aralarına kauçuk izolatörlerin yanlara doğru şişmesini önlemek amacıyla yerleştirilmiş ince çelik levhalardan meydana gelmiştir. Bir izolasyon mesnetinin en önemli mekanik özelliği yatay rijitliğidir. Yatay rijitlik,

$$K_H = \frac{GA}{t_r} \quad (3.1)$$

formülüyle verilmektedir. Bu formülde G kauçuğun kayma modülü, A kauçuk mesnetin kesit alanı, t_r mesnetteki kauçuk tabakalarının toplam kalınlığıdır. İzolatörde meydana gelen yatay yer değiştirmeyi D ile ifade edersek, kayma yer değiştirmesi γ ile D arasındaki ilişki,

$$\gamma = \frac{D}{t_r} \quad (3.2)$$

olarak ifade edilebilir ve bu ilişki Şekil 3.1’de verilmiştir.

Sismik izolatörlerin düşey yük taşıma kapasitesinin oldukça yüksek olması gereklidir. Dolayısıyla, kauçuğun düşeydeki rijitliğini arttırmak için kauçuk tabakaları arasında çelik levhalar kullanılmaktadır. Kauçuk mesnete ait düşey rijitlik,

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} \quad (3.3)$$

olarak ifade edilir. Burada, E_c kauçuk-çelik kompozit birleşiminin basınç modülüdür.

Sismik izolasyon mesnetleri için genellikle 2000 MPa civarında bir değere ulaşan hacimsel elastite modülü K ve kauçuğa ait basınç modülü E_{ck} olmak üzere, kauçuğun sıkışabilme özelliğini yaklaşık olarak göz önüne alan bağıntı aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_{ck}} + \frac{1}{K} \quad (3.4a)$$

ve buradan da, kauçuk-çelik kompozit birleşiminin basınç modülü,

$$E_c = \frac{E_{ck} K}{E_{ck} + K}$$

(3.4b)

olarak elde edilir. Kauçuğun basınç modülü, E_{ck} , kauçuğun kesit alanının şekline bağlıdır. Tam daire şeklindeki kauçuk tabakası için,

$$E_{ck} = 6GS^2 \quad (3.5)$$

olarak ifade edilirken, tam kare şeklindeki kauçuk tabakası için,

$$E_{ck} = 6.73GS^2 \quad (3.6)$$

olarak verilir. Yukarıdaki (3.5) ve (3.6) Denklemlerinde geçen S , şekil faktörü olarak bilinir. Φ çaplı ve t kalınlıklı tek bir kauçuk tabakası için,

$$S = \frac{\Phi}{4t} \quad (3.7)$$

ve boyutları a olan kare şeklindeki kauçuk tabakası için:

$$S = \frac{a}{4t} \quad (3.8)$$

olarak verilir. Titreşimin yatay frekansı (f_H) ve düşey frekansı (f_v) cinsinden şekil faktörünün formülasyonu ise şöyledir:

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{f_v}{f_H} \quad (3.9)$$

Dairesel bir mesnet için, efektif eğilme rijitliği şu şekilde verilir:

$$(EI)_{ef} = 2GS^2I \quad (3.10)$$

Burada I atalet momenti olup, R yarıçaplı dairesel kesit için $I = \frac{\pi R^4}{4}$ formülüyle hesaplanır.

3.3. KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK MESNETLER İÇİN KUVVET-YER DEĞİŞTİRME İLİŞKİLERİ

Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin, kuvvet-yer değiştirme ilişkileri histeretiktir ve Şekil 3.2’de gösterildiği gibi ikili lineer olarak modellenenebilir. Davranışı karakterize eden ana parametreler K_1 akma öncesi rijitlik veya elastik rijitlik, K_2 akma sonrası rijitlik, Q karakteristik kuvvet, F_y akma dayanımı, D_y akma yer değiştirmesi, D_D maksimum yer değiştirme, F_{max} maksimum kuvvet ve K_{ef} etkin veya efektif rijitlik olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca akma sonrası rijitliğin, akma öncesi rijitliğe oranı α sembolüyle gösterilir.

Şekil 3.2’deki geometrik ve trigonometrik ilişkiler göz önüne alınırsa

$$\frac{F_y - Q}{D_y} = K_2 \quad (3.11a)$$

yazılabilir. Burada $Q = f_{yk} A_k$ olup A_k kullanılan kurşunun kesit alanı ve f_{yk} kurşunun akma dayanımıdır; 10 MPa değerindedir. Denklem (3.11a)’yı yeniden düzenlersek,

$$\frac{F_y}{D_y} - \frac{Q}{D_y} = K_2 \quad (3.11b)$$

olur.

$$\frac{F_y}{D_y} = K_1 \quad (D \leq D_y) \quad (3.11c)$$

olduğundan, Denklem (3.11c)'yi, Denklem (3.11b)'de yerine koyarsak,

$$K_1 - K_2 = \frac{Q}{D_y} \quad (3.11d)$$

olur ve böylece akma öncesi ve akma sonrası rijitliklerinin arasındaki bağıntı:

$$K_1 = K_2 + \frac{Q}{D_y} \quad (D \geq D_y) \quad (3.11e)$$

olarak elde edilir.

K_{ef} parametresine ait bağıntıyı elde edebilmek için, yine Şekil 3.2'deki geometrik ve trigonometrik bağıntılar kullanılabilir:

$$K_2 = \frac{F_{max} - F_y}{D_D - D_y} \quad (3.12a)$$

Buradan:

$$F_{max} - F_y = K_2 (D_D - D_y) \quad (3.12b)$$

olur ve her iki taraf D_D 'ye bölünürse;

$$\frac{F_{max}}{D_D} - \frac{F_y}{D_D} = K_2 - K_2 \frac{D_y}{D_D} \quad (3.12c)$$

elde edilir. Yine Şekil 3.2'den elde edilebilecek bir diğer bağıntı:

$$K_{ef} = \frac{F_{max}}{D_D} \quad (3.12d)$$

olduğundan, Denklem (3.12d)'yi, Denklem (3.12c)'de yerine koyar ve yeniden düzenlersek:

$$K_{ef} = K_2 - K_2 \frac{D_y}{D_D} + \frac{F_y}{D_D} \quad (3.12e)$$

ve

$$K_{ef} = K_2 - \frac{(K_2 D_y - F_y)}{D_D} \quad (3.12f)$$

olur. Ayrıca Denklem (3.11a)'nın yeniden düzenlenmesiyle,

$$Q = F_y - K_2 D_y \quad (3.12g)$$

elde edilebilir. Denklem (3.12g)'yi, Denklem (3.12f)'de yerine koyarsak:

$$K_{ef} = K_2 + \frac{Q}{D_D} \quad D \geq D_y \quad (3.12h)$$

Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan bölge bize bir çevrimde sönümlenen enerji miktarını verir. Bir çevrimde sönümlenen enerji miktarı, W_D :

$$W_D = 4Q(D - D_y) \quad (3.13)$$

olmaktadır.

3.4. KAÜÇUK MESNETLERİN MATEMATİK MODELLEMESİ

Kauçuk mesnetler lineer veya lineer olmayan olmak üzere iki şekilde modellenebilirler.

3.4.1 Kauçuk Mesnetlerin Lineer Modeli

Özellikle sönüm oranı düşük olan düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sistemlerinde, bu mesnetler %100 kayma şekil değiştirmesine ulaşmıncaya kadar lineer davranış gösterdiğinden lineer modelleme uygun olur (Kelly, 1997). Sönümü istenen seviyeye arttırmak için bu tür mesnetlere paralel olarak lineer viskoz temel sönümleyicilerinin kullanılması durumunda lineer izolasyon sistemleri elde edilmektedir. Bu sistemlerde, K_I izolasyon sisteminin rijitliği, ζ_I izolasyon sisteminin viskoz sönüm oranı, C_I lineer izolasyon sistemindeki viskoz sönüm katsayısı, T_I sönümsüz doğal izolasyon periyodu ve ω_I sönümsüz doğal açısal frekans olmak üzere, izolasyon sisteminin taşıdığı üst yapının yaptığı rijit blok hareketi göz önüne alındığında;

$$T_I = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_I g}} \quad (3.14)$$

$$\omega_I = \frac{2\pi}{T_I} \quad (3.15)$$

$$\zeta_I = \frac{C_I}{2M\omega_I} \quad (3.16)$$

olarak verilir. Burada, W yapının toplam ağırlığı, M yapının toplam kütlesini göstermektedir.

3.4.2 Kauçuk Mesnetlerin Lineer Olmayan İki Eksenli Modeli

Histeretik davranış sergileyen, örneğin kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı lineer olmayan izolasyon sistemlerinde tek bir sönüm oranı veya tek bir titreşim periyodu olmadığından etkin viskoz sönüm oranı ve etkin periyot tanımlamaları yapılır. Etkin viskoz sönüm oranı:

$$\zeta_{ef} = \frac{W_D}{2\pi K_{ef} D^2} \quad (3.17a)$$

olarak ifade edilir ve buradan W_D :

$$W_D = 2\pi K_{ef} D^2 \zeta_{ef} \quad (3.17b)$$

olarak tanımlanır. Denklem (3.13) ile verilen W_D , Denklem (3.17)'de yerine konulursa:

$$\zeta_{ef} = \frac{4Q(D-D_y)}{2\pi K_{ef} D^2} \quad (3.18)$$

elde edilir. Lineer olmayan sismik izolasyonlu yapının etkin doğal açısal frekansı,

$$\omega_{ef} = \sqrt{\frac{K_{ef} g}{W}} = \sqrt{K_2 \frac{g}{W} + \frac{Qg}{W D}} = \sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}} \quad (3.19)$$

9)

olur. Burada μ , kuvvet oranı olarak bilinir ve Q karakteristik kuvvetinin, yapının W toplam ağırlığına oranını göstermektedir. Denklemdaki diğer parametrelerden g yerçekim ivmesi ve ω_0 akmadan sonraki açısal frekanstır:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_2}{M}} \quad (3.20)$$

Burada, M yapının toplam kütlesidir. Dolayısıyla, yapının etkin titreşim periyodu T_{ef} ve izolasyon periyodu olarak da bilinen akma sonrası titreşim periyodu T_0 aşağıda sırasıyla Denklem (3.21) ve Denklem (3.22) ile verilir:

$$T_{ef} = \frac{2\pi}{\omega_{ef}} \quad (3.21)$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (3.22)$$

Bir kauçuk mesnetin hareketi sırasında enine ve boyuna doğrultuda oluşan histeretik kuvvetler, f_x ve f_y

$$f_x = \alpha \frac{F_y}{D_y} U_x + (1-\alpha) F_y Z_x \quad (3.23)$$

$$f_y = \alpha \frac{F_y}{D_y} U_y + (1-\alpha) F_y Z_y \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, α plastik rijitliğin elastik rijitliğe oranını $\left(\frac{K_2}{K_1}\right)$, F_y akma kuvvetini, D_y akma yer değiştirmesini göstermektedir. $\dot{U}_x$ ve $\dot{U}_y$ mesnette oluşan hızları göstermek üzere, Z_x ve Z_y değerleri,

$$\begin{Bmatrix} \dot{Z}_x \\ \dot{Z}_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A \dot{U}_x \\ A \dot{U}_y \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_x^2 \left(\gamma \text{Sign} \left(Z_x \dot{U}_x \right) + \beta \right) & Z_x Z_y \left(\gamma \text{Sign} \left(Z_y \dot{U}_y \right) + \beta \right) \\ Z_x Z_y \left(\gamma \text{Sign} \left(Z_x \dot{U}_x \right) + \beta \right) & Z_y^2 \left(\gamma \text{Sign} \left(Z_y \dot{U}_y \right) + \beta \right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_x \\ \dot{U}_y \end{Bmatrix} \quad (3.25)$$

denkleminde verilmiş olup, histeretik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değerlerdir. A , γ ve β çevrimsel döngünün şeklini kontrol eden boyutsuz sabitlerdir. $\frac{A}{\gamma+\beta} = 1$ olmak üzere genellikle $A = 1$, $\gamma = 0.9$ ve $\beta = 0.1$ öngörülmektedir.

$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\dot{U}_y}{\dot{U}_x} \right)$ olmak üzere, histeretik parametreler $Z_x = \cos \theta$ ve $Z_y = \sin \theta$ olarak

ortaya çıkar (Nagarajaiah, 1991).

3.5. UNIFORM BUILDING CODE (UBC 97) TANIMLARI VE TASARIM KRİTERLERİ

Ülkemizde sismik izolasyonlu yapıların deprem yükleri altında tasarımıyla ilgili herhangi bir yönetmeliğin olmayışı ve mevcut deprem yönetmeliğinin sismik taban izolasyonlu sistemleri kapsamaması sebebiyle, yapılan bu çalışmada UBC yönetmeliğinden (UBC97, 1997) faydalanılmıştır. UBC'ye göre tasarım depremi 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı % 10, dönüşüm periyodu 475 yıl olan depremdir. Tasarım depreminde meydana gelen yatay yerdeğiştirmeye, D_D tasarım yer değiştirmesi denilmektedir:

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VD} T_D}{B_D} \quad (3.26)$$

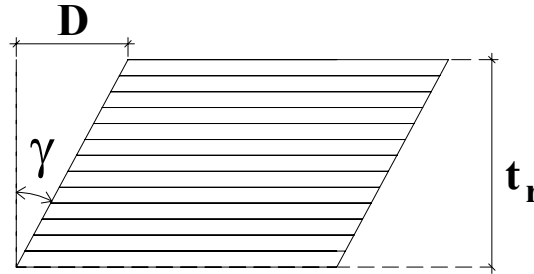
İzolasyon sisteminin histeretik davranışı sonucu harcanan enerjiye eşdeğer olan viskoz sönüm oranına, ζ_{ef} efektif sönüm oranı denir. İzolasyon sisteminde sönüm yanında rijitlik de mevcuttur ve etkin rijitlik aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$K_{ef} = \frac{4\pi^2}{T_D^2} \frac{W}{g} \quad (3.27)$$

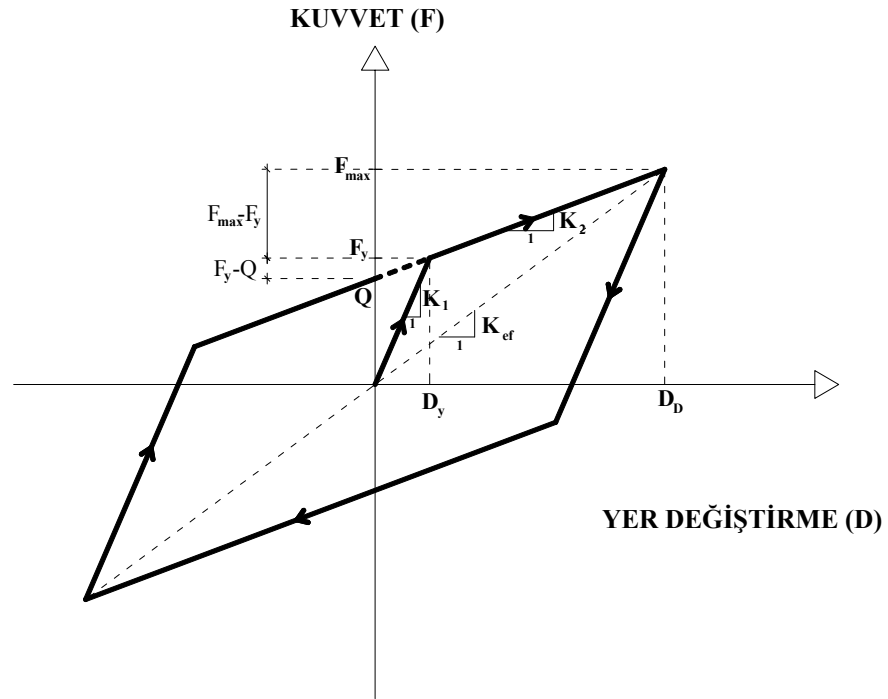
İzolasyon sisteminin etkin periyodu ise:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin} g}} \quad (3.28)$$

ile verilir. Burada K_{Dmin} izolasyon sistemindeki minimum etkin rijitliktir. Denklem (3.26)-(3.28)'de kullanılan parametreler Tablo 3.1-3.8'de verilmiştir (UBC97, 1997).



Şekil 3.1: Kayma-şekil değiştirme ilişkisi.



Şekil 3.2: Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.

Tablo 3.1 Sismik bölge katsayısı.

DEPREM BÖLGESİ	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

Tablo 3.2 Sismik kaynak tipleri.

Sismik Kaynak Tipi	Sınıflandırma	En Büyük Deprem Büyüklüğü (M)	Kayma oranı (SR) (mm/yıl)
A	Çok Şiddetli Deprem Üretme Olasılığı Olan ve Sismik Faaliyet Yüksek Olan Faylar	$M \geq 7$	$SR \geq 5$
B	A ve C Sınıfına Dahil Olmayan Diğer Tüm Faylar	$M \geq 7$ $7 > M \geq 6.5$	$2 < SR < 5$ $SR < 2$
C	Çok Şiddetli Deprem Üretme Olasılığı Olmayan ve Sismik Faaliyet Düşük Olan Faylar	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

Tablo 3.3 Aktif faya yakınlık faktörü (N_a).

SİSMİK KAYNAK TİPİ	AKTİF FAYA BİLİNER EN KISA UZAKLIK		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Tablo 3.4 Aktif faya yakınlık faktörü (N_v).

SİSMİK KAYNAK TİPİ	AKTİF FAYA BİLİNER EN KISA UZAKLIK			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 10 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

Tablo 3.5 Zemin tipleri.

Zemin Tipi	Sınıflandırma	Kayma Dalgası Hızı (m/s)	Standart Penetrasyon Testi (Vuruş Sayısı/30.5m)	Drenajsız Kesme Mukavemeti (kPa)
S _A	Sıkı Kaya	> 1500	-	-
S _B	Kaya	760~1500	-	-
S _C	Çok sıkı Zemin ve Yumuşak Kaya	360~760	> 50	> 100
S _D	Sıkı Zemin	180~360	15~50	50~100
S _E	Yumuşak Zemin	< 180	< 15	< 50
S _F	Yapı bölgesinde yerel zeminin incelenmesi gerekmektedir.			

Tablo 3.6 Spektral sismik katsayısı (C_{AD}).

ZEMİN TİPİ	Sismik Bölge 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	0.32Na
S _B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40Na
S _C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40Na
S _D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44Na
S _E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36Na
S _F	Yapı bölgesinde yerel zeminin incelenmesi gerekmektedir.				

Tablo 3.7 Spektral sismik katsayısı (C_{VD}).

ZEMİN TİPİ	Sismik Bölge 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	0.45	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	Yapı bölgesinde yerel zeminin incelenmesi gerekmektedir.				

Tablo 3.8 Sönüm azaltma katsayısı.

Efektif Sönüm Yüzdesi, ζ_{ef}	B _D
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

4. MATEMATİKSEL MODELLEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, titreşime hassas cihazların deprem etkilerinden korunmalarında yol gösterici olabilecek genel sonuçlara ulaşabilmek amacıyla seçilen prototip bir yapı üzerinde parametrik analizler yapılmıştır. Kullanım amacı dolayısıyla kritik öneme sahip yapılarda bulunan hassas cihazlar, kat ivmeleri belli seviyeleri geçtiğinde çalışmaya devam edememekte hatta kalıcı hasara uğrayabilmektedir. Bu yapıların deprem sırasında ve sonrasında işlevine devam edebilmeleri açısından bu yapılarıdaki hassas cihazların depremin neden olduğu titreşimlerden korunabilmeleri için kat ivmelerinin mümkün olduğunca azaltılması ve bu cihazların ivmeleri en düşük olan katlara yerleştirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada ana performans kriteri olarak toplam kat ivmeleri, a_t , incelenmiştir. Bir i 'nci katın toplam ivmesi:

$$a_{ti} = \max_t (a_{xi}^2 + a_{yi}^2)^{1/2} \quad t = 0: \Delta t: t_f \quad (4.1)$$

olarak ifade edilebilir. Burada, a_{xi} i 'nci katın X yönündeki toplam ivmesini, a_{yi} i 'nci katın Y yönündeki toplam ivmesini, t_f toplam simulasyon süresini, Δt ve t zamanı göstermektedir. Kuvvetli yer hareketine maruz kalan sismik izolasyonlu bir yapının dinamik denge denklemleri

$$\mathbf{m} \ddot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{c} \dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{k} \mathbf{q}(t) + \mathbf{F}(\mathbf{q}(t), \dot{\mathbf{q}}(t)) = -\mathbf{m} \mathbf{H} \ddot{\mathbf{z}}(t) \quad (4.2)$$

olarak verilir (Chopra, 2001). Burada, $\mathbf{F}(\mathbf{q}(t), \dot{\mathbf{q}}(t))$ detaylı olarak Bölüm 3.4.2'de anlatılan lineer olmayan histeretik kuvvetler, $\mathbf{m}$ kütle matrisi, $\mathbf{c}$ sönüm katsayısı, $\mathbf{k}$ rijitlik matrisi, $\ddot{\mathbf{z}}(t)$ yer ivmesinin X ve Y yönündeki bileşenlerini içeren yer ivmesi vektörü, $\mathbf{q}$ katların X yönündeki yer değiştirmeleri, Y yönündeki yer değiştirmeleri ve Z eksenini etrafındaki dönme bileşenlerini içeren yer değiştirme vektörüdür. Lineer bir izolasyon sisteminin denge denklemlerinde $\mathbf{F}(\mathbf{q}(t), \dot{\mathbf{q}}(t))$ sıfır olmaktadır.

Sismik izolasyon sayesinde kat ivmeleri eşleniği taban ankastre bir yapıya göre çok daha az olacaktır. Sismik izolasyonlu bir yapıdaki kat ivmelerinin daha da fazla

azaltılabilmesi için bu çalışmada öngörülen ilk çözüm izolasyon sistemindeki sönümün arttırılmasıdır. Öngörülen diğer çözüm ise ek sönümleyiciler kullanılarak üst yapının sönümünün arttırılmasıdır.

Sismik izolasyonlu yapılarda kat yüksekliği boyunca kat ivmelerinin nasıl dağıldığını, izolasyon sisteminin sönüm oranındaki artışın kat ivmelerini hangi seviyeye kadar azaltabileceğini; ve üst yapıda kullanılacak ek sönümleyiciler ile sağlanabilecek üst yapı sönüm oranındaki artışın kat ivmelerini daha da fazla azaltıp azaltamayacağını ve hangi seviyeye kadar azaltabileceğini inceleyebilmek için prototip bir yapı seçilmiş ve SAP2000 programı (SAP2000N, 2005) kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Üst yapı esnekliğinin de sonuçlara etkisini göz önüne alabilmek için çalışma üç ve beş katlı olmak üzere iki farklı yapı için yürütülmüştür. Analizler, hem yakın hem de uzak deprem tiplerini içeren beş değişik tarihi deprem altında aynı anda iki yönlü (Doğu-Batı ve Kuzey-Güney) olarak zaman tanım alanında yapılmıştır. Analizlerde, farklı izolasyon sönüm oranları, farklı üst yapı sönüm oranları, farklı izolasyon periyotları ve lineer ve lineer olmayan farklı izolasyon sistemleri göz önüne alınmıştır. Aşağıda üst yapıya, izolasyon sistemlerine ve seçilen depremlere ait detaylı bilgi sunulmuştur.

4.1. ÜST YAPININ ÖZELLİKLERİ

Parametrik çalışmada kullanılan yapının taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve olup döşeme sistemi kirişli plaktır. Üç ve beş katlı olarak ayrı ayrı modellenen yapıların tipik kat planları Şekil 4.1’de verilmiştir. Yapıda X yönündeki açıklık sayısı üç, Y yönündeki açıklık sayısı ise ikidir. Her iki yönde de açıklık mesafeleri sabit ve 4.00 m’dir. Taşıyıcı sistemi oluşturan kolon ve kiriş boyutları her katta aynıdır ve kullanılan beton sınıfı B C30’dur. Kirişlerin boyutları her yönde sabit olup 30×50 cm’dir. Kolonların boyutları ise Tablo 4.1’de verilmiştir. Kat yükseklikleri her katta sabit ve 3.00 m olan üç ve beş katlı yapıların düşey kesitleri sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te verilmiştir. Her katın kütlesi eşit ve 100 ton’dur. Herhangi bir düzensizliğin mevcut olmadığı yapıda ağırlık ve rijitlik merkezleri çakışmaktadır ve kat planının geometrik merkezindedir. Üst yapının lineer elastik davrandığı kabul edilmiş ve katlar rijit diyafram olarak modellenmiştir. Herhangi bir ek sönümleyicinin kullanılmadığı durum için üst yapıya ait modal viskoz sönüm oranı $\zeta_s = \%5$ olarak kabul edilmiştir. Üç katlı yapının taban

ankastre doğal periyotları X ve Y yönlerinde 0.45 s ve 0.42 s'dir. Beş katlı yapının taban ankastre doğal periyotları ise X ve Y yönlerinde 0.77 s ve 0.73 s'dir. Üç ve beş katlı yapılara ait sismik izolasyonlu modeller üst yapılara birer izolasyon katının ve izolasyon sistemlerinin eklenmesiyle elde edilmiştir. Sismik izolasyonlu yapılara ait SAP2000 programı (SAP2000N, 2005) kullanılarak elde edilen üç boyutlu sonlu elemanlar modeli Şekil 4.4'de verilmiştir.

4.2. LİNEER İZOLASYON SİSTEMİ

Bu kısımda lineer izolasyon sistemlerinin rijitlik ve sönüm katsayılarının hedeflenen izolasyon periyodu ve izolasyon sönüm oranına sahip olacak şekilde nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Farklı izolasyon periyotlarına ($T_I = 2s$ ve $T_I = 3s$) ve farklı izolasyon sönüm oranlarına ($\zeta_I = 0.10, 0.20, 0.30, 0.40$) sahip sekiz çeşit izolasyon sistemi göz önüne alınmıştır. Hesaplar üç ve beş katlı yapı için ayrı ayrı tekrar edilmiştir. Bu kısımda izolasyon sistemindeki sönüm oranının değişmesiyle davranışın nasıl değiştiği incelenmiştir.

4.2.1 Üç Katlı Yapı

Üç katlı yapıda, izolasyon katı ile birlikte toplam dört adet kat vardır (B, 1., 2. ve 3. katlar). Yapının toplam kütlesi $M = 4 \times 100 = 400$ ton ve yapının toplam ağırlığı $W = 400 \times 9.81 = 3924$ kN'dur. İzolasyon sistemi X ve Y yönünde aynı özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bir yönde hedeflenen izolasyon periyoduna, T_I , ve hedeflenen izolasyon viskoz sönüm oranına, ζ_I , karşılık gelen izolasyon sisteminin toplam rijitliği K_I ve izolasyon sistemindeki toplam viskoz sönüm katsayısı C_I Bölüm 3.4.1'de anlatılan terori ve verilen denklemler yardımıyla hesaplanabilir. Lineer bir izolasyon sisteminin hesap adımlarını gösteren akış diyagramı Şekil Ek 1.1'de gösterilmiştir. Örnek olarak, hedeflenen $T_I = 2.0$ s sönümsüz izolasyon periyoduna ve $\zeta_I = 0.10$ viskoz sönüm oranına sahip yapı için Denklem (3.14) kullanılarak:

$$T_I = 2.0 = 2\pi \sqrt{\frac{3924}{K_I \cdot 9.81}} \Rightarrow K_I = 3947.84 \text{ kN/m}$$

olarak bulunur. $T_I = 2.0$ s.'ye karşılık gelen doğal açısal frekans değeri Denklem (3.15) kullanılarak elde edilir:

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{2} = 3.142 \text{ rad/s}$$

olur. Bulunan rijitlik ve sönümsüz açısal frekans değerleri Denklem (3.16)'dan yerine konulduğunda,

$$C_1 = 0.1 \times 2 \times 400 \times 3.12 = 251.33 \text{ kN/m/s}$$

olarak bulunur. Hesaplanan K_1 ve C_1 değerleri hem X hem de Y yönü için aynı alınacaktır. Üç katlı yapı için, hedeflenen diğer sönümsüz izolasyon periyotlarına, T_1 , ve izolasyon viskoz sönüm oranlarına, ζ_1 , karşılık gelen izolasyon rijitliği, K_1 , ve izolasyon sönüm katsayısı, C_1 , değerleri benzer şekilde hesaplanarak Tablo 4.2'de verilmiştir.

4.2.2 Beş Katlı Yapı

Beş katlı yapıda, izolasyon katı ile birlikte toplam altı adet kat vardır(B, 1., 2., 3., 4. ve 5. katlar). Yapının toplam kütlesi $M = 6 \times 100 = 600$ ton ve yapının toplam ağırlığı $W = 600 \times 9.81 = 5886 \text{ kN}$ 'dur. İzolasyon sistemi X ve Y yönünde aynı özelliklere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Hedeflenen izolasyon periyoduna, T_1 , ve hedeflenen izolasyon viskoz sönüm oranına, ζ_1 , karşılık gelen izolasyon sisteminin toplam rijitliği K_1 ve izolasyon sistemindeki toplam viskoz sönüm katsayısı C_1 Bölüm 3.4.1'de anlatılan teori ve verilen denklemler yardımıyla hesaplanabilir. Lineer bir izolasyon sisteminin hesap adımlarını gösteren akış diyagramı Şekil Ek 1.1'de gösterilmiştir. Örnek olarak, hedeflenen $T_1 = 2.0 \text{ s.}$ sönümsüz izolasyon periyoduna ve $\zeta_1 = 0.10$ viskoz sönüm oranına sahip yapı için Denklem (3.14) kullanılarak:

$$T_1 = 2.0 = 2\pi \sqrt{\frac{5886}{K_1 \cdot 9.81}} \Rightarrow K_1 = 5921.76 \text{ kN/m}$$

olarak bulunur. $T_1 = 2.0 \text{ s.}$ 'ye karşılık gelen doğal açısal frekans değeri Denklem (3.15) kullanılarak elde edilir:

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{2} = 3.142 \text{ rad/s}$$

olur. Bulunan rijitlik ve sönümsüz açısal frekans değerleri Denklem (3.16)'dan yerine konulduğunda,

$$C_1 = 0.1 \times 2 \times 600 \times 3.12 = 376.99 \text{ kN/m/s}$$

olarak bulunur. Hesaplanan K_1 ve C_1 değerleri hem X hem de Y yönü için aynı alınacaktır. Beş katlı yapı için, hedeflenen diğer sönümsüz izolasyon periyotlarına, T_1 ,

ve izolasyon viskoz sönüm oranlarına, ζ_I , karşılık gelen izolasyon rijitliği ve izolasyon sönüm katsayısı değerleri benzer şekilde hesaplanarak Tablo 4.2’de verilmiştir.

4.3. LİNEER OLMAYAN İZOLASYON SİSTEMLERİ

Bu kısımda deprem aktivitesi yüksek olan ve sismik kaynağa oldukça yakın bir bölgede bulunduğu kabul edilen bir yapı için lineer olmayan izolasyon sistemleri tasarlanmıştır. Tasarlanacak sismik izolasyon sisteminin, böyle bir bölgede meydana gelmesi beklenen muhtemel deprem altında yapacağı yer değiştirme UBC97 yönetmeliğine göre (UBC97, 1997) hesaplanmıştır. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı iki çeşit lineer olmayan izolasyon sistemi ele alınmıştır. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sistemlerinde ek temel sönümleyicisi kullanılmadan ulaşılabilecek sönüm oranı tipik olarak %10’dur. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sistemlerinde ise bu oran %20 civarındadır. Dolayısıyla, buna uygun olarak izolasyon sönüm oranları yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sistemleri için %10 ve kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sistemleri için %20 olarak hedeflenmiştir. Her iki tür izolasyon sistemi de 2.0 saniyelik bir etkin izolasyon periyodu hedeflenerek tasarlanmıştır. Uygulamada farklı düşey yükler için tasarlanacak iki farklı mesnet tipinde (A ve B) kullanılmak üzere iki farklı kauçuk tipi seçilmiştir ve bunların mekanik özellikleri Tablo 4.3’de verilmiştir. Yüksek düşey yük taşıyan iç kısımdaki S6 ve S7 kolonlarının altında kullanılan izolatörler B tipi, diğer tüm izolatörler ise A tipi izolatör olarak tasarlanmıştır. Her iki tür kauçuk için maksimum kayma yer değiştirmeleri $\gamma_{\max} = 1.5$ ’tir. Tüm izolasyon sistemlerinde dairesel izolatörler kullanılmıştır. İzolasyon sistemlerinin tasarımı üç katlı ve beş katlı yapılar için ayrı ayrı yapılmıştır. Lineer olmayan izolasyon sistemlerinin tasarımında Kelly (1997) ve Baştuğ’da (2004) tarif edilen yol izlenmiştir. Tasarlanan izolatörlerin tipik kesitleri Şekil 4.5’te verilmiştir.

Yapının aktif faya 5 km mesafedeki aktif bir deprem bölgesinde bulunduğu ve bu bölgede $M > 7$ büyüklüğünde depremlerin meydana gelebileceği, fayın yıllık rölatif kayma oranının 2 mm ila 5 mm arasında olduğu kabul edilmiştir. Yapının üstüne inşa edildiği zemin tipi sıklıkla karşılaşılan sıkı zemin olarak alınmıştır. Tarif edilen bu bölgeye uygun olarak UBC97’de tasarımda kullanılmak üzere çeşitli parametreler

tanımlanmıştır. Sismik bölge katsayısı, depremselliği yüksek olan bir bölge için (Z4) Tablo 3.1’de 0.40 olarak verilmiştir. Fayın yıllık rölatif kayma oranı ve meydana gelebilecek deprem büyüklüğüne bağlı olarak sismik kaynak türü Tablo 3.2’de tanımlanmıştır. Buna göre, yukarıda tarif edilen bölge için sismik kaynak türü B olmaktadır. Tablo 3.5’de özellikleri verilen sıkı zemin için zemin tipi S_D ’dir. UBC97’de aktif faya bilinen en kısa mesafeye bağlı olarak aktif faya yakınlık faktörü N_a ve N_v tanımlanmıştır ve aktif faya bilinen en kısa mesafenin 5 km olduğu B türü sismik kaynaklar için Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’den, $N_a = 1.0$ ve $N_v = 1.2$ olmaktadır. Sismik bölge katsayısı ve zemin tipine bağlı olarak Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’den spektral sismik katsayıları C_{AD} ve C_{VD} sırasıyla $C_{AD} = 0.44N_a \Rightarrow C_{AD} = 0.44 \times 1.0 = 0.44$ ve $C_{VD} = 0.64N_v \Rightarrow C_{VD} = 0.64 \times 1.2 = 0.768$ olur.

Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı lineer olmayan izolasyon sistemlerinin hesap adımları Şekil Ek 1.2a - Şekil Ek 1.2c’de gösterilmiştir.

4.3.1 Üç Katlı Yapı

Üç katlı yapıda, izolasyon katı ile birlikte toplam dört adet kat vardır. Yapının toplam kütlesi $M = 4 \times 100 = 400$ ton ve yapının toplam ağırlığı $W = 400 \times 9.81 = 3924$ kN’dur.

4.3.1.1 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet Uygulaması

İzolasyon sisteminin hedeflenen izolasyon periyodu $T_D = 2$ s ve hedeflenen sönüm oranı $\zeta_D = 0.10$ (Tablo 3.8’den $B_D = 1.2$) için tasarım yer değiştirmesi Denklem (3.26)’dan bulunur,

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 2.0}{4\pi^2 \times 1.2} = 0.3181 \text{ m} = 31.81 \text{ cm}$$

Hedeflenen etkin izolasyon periyoduna ulaşabilmek için gereken izolasyon sisteminin minimum etkin izolasyon rijitliği K_{Dmin} Denklem (3.28)’den elde edilebilir:

$$K_{Dmin} = \frac{4\pi^2}{2.0^2} \times 400 = 3947.842 \text{ kN/m} = 3.948 \text{ MN/m}$$

İzolasyon sisteminin toplam rijitliği her bir izolatörün K_H yatay rijitliğinin toplamıdır. Dolayısıyla, tasarlanan izolasyon sisteminde 10 adet A ve 2 adet B izolatörü bu minimum rijitliği verecek şekilde boyutlandırılacaktır.

Maksimum kayma yer değiştirmeleri $\gamma_{\max} = 1.5$ ve tasarım yer değiştirmesi $D_D = 31.81$ cm için kauçuk tabakalarının toplam kalınlığı Denklem (3.2)’den:

$$t_r = \frac{31.81}{1.5} = 21.21 \text{ cm olarak bulunur ve } t_r = 22 \text{ cm olarak seçilir. Her bir izolatör için}$$

yatay rijitlik Tablo 4.3’den $G_A = 0.5 \text{ MPa}$, $G_B = 1.0 \text{ MPa}$ alınarak ve Denklem (3.1) kullanılarak edilebilir. Dolayısıyla toplam yatay rijitlik için

$$10 \times \frac{G_A A}{t_r} + 2 \times \frac{G_B A}{t_r} = \frac{10 \times 0.5 \times A}{0.22} + \frac{2 \times 1.0 \times A}{0.22} = 3.948 \text{ MN/m}$$

yazılabilir ve buradan her bir izolatör için kesit alanı $A = 0.12408 \text{ m}^2$ olarak bulunur.

$$A = 0.12408 \text{ m}^2 \text{ için izolatör çapı } \Phi = \sqrt{\frac{4 \times 0.12408}{\pi}} = 0.3975 \text{ m.}$$

Burkulma riskini önlemek için kauçuk tabakalarının toplam yüksekliği izolatörün çapının yarısıyla sınırlandırılırsa:

$\Phi = 44 \text{ cm}$ seçilir ve buradan $A = 0.15205 \text{ m}^2$ olur. A ve B tipi mesnetler için yatay rijitlik Denklem (3.1)’den,

$$K_H^A = \frac{0.5 \times 0.15205}{0.22} = 0.34557 \text{ MN/m} = 345.568 \text{ kN/m,}$$

$$K_H^B = \frac{1.0 \times 0.15205}{0.22} = 0.69114 \text{ MN/m} = 691.136 \text{ kN/m}$$

bulunur. Dolayısıyla izolasyon sisteminin toplam etkin yatay rijitliği K_{ef}

$$K_{ef} = 10 \times K_H^A + 2 \times K_H^B = 10 \times 345.568 + 2 \times 691.136 = 4837.952 \text{ kN/m} = 4.838 \text{ MN/m}$$

ve buna karşılık gelen izolasyon sisteminin etkin periyodu Denklem (3.28)’den:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{400}{4838}} = 1.807 \text{ s}$$

olarak bulunur. İzolasyon sisteminde bir çevrimde sönümlenen enerji miktarı, W_D , her bir izolatörde bir çevrimde sönümlenen enerji miktarlarının toplamına eşittir.

Dolayısıyla $W_D = 10 \times W_D^A + 2 \times W_D^B$ yazılabilir. Denklem (3.17b) kullanılarak

$$W_D = 10 \times \zeta_{ef}^A \times 2\pi \times K_H^A \times D_D^2 + 2 \times \zeta_{ef}^B \times 2\pi \times K_H^B \times D_D^2 = \zeta_{ef} \times 2\pi \times K_{ef} \times D_D^2$$

$$\zeta_{ef} = \frac{10 \times 2\pi \times K_H^A \times D_D^2 \times \zeta_{ef}^A + 2 \times 2\pi \times K_H^B \times D_D^2 \times \zeta_{ef}^B}{2\pi \times K_{ef} \times D_D^2} = \frac{10 \times K_H^A \times \zeta_{ef}^A + 2 \times K_H^B \times \zeta_{ef}^B}{K_{ef}}$$

$$\zeta_{ef} = \frac{10 \times 345.568 \times 0.10 + 2 \times 691.136 \times 0.15}{4837.952} = 0.11429$$

bulunur ve Tablo 3.8'den %11.43 etkin sönüm oranı için için sönüm azaltma katsayısı $B_D = 1.243$ olarak elde edilir. $\zeta_{ef} = \%11.43$ ve $T_D = 1.81$ s için tasarım yer değıştirmesi Denklem (3.26)'dan tekrar hesaplanır,

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 1.81}{4\pi^2 \times 1.243} = 0.2775 \text{ (m)} = 27.75 \text{ cm}$$

İzolasyon sisteminin toplam düşey rijitliği K_v iterasyon yöntemiyle hesaplanır. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetin yatay frekansı

$$f_H = \frac{1}{T_D} = \frac{1}{1.81} = 0.55249 \text{ Hz}$$

olarak hesaplanır. Öte yandan titreşimin yatay frekansı (f_H) ve düşey frekansı (f_v) cinsinden şekil faktörü, S , Denklem (3.9) ile verilmektedir. İterasyona başlamak için düşey frekansı ilk kabul olarak 16.80 Hz seçersek

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{16.80}{0.55249} = 12.414$$

olur. Hacimsel elastite modülü kauçuk için $K = 2000 \text{ MPa}$ 'dır. Her bir izolatör için küçük yer değıştirmeler altında Tablo 4.3'den $G_A = 0.7 \text{ MPa}$ ve $G_B = 1.4 \text{ MPa}$ alınır. Denklem (3.4b)'den her bir izolatör için kauçuk-çelik birleşiminin basınç modülü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_c^A = \frac{6 \times 0.7 \times 12.414^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 12.414^2 + 2000} = 488.999 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c^B = \frac{6 \times 1.4 \times 12.414^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 12.414^2 + 2000} = 745.856 \text{ MN/m}^2$$

A ve B izolatörlerinin düşey rijitlikleri Denklem (3.3) ile hesaplanır,

$$K_v^A = \frac{489 \times 0.15205}{0.22} = 337.965 \text{ MN/m}$$

$$K_v^B = \frac{785.856 \times 0.15205}{0.22} = 543.134 \text{ MN/m}$$

bulunur. Sistemin toplam düşey rijitliği ise:

$$K_v = 10 \times 337.965 + 2 \times 543.134 = 4465.917 \text{ MN/m}$$

olarak bulunur. Bulunan rijitlik için sistemin düşey periyodu

$$T_v = 2\pi\sqrt{\frac{3924}{4465917 \times 9.81}} = 0.05946 \text{ s}$$

olarak bulunur ve buna karşılık gelen düşey frekans hesaplanırsa,

$$f_v = \frac{1}{T_v} = \frac{1}{0.05946} = 16.82 \text{ Hz}$$

olur. İterasyona başlarken kabul edilen düşey frekans değerine yeterince yakın olduğundan iterasyona devam etmeye gerek yoktur. Bulunan değerlere göre yüksek sönümlü tek bir kauçuk mesnetin kalınlığı Denklem (3.7)'den şu şekilde hesaplanır:

$$12.414 = \frac{0.44}{4t} = 0.008861 \text{ m} = 8.861 \text{ mm}$$

ve buna karşılık gelen kauçuk tabakası adedi

$$n = \frac{tr}{t} = \frac{220}{8.861} = 24.83 \Rightarrow n = 25 \text{ adet seçilmiştir.}$$

Buradan, tek bir kauçuk tabakası kalınlığı $t = \frac{220}{25} = 8.8 \text{ mm}$ olarak hesaplanır. $n = 25$

adet kauçuk katmanı için $(n-1) = 24$ adet 2 mm kalınlığında çelik levha kullanılacaktır. Çelik levhaların toplam kalınlığı $(n-1) \times 2 \text{ mm} = 24 \times 2 = 48 \text{ mm}$ olur. Alt ve üst çelik bağlantı plakalarının her biri 25 mm kalınlığında alınırsa, izolatörün toplam yüksekliği $h = 2 \times 25 + 48 + 220 = 318 \text{ mm}$ olarak elde edilir. Son boyutlar (Şekil 4.5a) ile mekanik özellikler tekrar hesap edilir. Denklem (3.7)'den:

$$S = \frac{0.44}{4 \times 0.0088} = 12.5$$

olur. Bulunan şekil faktörü için A ve B mesnetlerine ait basınç modülleri tekrar hesaplanırsa:

$$E_c^A = \frac{6 \times 0.7 \times 12.5^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 12.5^2 + 2000} = 494.118 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c^B = \frac{6 \times 1.4 \times 12.5^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 12.5^2 + 2000} = 792.453 \text{ MN/m}^2$$

elde edilir. Denklem (3.3)'den A ve B mesnetlerinin düşey rijitlikleri:

$$K_v^A = \frac{494.118 \times 0.15205}{0.22} = 341.503 \text{ MN/m}$$

$$K_v^B = \frac{792.453 \times 0.15205}{0.22} = 547.693 \text{ MN/m}$$

bulunur. İzolasyon sisteminin toplam rijitliği şu şekilde hesaplanır:

$$K_v = 10K_v^A + 2K_v^B = 10 \times 341.503 + 2 \times 547.693 = 4510.416 \text{ MN/m}$$

Bulunan rijitlik değerine göre sistemin düşey periyodu

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{400}{4510.416 \times 1000}} = 0.05917 \text{ s}$$

olur ve düşey frekans da

$$f_v = \frac{1}{T_v} = \frac{1}{0.05917} = 16.90 \text{ Hz}$$

olarak elde edilir.

$R = 0.22 \text{ m}$ yarıçaplı dairesel A ve B izolatörleri için eğilme rijitlikleri için Denklem (3.10) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$(EI)_{ef}^A = 2 \times 500 \times 12.5^2 \times \frac{\pi \times 0.22^4}{4} = 287.475 \text{ kNm}^2$$

$$(EI)_{ef}^B = \frac{\pi}{2} \times 1000 \times 12.5^2 \times 0.22^4 = 547.951 \text{ kNm}^2$$

Son olarak, her bir izolatör tipi için kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin kurulması gerekmektedir.

Öncelikle *A tipi izolatör* için bu eğri kurulacaktır:

Mesnetin yatay rijitliği 345.568 kN/m ve Tablo (4.1)'den sönümü %10 dur. Denklem (3.17a)'dan,

$$W_D = 2\pi \times 345.568 \times 0.2775^2 \times 0.10 = 16.720 \text{ kNm}$$

Bulunur. Denklem (3.13) ve $D_y = 0$ ilk kabulü ile iterasyona başlanırsa;

$$Q = \frac{16.720}{4 \times 0.2775} = 15.063 \text{ kN}$$

bulunur. Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 345.568 - \frac{15.063}{0.2775} = 291.287 \text{ kN/m}$$

$\alpha=0.1$ kabulüyle,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{10K_2 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{15.063}{9 \times 291.287} = 0.00575 \text{ m}$$

hesaplanır. Birinci iterasyon sonucu bulunan D_y değeri kullanılarak Denklem (3.13)'ten Q tekrar hesaplanırsa,

$$Q = \frac{16.720}{4 \times (0.2775 - 0.00575)} = 15.382 \text{ kN}$$

ve Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 345.568 - \frac{15.382}{0.2775} = 290.137 \text{ kN/m}$$

olur. $\alpha=0.1$ kabulü ile D_y hesaplanır,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{9K_2} = \frac{15.382}{9 \times 290.137} = 0.00589 \text{ m}$$

ikinci iterasyondan bulunan $D_y = 0.00589 \text{ m}$ değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den

Q tekrar hesaplanır:

$$Q = \frac{16.720}{4(0.2775 - 0.00589)} = 15.390 \text{ kN}$$

olur. Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 345.568 - \frac{15.390}{0.2775} = 290.109 \text{ kN/m}$$

Bulunur ve D_y tekrar hesaplanır:

$$D_y = \frac{Q}{9K_2} = \frac{15.390}{9 \times 290.109} = 0.00589 \text{ m}$$

Son bulunan D_y bir önceki D_y ile aynı olduğundan iterasyon yeterlidir.

$$K_1 = 10K_2 \text{ kabulüyle } K_1 = 10 \times 290.109 = 2901.09 \text{ kN/m}$$

Denklem (3.11a)'dan

$$F_y = 15.390 + 290.109 \times 0.00589 = 17.099 \text{ kN}$$

bulunur. A mesneti için, kuvvet-yer değiştirme eğrisi Şekil 4.6'te gösterilmiştir.

Bir sonraki aşamada *B tipi izolatör* için kuvvet-yer değiştirme eğrisi kurulacaktır:

Mesnetin yatay rijitliği 691.136 kN/m ve ve Tablo (4.1)'den sönümü %15'dir. Denklem (3.17a)'dan,

$$W_D = 2\pi \times 691.136 \times 0.2775^2 \times 0.15 = 50.160 \text{ kNm}$$

bulunur ve Denklem (3.13) ve $D_y = 0$ kabulüyle iterasyona başlanırsa;

$$Q = \frac{50.160}{4 \times 0.2775} = 45.190 \text{ kN}$$

Bulunur. Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 691.136 - \frac{45.190}{0.2775} = 528.290 \text{ kN/m}$$

$\alpha=0.1$ kabulüyle,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{10K_2 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{45.190}{9 \times 528.290} = 0.009504 \text{ m}$$

hesaplanır. Birinci iterasyon sonucu bulunan D_y değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den Q tekrar hesaplanırsa,

$$Q = \frac{50.160}{4(0.2775 - 0.009504)} = 46.792 \text{ kN}$$

ve Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 691.136 - \frac{46.792}{0.2775} = 522.516 \text{ kN/m}$$

$\alpha=0.1$ kabulüyle,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{9K_2} = \frac{46.792}{9 \times 522.516} = 0.00995 \text{ m}$$

hesaplanır. Birinci iterasyon sonucu bulunan D_y değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den Q tekrar hesaplanırsa,

$$Q = \frac{50.16}{4(0.2775 - 0.00995)} = 46.870 \text{ kN}$$

olur. Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 691.136 - \frac{46.87}{0.2775} = 522.236 \text{ kN/m}$$

olur. $\alpha=0.1$ kabülü ile D_y hesaplanır,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{9K_2} = \frac{46.87}{9 \times 522.236} = 0.00997 \text{ m}$$

Son bulunan D_y bir önceki D_y 'ye çok yakın olduğundan iterasyon yeterlidir.

$$K_1 = 10K_2 \text{ kabülüyle } K_1 = 10 \times 522.236 = 5222.36 \text{ kN/m}$$

Denklem (3.11a)'dan,

$$F_y = 46.870 + 522.236 \times 0.00997 = 52.077 \text{ kN}$$

bulunur. B mesneti için, kuvvet-yer değiştirme eğrisi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

4.3.1.2 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Uygulaması

İzolasyon sisteminin hedeflenen izolasyon periyodu $T_D = 2$ s ve hedeflenen sönüm oranı $\zeta_D = 0.20$ (Tablo 3.8'den $B_D = 1.5$) için tasarım yer değiştirmesi Denklem (3.26)'dan bulunur,

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 2.0}{4\pi^2 \times 1.5} = 0.2545 \text{ m} = 25.45 \text{ cm}$$

Hedeflenen etkin izolasyon periyoduna ulaşabilmek için gereken izolasyon sisteminin minimum etkin izolasyon rijitliği K_{Dmin} Denklem (3.28)'den elde edilebilir:

$$K_{Dmin} = \frac{4\pi^2}{2.0^2} \times 400 = 3947.842 \text{ kN/m} = 3.948 \text{ MN/m}$$

İzolasyon sisteminde bir çevrimde sönümlenen enerji miktarı, W_D , Denklem (3.17b)'den:

$$W_D = 2\pi \times 3947.842 \times 0.2545^2 \times 0.2 = 321.326 \text{ kNm} = 0.321 \text{ MNm}$$

olur. Denklem (3.13) ve $D_y = 0$ kabulüyle

$$Q = \frac{321.326}{4 \times 0.2545} = 315.644 \text{ kN}$$

bulunur. Denklem (3.12h)'den

$$K_2 = 3947.84 \cdot \frac{315.644}{0.2545} = 2707.589 \text{ kN}$$

ve $\alpha = 0.1$ kabulü ile

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{10K_2 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{315.644}{9 \times 2707.589} = 0.01295 \text{ m}$$

Birinci iterasyon sonucu bulunan D_y değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den Q tekrar hesaplanırsa

$$Q = \frac{321.326}{4(0.2545 - 0.01295)} = 332.567 \text{ kN}$$

olur. Bulunan yeni Q ile Denklem (3.12h)'den

$$K_2 = 3947.84 \cdot \frac{332.567}{0.2545} = 2641.093 \text{ kN}$$

bulunur. $\alpha = 0.1$ kabulü ile

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{332.567}{9 \times 2641.093} = 0.01399 \text{ m}$$

$D_y = 0.01399$ m değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den Q tekrar hesaplanırsa

$$Q = \frac{321.326}{4(0.2545 - 0.01399)} = 334.005 \text{ kN}$$

olur. Bulunan yeni Q ile Denklem (3.12h)'den:

$$K_2 = 3947.84 \cdot \frac{334.005}{0.2545} = 2635.443 \text{ kN}$$

bulunur ve D_y tekrar hesaplanırsa,

$$D_y = \frac{334.005}{9 \times 2635.443} = 0.01408 \text{ m} = 14.08 \text{ mm}$$

olur. Bulunan D_y , bir önceki iterasyonda bulunan D_y ile çok yakındır. Yapılan iterasyon yeterlidir.

Kurşun çekirdekli kauçuk mesnette karakteristik kuvvet, Q , kurşun çekirdek tarafından karşılanır. Kurşunun akma dayanımı 10 MPa'dır. Bu Q değerini karşılayacak olan kurşun alanı hesaplanırsa, A_k izolasyon sisteminde kullanılan kurşun çekirdeklerin toplam kesit alanı olmak üzere

$$Q = f_{yk} \times A_k \text{ ve } A_k = \frac{0.334}{10} = 0.0334 \text{ m}^2 \text{ olur. A tipi mesnet için kurşun çekirdeğin çapı}$$

$\Phi_k = 56$ mm ve B tipi mesnet için kurşun çekirdeğin çapı $\Phi_k = 78$ mm olarak alınmıştır.

$$A_k = 10 \times \frac{\pi \times 0.056^2}{4} + 2 \times \frac{\pi \times 0.078^2}{4} = 0.034187 > 0.0334$$

Kullanılan kurşun çekirdeklerin toplam kesit alanı için karakteristik kuvvet, Q , hesaplanırsa:

$$Q = f_{yk} \times A_k = 10 \times 0.034187 = 0.34187 \text{ MN} = 341.87 \text{ kN}$$

Hesaplanan Q değeriyle Denklem (3.12h)'den:

$$K_2 = 3947.84 \cdot \frac{341.87}{0.2545} = 2604.539 \text{ kN}$$

Toplam rijitlik $K_2 = 2604.539$ olduğundan ve toplam 12 adet mesnet bulunduğundan, bir mesnetin akma sonrası ortalama yatay rijitliği,

$$\frac{2604.539}{12} = 217.048 \text{ kN/m}$$

olur. Kurşun saplamalı mesnetlerde sadece A tipi mesnette kullanılan kauçuğun kullanıldığı kabul edilirse Tablo 4.3'ten $G_A = 0.5$ MPa ve maksimum kayma yer

değiştirmesi $\gamma_{\max} = 1.5$ ve tasarım yer değiştirmesi $D_D = 25.45$ cm için kauçuk tabakalarının toplam kalınlığı Denklem (3.2)'den:

$$t_r = \frac{0.2545}{1.5} = 0.17 \text{ m}$$

olur. Kauçuk tabakalarının toplam kalınlığı $t_r = 18$ cm seçilirse, kauçuk mesnetin kesit alanı Denklem (3.1)'den, $0.217 = \frac{0.5 \times A}{0.18} \Rightarrow A = 0.007813 \text{ m}^2$ olur ve mesnetin çapı

$$\Phi = \sqrt{\frac{4 \times 0.007813}{\pi}} = 0.315 \text{ m}$$

olarak bulunur. $\Phi = 0.36$ m seçersek $\Phi \geq 2t_r$ koşulunu sağlar. $\Phi = 0.36$ m için

$$A = 0.36^2 \times \frac{\pi}{4} = 0.10179 \text{ m}^2$$

olur. Denklem (3.1)'den bir adet mesnet için yatay rijitlik

$$K_H = \frac{0.5 \times 0.10179}{0.18} = 0.28275 \text{ MN/m} = 282.75 \text{ kN/m}$$

olarak bulunur. 12 adet izolatör için Denklem (3.12h)'den sistemin toplam etkin rijitliği,

$$K_{\text{ef}} = 12 \times 282.75 + \frac{341.87}{0.2545} = 4736.300 \text{ kN/m} = 4.736 \text{ MN/m}$$

olur. Sistemin etkin izolasyon periyodu Denklem (3.28)'den,

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{400}{4736.3}} = 1.826 \text{ s}$$

bulunur. Denklem (3.13)'den

$$W_D = 4 \times 341.87(0.2545 - 0.01408) = 328.770 \text{ kNm}$$

ve Denklem (3.17a)'dan,

$$\zeta_{\text{ef}} = \frac{328.77}{2\pi \times 4736.3 \times 0.2545^2} = 0.1706$$

bulunur. $\zeta_{\text{ef}} = 0.1706$ için Tablo 3.8'den $B_D = 1.412$ olarak bulunur. Denklem (3.26) ile tasarım deplasmanı tekrar hesaplanırsa:

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 1.826}{4\pi^2 \times 1.412} = 0.2468 \text{ m}$$

Sistemin efektif rijitliğini denklem Denklem (3.12h)'den tekrar hesaplırsak

$$K_{\text{ef}} = 12 \times 282.75 + \frac{341.87}{0.2468} = 4778.211 \text{ kN/m}$$

olur. Bulunan rijitlik değeri için Denklem (3.28)'den yapının etkin periyodu:

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{400}{4778.211}} = 1.818 \text{ s.}$$

Denklem (3.13)'ten

$$W_D = 4 \times 341.87(0.2468 - 0.01408) = 318.240 \text{ kNm}$$

olur ve Denklem (3.17a)'dan,

$$\zeta_{ef} = \frac{328.24}{2\pi \times 4778.21 \times 0.2468^2} = 0.1740 \text{ bulunur.}$$

$\zeta_{ef} = 0.1740$ için Tablo 3.8'den $B_D = 1.422$ olarak bulunur. Denklem (3.26) ile tasarım deplasmanı tekrar hesaplanırsa:

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 1.818}{4\pi^2 \times 1.422} = 0.2440 \text{ m}$$

olur. Bulunan deplasman değeriyle üçüncü iterasyon yapılır.

Sistemin efektif rijitliğini Denklem (3.12h)'den tekrar hesaplarız:

$$K_{ef} = 12 \times 282.75 + \frac{341.87}{0.2440} = 4794.107 \text{ kN/m olur.}$$

Denklem (3.28)'den sistemin periyodu,

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{400}{4794.107}} = 1.815 \text{ s.}$$

olur. Denklem (3.13)'den,

$$W_D = 4 \times 341.87(0.2440 - 0.01408) = 314.410 \text{ kNm}$$

hesaplanır. Denklem (3.17a)'dan,

$$\zeta_{ef} = \frac{314.410}{2\pi \times 4794.107 \times 0.2440^2} = 0.1753$$

bulunur. $\zeta_{ef} = 0.1753$ için Tablo 3.8'den $B_D = 1.426$ olarak hesaplanır. Bulunan B_D değeriyle Denklem (3.26)'den tasarım deplasmanı:

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 1.815}{4\pi^2 \times 1.426} = 0.243 \text{ m}$$

bulunur. Yaklaşım yeterlidir. Sistemin rijitliği Denklem (3.12h)'den,

$$K_{ef} = 3393 + \frac{341.87}{0.243} = 4799.872 \text{ kN/m}$$

olarak hesaplanır ve Denklem (3.28)'den,

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{400}{4799.872}} = 1.814 \text{ s}$$

bulunur. A ve B mesnetlerinin efektif rijitlikleri Denklem (3.12h)'den,

$$K_{ef}^A = 282.75 + \frac{10 \times 0.002463 \times 1000}{0.243} = 384.108 \text{ kN/m}$$

$$K_{ef}^B = 282.75 + \frac{10 \times 0.004779 \times 1000}{0.243} = 479.417 \text{ kN/m}$$

olur.

İzolasyon sisteminin toplam düşey rijitliği K_v iterasyon yöntemiyle hesaplanır. İzolasyon sisteminin yatay frekansı yukarıda bulunan periyot değeri kullanılarak hesaplanırsa:

$$f_H = \frac{1}{T_D} = \frac{1}{1.814} = 0.55127 \text{ Hz}$$

Düşey frekans bulunurken, başlangıç bir frekans değeri kabul edilerek iterasyon yapılmalıdır. Başlangıç değeri olarak $f_v = 12 \text{ Hz}$ seçilerek şekil faktörü S , Denklem (3.9)'dan,

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{12.00}{0.55127} = 8.887$$

bulunur. Hacimsel elastite modülü kauçuk için $K = 2000 \text{ MPa}$ 'dır. Her bir izolatör için küçük yer değiştirmeler altında Tablo 4.3'den $G_A = 0.7 \text{ MPa}$ ve $G_B = 1.4 \text{ MPa}$ alınır. Denklem (3.4b)'den her bir izolatör için kauçuk-çelik birleşiminin basınç modülü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_c^A = \frac{6 \times 0.7 \times 8.887^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 8.887^2 + 2000} = 284.508 \text{ MN/m}^2,$$

$$E_c^B = \frac{6 \times 1.4 \times 8.887^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 8.887^2 + 2000} = 498.151 \text{ MN/m}^2$$

olarak bulunur. A ve B izolatörlerinin düşey rijitlikleri Denklem (3.3)'ten,

$$K_v^A = \frac{284.508 \times 0.10179}{0.18} = 160.890 \text{ MN/m}$$

$$K_v^B = \frac{498.151 \times 0.10179}{0.18} = 281.704 \text{ MN/m}$$

bulunur. 12 adet izolatör için sistemin toplam düşey rijitliği şu şekilde hesaplanır.

$$K_v = 10 \times 160.89 + 2 \times 281.70 = 2172.308 \text{ MN/m}$$

Bulunan düşey rijitlik için sistemin düşey periyodu

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{400}{2172.308 \times 1000}} = 0.08526 \text{ s}$$

bulunurak düşey frekans tekrar hesaplanır:

$$f_v = \frac{1}{0.08526} = 11.73 \text{ Hz}$$

İterasyona başlarken kabul edilen düşey frekans değerine yeterince yakın olduğundan iterasyona devam etmeye gerek yoktur. Bulunan değerlere göre yüksek sönümlü tek bir kauçuk mesnetin kalınlığı Denklem (3.7)'den şu şekilde hesaplanır:

$$S = \frac{0.36}{4 \times t} \Rightarrow t = 0.010127 \text{ m} = 10.127 \text{ mm}$$

ve buna karşılık gelen kauçuk tabakası adedi

$$n = \frac{tr}{t} = \frac{180}{10.127} = 17.77 \Rightarrow n = 18 \text{ adet seçilmiştir.}$$

Buradan, tek bir kauçuk tabakası kalınlığı $t = \frac{180}{18} = 10.00 \text{ mm}$ olarak hesaplanır. $n = 18$

adet kauçuk katmanı için $\Rightarrow (n-1) = 17$ adet 2mm kalınlığında çelik levha kullanılacaktır. Çelik levhaların toplam kalınlığı $(n-1) \times 2 \text{ mm} = 17 \times 2 = 34 \text{ mm}$ olur. Alt ve üst çelik bağlantı plakalarının her biri 25 mm kalınlığında alınırsa, izolatörün toplam yüksekliği $h = 2 \times 25 + 34 + 180 = 264 \text{ mm}$ olarak elde edilir. Son boyutlar (Şekil 4.5b) ile mekanik özellikler tekrar hesap edilir. Denklem (3.7)'den:

$$S = \frac{0.36}{4 \times 0.010} = 9$$

olur. Denklem (3.4b)'den

$$E_c^A = \frac{6 \times 0.7 \times 9^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 9^2 + 2000} = 290.744 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c^B = \frac{6 \times 1.4 \times 9^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 9^2 + 2000} = 507.685 \text{ MN/m}^2$$

olur. Denklem (3.3)'den

$$K_v^A = \frac{494.118 \times 0.15205}{0.22} = 341.503 \text{ MN/m}$$

$$K_v^B = \frac{792.453 \times 0.15205}{0.22} = 547.693 \text{ MN/m}$$

olarak bulunur ve izolasyon sisteminin toplam düşey rijitliği

$$K_v = 10K_v^A + 2K_v^B = 10 \times 164.416 + 2 \times 287.096 = 2218.35 \text{ MN/m}$$

olarak bulunur. Bulunan düşey rijitlik değeri için sistemin düşey periyodu:

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{400}{2218.35 \times 1000}} = 0.08437 \text{ s}$$

olarak bulunur. İzolasyon sisteminin yatay frekansı ise:

$$f_v = \frac{1}{T_v} = \frac{1}{0.08437} = 11.85 \text{ Hz}$$

olarak elde edilir.

$R = 0.18 \text{ m}$ yarıçaplı dairesel A ve B izolatörleri için eğilme rijitlikleri için Denklem (3.10) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$(EI)_{ef}^A = 2 \times 500 \times 9^2 \times \frac{\pi \times 0.18^4}{4} = 66.783 \text{ kNm}^2$$

$$(EI)_{ef}^B = \frac{\pi}{2} \times 1000 \times 9^2 \times 0.18^4 = 133.566 \text{ kNm}^2$$

Son olarak, her bir izolatör tipi için kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin kurulması gerekmektedir. Bu eğrilerin kurulabilmesi için gerekli tüm değerler yukarıda hesaplanmıştır.

Öncelikle *A tipi izolatör* için özetlemek gerekirse:

İzolatörün akma sonrası rijitliği $K_2 = 282.75 \text{ kN/m}$ ve $\alpha=0.1$ kabulü ile akma öncesi rijitliği $K_1=10K_2 \Rightarrow K_2=10 \times 282.75=2827.5 \text{ kN/m}$ olarak bulunur.

A tipi bir izolatörün kurşun kesit alanı $\frac{\pi \times 0.056^2}{4} = 0.002463 \text{ m}^2$ olduğundan kurşunun

10 MPa akma dayanımı için izolatöre ait karakteristik kuvvet $Q = 10000 \times 0.002463 = 24.63 \text{ kN}$ olarak hesaplanır. İzolatörün etkin rijitliği ise $K_{ef}^A = 384.108 \text{ kN/m}$ 'dir.

Hesaplanan karakteristik kuvvet ve akma öncesi rijitlik kullanılarak akma yer değiştirmesi:

$$D_y = \frac{24.63}{9 \times 282.75} = 0.009679 \text{ m} = 9.679 \text{ mm}$$

olarak bulunur. Denklem (3.11a)'dan akma dayanımı:

$$F_y = 24.63 + 282.75 \times 0.009679 = 27.367 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır. A mesnetine ait kuvvet-yer değiştirme eğrisi şekil 4.8’de gösterilmiştir.

B tipi izolatör için:

İzolatörün akma sonrası rijitliği $K_2 = 282.75 \text{ kN/m}$ ve $\alpha=0.1$ kabulü ile akma öncesi rijitliği $K_1=10K_2 \Rightarrow K_2=10 \times 282.75=2827.5 \text{ kN/m}$ olarak bulunur.

B tipi bir izolatörün kurşun kesit alanı $\frac{\pi \times 0.078^2}{4} = 0.004779 \text{ m}^2$ olduğundan kurşunun 10 MPa akma dayanımı için bir izolatöre ait karakteristik kuvvet $Q = 10000 \times 0.004779 = 47.79 \text{ kN}$ olarak hesaplanır. İzolatörün etkin rijitliği ise $K_{ef}^B = 479.417 \text{ kN/m}$ ’dir.

Hesaplanan karakteristik kuvvet ve akma öncesi rijitlik kullanılarak akma yer değiştirmesi:

$$D_y = \frac{47.79}{9 \times 282.75} = 0.01878 \text{ m} = 18.78 \text{ mm}$$

olarak bulunur. Denklem (3.11a)’dan akma dayanımı

$$F_y = 47.79 + 282.75 \times 0.01878 = 53.10 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır. B mesnetine ait kuvvet-yer değiştirme eğrisi şekil 4.9’da gösterilmiştir.

4.3.2 Beş Katlı Yapı

Beş katlı yapıda, izolasyon katı ile birlikte toplam altı adet kat vardır. Yapının toplam kütlesi $M = 6 \times 100 = 600 \text{ ton}$ ve toplam ağırlığı $W = 600 \times 9.81 = 5886 \text{ kN}$ ’dur.

4.3.1.1 Yüksek Sönümlü Kaucuk Mesnet Uygulaması

İzolasyon sisteminin hedeflenen izolasyon periyodu $T_D = 2 \text{ s}$ ve hedeflenen sönüm oranı $\zeta_D = 0.10$ (Tablo 3.8’den $B_D = 1.2$) için tasarım yer değiştirmesi Denklem (3.26)’dan bulunur,

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 2.0}{4\pi^2 \times 1.2} = 0.3181 \text{ m} = 31.81 \text{ cm}$$

Hedeflenen etkin izolasyon periyoduna ulaşabilmek için gereken izolasyon sisteminin minimum etkin izolasyon rijitliği K_{Dmin} Denklem (3.28)'den elde edilebilir:

$$K_{Dmin} = \frac{4\pi^2}{2.0^2} \times 600 = 5921.763 \text{ kN/m} = 5.922 \text{ MN/m}$$

İzolasyon sisteminin toplam rijitliği her bir izolatörün K_H yatay rijitliğinin toplamıdır. Dolayısıyla, tasarlanan izolasyon sisteminde 10 adet A ve 2 adet B izolatörü bu minimum rijitliği verecek şekilde boyutlandırılacaktır.

Maksimum kayma yer değiştirmeleri $\gamma_{max} = 1.5$ ve tasarım yer değiştirmesi $D_D = 31.81$ cm için kauçuk tabakalarının toplam kalınlığı Denklem (3.2)'den:

$$t_r = \frac{31.81}{1.5} = 21.21 \text{ cm} \text{ olarak bulunur ve } t_r = 22 \text{ cm} \text{ olarak seçilir. Her bir izolatör için}$$

yatay rijitlik Tablo 4.3'den $G_A = 0.5 \text{ MPa}$, $G_B = 1.0 \text{ MPa}$ alınarak ve Denklem (3.1) kullanılarak edilebilir. Dolayısıyla toplam yatay rijitlik için

$$10 \times \frac{G_A A}{t_r} + 2 \times \frac{G_B A}{t_r} = \frac{10 \times 0.5 \times A}{0.22} + \frac{2 \times 1.0 \times A}{0.22} = 5.922 \text{ MN/m}$$

yazılabilir ve buradan her bir izolatör için kesit alanı $A = 0.18612 \text{ m}^2$ olarak bulunur.

$$A = 0.18612 \text{ m}^2 \text{ için izolatör çapı } \Phi = \sqrt{\frac{4 \times 0.18612}{\pi}} = 0.4868 \text{ m.}$$

$\Phi = 50 \text{ cm}$ seçilir ve buradan $A = 0.19635 \text{ m}^2$ olur. Burkulma riskini önlemek için gereken kauçuk tabakalarının toplam yüksekliği izolatörün çapının yarısından az olması şartının sağlandığı görülmektedir.

A ve B tipi mesnetler için yatay rijitlik Denklem (3.1)'den,

$$K_H^A = \frac{0.5 \times 0.19635}{0.22} = 0.44625 \text{ MN/m} = 446.250 \text{ kN/m,}$$

$$K_H^B = \frac{1.0 \times 0.19635}{0.22} = 0.8925 \text{ MN/m} = 892.500 \text{ kN/m}$$

bulunur. Dolayısıyla izolasyon sisteminin toplam etkin yatay rijitliği K_{ef}

$$K_{ef} = 10 \times K_H^A + 2 \times K_H^B = 10 \times 446.25 + 2 \times 892.5 = 6247.50 \text{ kN/m} = 6.2475 \text{ MN/m} \text{ ve}$$

buna karşılık gelen izolasyon sisteminin etkin periyodu Denklem (3.28)'den:

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{600}{6247.5}} = 1.947 \text{ s}$$

olarak bulunur. İzolasyon sisteminde bir çevrimde sönümlenen enerji miktarı, W_D , her bir izolatörde bir çevrimde sönümlenen enerji miktarlarının toplamına eşittir.

Dolayısıyla $W_D = 10 \times W_D^A + 2 \times W_D^B$ yazılabilir. Denklem (3.17b) kullanılarak

$$W_D = 10 \times \zeta_{ef}^A \times 2\pi \times K_H^A \times D_D^2 + 2 \times \zeta_{ef}^B \times 2\pi \times K_H^B \times D_D^2 = \zeta_{ef} \times 2\pi \times K_{ef} \times D_D^2$$

$$\zeta_{ef} = \frac{10 \times 2\pi \times K_H^A \times D_D^2 \times \zeta_{ef}^A + 2 \times 2\pi \times K_H^B \times D_D^2 \times \zeta_{ef}^B}{2\pi \times K_{ef} \times D_D^2} = \frac{10 \times K_H^A \times \zeta_{ef}^A + 2 \times K_H^B \times \zeta_{ef}^B}{K_{ef}}$$

$$\zeta_{ef} = \frac{10 \times 446.25 \times 0.10 + 2 \times 892.136 \times 0.15}{6247.50} = 0.11429$$

bulunur ve Tablo 3.8'den %11.43 etkin sönüm oranı için sönüm azaltma katsayısı $B_D = 1.243$ olarak elde edilir. $\zeta_{ef} = \%11.43$ ve $T_D = 1.947$ s için tasarım yer değiştirmesi Denklem (3.26)'dan tekrar hesaplanır,

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 1.95}{4\pi^2 \times 1.243} = 0.2990 \text{ m} = 29.90 \text{ cm}$$

İzolasyon sisteminin toplam düşey rijitliği K_V iterasyon yöntemiyle hesaplanır. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetin yatay frekansı

$$f_H = \frac{1}{T_D} = \frac{1}{1.95} = 0.51282 \text{ Hz}$$

olarak hesaplanır. Öte yandan titreşimin yatay frekansı (f_H) ve düşey frekansı (f_v) cinsinden şekil faktörü, S , Denklem (3.9) ile verilmektedir. İterasyona başlamak için düşey frekansı ilk kabul olarak 16.80 Hz seçersek

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{15.57}{0.51282} = 12.395$$

olur. Hacimsel elastite modülü kauçuk için $K = 2000 \text{ MPa}$ 'dır. Her bir izolatör için küçük yer değiştirmeler altında Tablo 4.3'den $G_A = 0.7 \text{ MPa}$ ve $G_B = 1.4 \text{ MPa}$ alınır. Denklem (3.4b)'den her bir izolatör için kauçuk-çelik birleşiminin basınç modülü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_c^A = \frac{6 \times 0.7 \times 12.395^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 12.395^2 + 2000} = 487.868 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c^B = \frac{6 \times 1.4 \times 12.395^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 12.395^2 + 2000} = 784.395 \text{ MN/m}^2$$

A ve B izolatörlerinin düşey rijitlikleri Denklem (3.3) ile hesaplanır,

$$K_v^A = \frac{487 \times 0.19635}{0.22} = 435.422 \text{ MN/m}$$

$$K_v^B = \frac{784.40 \times 0.19635}{0.22} = 700.073 \text{ MN/m}$$

bulunur. Sistemin toplam düşey rijitliği ise:

$$K_v = 10 \times 435.422 + 2 \times 700.073 = 5754.366 \text{ MN/m}$$

olarak bulunur. Bulunan rijitlik için sistemin düşey periyodu

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{600}{5754.366 \times 1000}} = 0.0642 \text{ s}$$

olarak bulunur ve buna karşılık gelen düşey frekans hesaplanırsa,

$$f_v = \frac{1}{T_v} = \frac{1}{0.0642} = 15.60 \text{ Hz}$$

olur. İterasyona başlarken kabul edilen düşey frekans değerine yeterince yakın olduğundan iterasyona devam etmeye gerek yoktur. Bulunan değerlere göre yüksek sönümlü tek bir kauçuk mesnetin kalınlığı Denklem (3.7)'den şu şekilde hesaplanır:

$$12.395 = \frac{0.50}{4t} = 0.010085 \text{ m} = 10.085 \text{ mm}$$

ve buna karşılık gelen kauçuk tabakası adedi

$$n = \frac{tr}{t} = \frac{220}{10.085} = 21.81 \Rightarrow n = 22 \text{ adet seçilmiştir.}$$

Buradan, tek bir kauçuk tabakası kalınlığı $t = \frac{220}{22} = 10.0 \text{ mm}$ olarak hesaplanır. $n = 22$

adet kauçuk katmanı için $(n-1) = 21$ adet 2 mm kalınlığında çelik levha kullanılacaktır. Çelik levhaların toplam kalınlığı $(n-1) \times 2 \text{ mm} = 21 \times 2 = 42 \text{ mm}$ olur. Alt ve üst çelik bağlantı plakalarının her biri 25 mm kalınlığında alınır, izolatörün toplam yüksekliği $h = 2 \times 25 + 42 + 220 = 312 \text{ mm}$ olarak elde edilir. Son boyutlar ile mekanik özellikler tekrar hesap edilir (Şekil 4.5a). Denklem (3.7)'den:

$$S = \frac{0.5}{4 \times 0.010} = 12.5$$

olur. Bulunan şekil faktörü için A ve B mesnetlerine ait basınç modülleri tekrar hesaplanırsa:

$$E_c^A = \frac{6 \times 0.7 \times 12.5^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 12.5^2 + 2000} = 494.118 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c^B = \frac{6 \times 1.4 \times 12.5^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 12.5^2 + 2000} = 792.453 \text{ MN/m}^2$$

elde edilir. Denklem (3.3)'den A ve B mesnetlerinin düşey rijitlikleri:

$$K_v^A = \frac{494.118 \times 0.19635}{0.22} = 441.000 \text{ MN/m}$$

$$K_v^B = \frac{792.453 \times 0.19635}{0.22} = 707.264 \text{ MN/m}$$

bulunur. İzolasyon sisteminin toplam rijitliği şu şekilde hesaplanır:

$$K_v = 10K_v^A + 2K_v^B = 10 \times 441.00 + 2 \times 707.264 = 5824.528 \text{ MN/m}$$

Bulunan rijitlik değerine göre sistemin düşey periyodu

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{600}{5824.528 \times 1000}} = 0.06377 \text{ s}$$

olur ve düşey frekans da

$$f_v = \frac{1}{T_v} = \frac{1}{0.06377} = 15.681 \text{ Hz}$$

olarak elde edilir.

$R = 0.25$ m yarıçaplı dairesel A ve B izolatörleri için eğilme rijitlikleri için Denklem (3.10) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$(EI)_{ef}^A = 2 \times 500 \times 12.5^2 \times \frac{\pi \times 0.25^4}{4} = 479.369 \text{ kNm}^2$$

$$(EI)_{ef}^B = \frac{\pi}{2} \times 1000 \times 12.5^2 \times 0.25^4 = 958.738 \text{ kNm}^2$$

Son olarak, her bir izolatör tipi için kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin kurulması gerekmektedir.

Öncelikle *A tipi izolatör* için bu eğri kurulacaktır:

Mesnetin yatay rijitliği 446.25 kN/m ve Tablo (4.1)'den sönümü %10 dur. Denklem (3.17a)'dan,

$$W_D = 2\pi \times 446.25 \times 0.2990^2 \times 0.10 = 25.067 \text{ kNm}$$

Bulunur. Denklem (3.13) ve $D_y = 0$ ilk kabulü ile iterasyona başlanırsa;

$$Q = \frac{25.067}{4 \times 0.2990} = 20.959 \text{ kN}$$

bulunur. Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 446.25 - \frac{20.959}{0.2990} = 376.153 \text{ kN/m}$$

$\alpha=0.1$ kabulüyle,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{10K_2 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{20.959}{9 \times 376.153} = 0.0062 \text{ m}$$

hesaplanır. Birinci iterasyon sonucu bulunan D_y değeri kullanılarak Denklem (3.13)'ten Q tekrar hesaplanırsa,

$$Q = \frac{25.067}{4 \times (0.2990 - 0.0062)} = 21.402 \text{ kN}$$

ve Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 446.25 - \frac{21.402}{0.2990} = 374.670 \text{ kN/m}$$

olur. $\alpha=0.1$ kabulü ile D_y hesaplanır,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{9K_2} = \frac{21.402}{9 \times 374.67} = 0.00635 \text{ m}$$

ikinci iterasyondan bulunan $D_y = 0.00635 \text{ m}$ değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den Q tekrar hesaplanır:

$$Q = \frac{25.067}{4(0.2990 - 0.00635)} = 21.414 \text{ kN}$$

olur. Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 446.25 - \frac{21.414}{0.2990} = 374.631 \text{ kN/m}$$

Bulunur ve D_y tekrar hesaplanır:

$$D_y = \frac{Q}{9K_2} = \frac{21.414}{9 \times 374.631} = 0.00635 \text{ m}$$

Son bulunan D_y bir önceki D_y ile aynı olduğundan iterasyon yeterlidir.

$$K_1 = 10K_2 \text{ kabulüyle } K_1 = 10 \times 374.631 = 3746.31 \text{ kN/m}$$

Denklem (3.11a)'dan

$$F_y = 21.414 + 374.631 \times 0.00635 = 23.793 \text{ kN}$$

bulunur. A mesneti için, kuvvet-yer değiştirme eğrisi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Bir sonraki aşamada *B tipi izolatör* için kuvvet-yer değiştirme eğrisi kurulacaktır:

Mesnetin yatay rijitliği 892.500 kN/m ve ve Tablo (4.1)'den sönümü %15'dir. Denklem (3.17a)'dan,

$$W_D = 2\pi \times 892.5 \times 0.2990^2 \times 0.15 = 75.201 \text{ kNm}$$

bulunur ve Denklem (3.13) ve $D_y = 0$ kabulüyle iterasyona başlanırsa;

$$Q = \frac{75.201}{4 \times 0.2990} = 62.877 \text{ kN}$$

Bulunur. Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 892.500 - \frac{62.877}{0.2990} = 682.210 \text{ kN/m}$$

$\alpha=0.1$ kabulüyle,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{10K_2 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{62.877}{9 \times 682.210} = 0.01024 \text{ m}$$

hesaplanır. Birinci iterasyon sonucu bulunan D_y değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den Q tekrar hesaplanırsa,

$$Q = \frac{75.201}{4(0.2990 - 0.01025)} = 65.107 \text{ kN}$$

ve Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 892.500 - \frac{65.107}{0.2990} = 674.750 \text{ kN/m}$$

$\alpha=0.1$ kabulüyle,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{9K_2} = \frac{65.107}{9 \times 674.750} = 0.01073 \text{ m}$$

hesaplanır. Birinci iterasyon sonucu bulunan D_y değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den Q tekrar hesaplanırsa,

$$Q = \frac{75.201}{4(0.2990 - 0.01073)} = 65.218 \text{ kN}$$

olur. Denklem (3.12h)'den,

$$K_2 = 892.500 - \frac{65.218}{0.2990} = 674.380 \text{ kN/m}$$

olur. $\alpha=0.1$ kabülü ile D_y hesaplanır,

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{9K_2} = \frac{65.218}{9 \times 674.380} = 0.01075 \text{ m}$$

Son bulunan D_y bir önceki D_y 'ye çok yakın olduğundan iterasyon yeterlidir.

$$K_1 = 10K_2 \text{ kabulüyle } K_1 = 10 \times 674.397 = 6743.80 \text{ kN/m}$$

Denklem (3.11a)'dan,

$$F_y = 65.218 + 674.380 \times 0.01075 = 72.468 \text{ kN}$$

bulunur. B mesneti için, kuvvet-yer değiştirme eğrisi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

4.3.1.2 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Uygulaması

İzolasyon sisteminin hedeflenen izolasyon periyodu $T_D = 2 \text{ s}$ ve hedeflenen sönüm oranı $\zeta_D = 0.20$ (Tablo 3.8'den $B_D = 1.5$) için tasarım yer değiştirmesi Denklem (3.26)'dan bulunur,

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 2.0}{4\pi^2 \times 1.5} = 0.2545 \text{ m} = 25.45 \text{ cm}$$

Hedeflenen etkin izolasyon periyoduna ulaşabilmek için gereken izolasyon sisteminin minimum etkin izolasyon rijitliği K_{Dmin} Denklem (3.28)'den elde edilebilir:

$$K_{Dmin} = \frac{4\pi^2}{2.0^2} \times 600 = 5921.763 \text{ kN/m} = 5.922 \text{ MN/m}$$

İzolasyon sisteminde bir çevrimde sönümlenen enerji miktarı, W_D , Denklem (3.17b)'den:

$$W_D = 2\pi \times 5921.763 \times 0.2545^2 \times 0.2 = 481.988 \text{ kNm} = 0.482 \text{ MNm}$$

olur. Denklem (3.13) ve $D_y = 0$ kabulüyle

$$Q = \frac{481.988}{4 \times 0.2545} = 473.466 \text{ kN}$$

bulunur. Denklem (3.12h)'den

$$K_2 = 5921.763 - \frac{473.466}{0.2545} = 4061.386 \text{ kN}$$

ve $\alpha=0.1$ kabulü ile

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{Q}{K_1 - K_2} = \frac{Q}{10K_2 - K_2} = \frac{Q}{9K_2} = \frac{473.466}{9 \times 4061.386} = 0.01295 \text{ m}$$

Birinci iterasyon sonucu bulunan D_y değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den Q tekrar hesaplanırsa

$$Q = \frac{481.988}{4(0.2545-0.01295)} = 498.849 \text{ kN}$$

olur. Bulunan yeni Q ile Denklem (3.12h)'den

$$K_2 = 5921.763 - \frac{498.849}{0.2545} = 3961.649 \text{ kN}$$

bulunur. $\alpha = 0.1$ kabulü ile

$$K_1 = 10K_2 \Rightarrow D_y = \frac{498.849}{9 \times 3961.649} = 0.01399 \text{ m}$$

$D_y = 0.01399 \text{ m}$ değeri kullanılarak Denklem (3.13)'den Q tekrar hesaplanırsa

$$Q = \frac{481.988}{4(0.2545-0.01399)} = 501.011 \text{ kN}$$

olur. Bulunan yeni Q ile Denklem (3.12h)'den:

$$K_2 = 5921.763 - \frac{501.011}{0.2545} = 3953.154 \text{ kN}$$

bulunur ve D_y tekrar hesaplanırsa,

$$D_y = \frac{501.011}{9 \times 3953.154} = 0.01408 \text{ m} = 14.08 \text{ mm}$$

olur. Bulunan D_y , bir önceki iterasyonda bulunan D_y ile çok yakındır. Yapılan iterasyon yeterlidir.

Kurşun çekirdekli kauçuk mesnette karakteristik kuvvet, Q, kurşun çekirdek tarafından karşılanır. Kurşunun akma dayanımı 10 MPa'dır. Bu Q değerini karşılayacak olan kurşun alanı hesaplanırsa, A_k izolasyon sisteminde kullanılan kurşun çekirdeklerin toplam kesit alanı olmak üzere

$$Q = f_{yk} \times A_k \text{ ve } A_k = \frac{0.50101}{10} = 0.00501 \text{ m}^2 \text{ olur. A tipi mesnet için kurşun çekirdeğin}$$

çapı $\Phi_k = 68 \text{ mm}$ ve B tipi mesnet için kurşun çekirdeğin çapı $\Phi_k = 94 \text{ mm}$ olarak alınmıştır.

$$A_k = 10 \times \frac{\pi \times 0.068^2}{4} + 2 \times \frac{\pi \times 0.094^2}{4} = 0.0502 > 0.05011$$

Kullanılan kurşun çekirdeklerin toplam kesit alanı için karakteristik kuvvet, Q, hesaplanırsa:

$$Q = f_{yk} \times A_k = 10 \times 0.0502 = 0.502 \text{ MN} = 502.00 \text{ kN}$$

Hesaplanan Q değeriyle Denklem (3.12h)'den:

$$K_2 = 5921.763 - \frac{502.00}{0.2545} = 3949.268 \text{ kN}$$

Toplam rijitlik $K_2 = 3949.268$ olduğundan ve toplam 12 adet mesnet bulunduğundan, bir mesnetin akma sonrası ortalama yatay rijitliği,

$$\frac{3949.268}{12} = 329.106 \text{ kN/m}$$

olur. Kurşun saplamalı mesnetlerde sadece A tipi mesnette kullanılan kauçuğun kullanıldığı kabul edilirse Tablo 4.3'ten $G_A = 0.5 \text{ MPa}$ ve maksimum kayma yer değiştirmesi $\gamma_{\max} = 1.5$ ve tasarım yer değiştirmesi $D_D = 25.45 \text{ cm}$ için kauçuk tabakalarının toplam kalınlığı Denklem (3.2)'den:

$$t_r = \frac{0.2545}{1.5} = 0.17 \text{ m}$$

olur. Kauçuk tabakalarının toplam kalınlığı $t_r = 18 \text{ cm}$ seçilirse, kauçuk mesnetin kesit

alanı Denklem (3.1)'den, $0.3291 = \frac{0.5 \times A}{0.18} \Rightarrow A = 0.11848 \text{ m}^2$ olur ve mesnetin çapı

$$\Phi = \sqrt{\frac{4 \times 0.11848}{\pi}} = 0.388 \text{ m}$$

olarak bulunur. $\Phi = 0.40 \text{ m}$ seçersek $\Phi \geq 2t_r$ koşulunu sağlar. $\Phi = 0.40 \text{ m}$ için

$$A = 0.40^2 \times \frac{\pi}{4} = 0.12566 \text{ m}^2$$

olur. Denklem (3.1)'den bir adet mesnet için yatay rijitlik

$$K_H = \frac{0.5 \times 0.12566}{0.18} = 0.34906 \text{ MN/m} = 349.06 \text{ kN/m}$$

olarak bulunur. 12 adet izolatör için Denklem (3.12h)'den sistemin toplam etkin rijitliği,

$$K_{ef} = 12 \times 349.06 + \frac{502.00}{0.2545} = 6161.215 \text{ kN/m} = 6.161 \text{ MN/m}$$

olur. Sistemin etkin izolasyon periyodu Denklem (3.28)'den,

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{600}{6161.215}} = 1.961 \text{ s}$$

bulunur. Denklem (3.13)'den

$$W_D = 4 \times 502.00 \times (0.2545 - 0.01408) = 482.763 \text{ kNm}$$

ve Denklem (3.17a)'dan,

$$\zeta_{ef} = \frac{482.763}{2\pi \times 6161.2 \times 0.2545^2} = 0.1925$$

bulunur. $\zeta_{ef} = 0.1925$ için Tablo 3.8'den $B_D = 1.4775$ olarak bulunur. Denklem (3.26) ile tasarım deplasmanı tekrar hesaplanırsa:

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 1.961}{4\pi^2 \times 1.4775} = 0.2533 \text{ m}$$

Sistemin efektif rijitliğini denklem Denklem (3.12h)'den tekrar hesaplırsak

$$K_{ef} = 12 \times 349.06 + \frac{502.00}{0.2533} = 6170.560 \text{ kN/m}$$

olur. Bulunan rijitlik değeri için Denklem (3.28)'den yapının etkin periyodu:

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{600}{6170.56}} = 1.959 \text{ s}$$

Denklem (3.13)'ten

$$W_D = 4 \times 502.00 \times (0.2533 - 0.01408) = 480.354 \text{ kNm}$$

olur ve Denklem (3.17a)'dan,

$$\zeta_{ef} = \frac{480.354}{2\pi \times 6170.56 \times 0.2533^2} = 0.1931 \text{ bulunur.}$$

$\zeta_{ef} = 0.1931$ için Tablo 3.8'den $B_D = 1.4793$ olarak bulunur. Denklem (3.26) ile tasarım deplasmanı tekrar hesaplanırsa:

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 1.959}{4\pi^2 \times 1.4793} = 0.2527 \text{ m}$$

olur. Bulunan deplasman değeriyle üçüncü iterasyon yapılır.

Sistemin efektif rijitliğini Denklem (3.12h)'den tekrar hesaplarız:

$$K_{ef} = 4188.72 + \frac{502.00}{0.2527} = 6175.067 \text{ kN/m olur.}$$

Denklem (3.28)'den sistemin periyodu,

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{600}{6175.067}} = 1.959 \text{ s}$$

olur. Denklem (3.13)'den,

$$W_D = 4 \times 502.00 \times (0.2527 - 0.01408) = 479.149 \text{ kNm}$$

hesaplanır. Denklem (3.17a)'dan,

$$\zeta_{ef} = \frac{479.149}{2\pi \times 6175.07 \times 0.2527^2} = 0.1934$$

bulunur. $\zeta_{ef} = 0.1934$ için Tablo 3.8'den $B_D = 1.480$ olarak hesaplanır. Bulunan B_D değeriyle Denklem (3.26)'den tasarım deplasmanı:

$$D_D = \frac{9.81 \times 0.768 \times 1.959}{4\pi^2 \times 1.48} = 0.2526 \text{ m}$$

bulunur. Yaklaşım yeterlidir. Sistemin rijitliği Denklem (3.12h)'den,

$$K_{ef} = 4188.72 + \frac{502.00}{0.2526} = 6176.052 \text{ kN/m}$$

olarak hesaplanır ve Denklem (3.28)'den,

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{600}{6176.052}} = 1.958 \text{ s}$$

bulunur. A ve B mesnetlerinin efektif rijitlikleri Denklem (3.12h)'den,

$$K_{ef}^A = 349.06 + \frac{10 \times 0.003632 \times 1000}{0.2526} = 492.845 \text{ kN/m}$$

$$K_{ef}^B = 349.06 + \frac{10 \times 0.00694 \times 1000}{0.2526} = 623.803 \text{ kN/m}$$

olur.

İzolasyon sisteminin toplam düşey rijitliği K_V iterasyon yöntemiyle hesaplanır. İzolasyon sisteminin yatay frekansı yukarıda bulunan periyot değeri kullanılarak hesaplanırsa:

$$f_H = \frac{1}{T_D} = \frac{1}{1.958} = 0.51073 \text{ Hz}$$

Düşey frekans bulunurken, başlangıç bir frekans değeri kabul edilerek iterasyon yapılmalıdır. Başlangıç değeri olarak $f_v = 10 \text{ Hz}$ seçilerek şekil faktörü S , Denklem (3.9)'dan,

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{10.00}{0.51073} = 8.00$$

bulunur. Hacimsel elastite modülü kauçuk için $K = 2000 \text{ MPa}$ 'dır. Her bir izolatör için küçük yer değiştirmeler altında Tablo 4.3'den $G_A = 0.7 \text{ MPa}$ ve $G_B = 1.4 \text{ MPa}$ alınır. Denklem (3.4b)'den her bir izolatör için kauçuk-çelik birleşiminin basınç modülü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_c^A = \frac{6 \times 0.7 \times 8.00^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 8.00^2 + 2000} = 236.61 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c^A = \frac{6 \times 1.4 \times 8.00^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 8.00^2 + 2000} = 423.16 \text{ MN/m}^2$$

olarak bulunur. A ve B izolatörlerinin düşey rijitlikleri Denklem (3.3)'ten,

$$K_v^A = \frac{236.61 \times 0.12566}{0.18} = 165.18 \text{ MN/m}$$

$$K_v^B = \frac{423.16 \times 0.12566}{0.18} = 295.42 \text{ MN/m}$$

bulunur. 12 adet izolatör için sistemin toplam düşey rijitliği şu şekilde hesaplanır.

$$K_v = 10 \times 165.18 + 2 \times 295.42 = 2242.662 \text{ MN/m}$$

Bulunan düşey rijitlik için sistemin düşey periyodu

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{600}{2242.67 \times 1000}} = 0.10277 \text{ s}$$

bulunurak düşey frekans tekrar hesaplanır:

$$f_v = \frac{1}{0.10277} = 9.73 \text{ Hz}$$

İterasyona başlarken kabul edilen düşey frekans değerine yeterince yakın olduğundan iterasyona devam etmeye gerek yoktur. Bulunan değerlere göre yüksek sönümlü tek bir kauçuk mesnetin kalınlığı Denklem (3.7)'den şu şekilde hesaplanır:

$$S = \frac{0.40}{4 \times t} \Rightarrow t = 0.0125 \text{ m} = 12.50 \text{ mm}$$

ve buna karşılık gelen kauçuk tabakası adedi

$$n = \frac{tr}{t} = \frac{180}{12.50} = 14.40 \Rightarrow n = 15 \text{ adet seçilmiştir.}$$

Buradan, tek bir kauçuk tabakası kalınlığı $t = \frac{180}{15} = 12.00 \text{ mm}$ olarak hesaplanır. $n = 15$

adet kauçuk katmanı için $\Rightarrow (n-1) = 14$ adet 2mm kalınlığında çelik levha kullanılacaktır.

Çelik levhaların toplam kalınlığı $(n-1) \times 2 \text{ mm} = 14 \times 2 = 28 \text{ mm}$ olur. Alt ve üst çelik

bağlantı plakalarının her biri 25 mm kalınlığında alınırsa, izolatörün toplam yüksekliği

$h = 2 \times 25 + 28 + 180 = 258 \text{ mm}$ olarak elde edilir. Son boyutlar (Şekil 4.5b) ile mekanik

özellikler tekrar hesap edilir. Denklem (3.7)'den:

$$S = \frac{0.40}{4 \times 0.012} = 8.33$$

olur. Denklem (3.4b)'den

$$E_c^A = \frac{6 \times 0.7 \times 8.33^2 \times 2000}{6 \times 0.7 \times 8.33^2 + 2000} = 254.368 \text{ MN/m}^2$$

$$E_c^B = \frac{6 \times 1.4 \times 8.33^2 \times 2000}{6 \times 1.4 \times 8.33^2 + 2000} = 451.333 \text{ MN/m}^2$$

olur. Denklem (3.3)'den

$$K_v^A = \frac{254.368 \times 0.12566}{0.18} = 177.577 \text{ MN/m}$$

$$K_v^B = \frac{451.333 \times 0.12566}{0.18} = 315.081 \text{ MN/m}$$

olarak bulunur ve izolasyon sisteminin toplam düşey rijitliği

$$K_v = 10K_v^A + 2K_v^B = 10 \times 177.577 + 2 \times 315.081 = 2405.93 \text{ MN/m}$$

olarak bulunur. Bulunan düşey rijitlik değeri için sistemin düşey periyodu:

$$T_v = 2\pi \sqrt{\frac{600}{2405.93 \times 1000}} = 0.0992 \text{ s}$$

olarak bulunur. İzolasyon sisteminin yatay frekansı ise

$$f_v = \frac{1}{T_v} = \frac{1}{0.0992} = 10.00 \text{ Hz}$$

olarak elde edilir.

$R = 0.20 \text{ m}$ yarıçaplı dairesel A ve B izolatörleri için eğilme rijitlikleri için Denklem (3.10) kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$(EI)_{ef}^A = 2 \times 500 \times 8.33^2 \times \frac{\pi \times 0.20^4}{4} = 87.197 \text{ kNm}^2$$

$$(EI)_{ef}^B = \frac{\pi}{2} \times 1000 \times 8.33^2 \times 0.20^4 = 174.393 \text{ kNm}^2$$

Son olarak, her bir izolatör tipi için kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin kurulması gerekmektedir. Bu eğrilerin kurulabilmesi için gerekli tüm değerler yukarıda hesaplanmıştır.

Öncelikle *A tipi izolatör* için özetlemek gerekirse:

İzolatörün akma sonrası rijitliği $K_2 = 349.06 \text{ kN/m}$ ve $\alpha=0.1$ kabulü ile akma öncesi rijitliği $K_1 = 10K_2 \Rightarrow K_2 = 10 \times 349.06 = 3490.5 \text{ kN/m}$ olarak bulunur.

A tipi bir izolatörün kurşun kesit alanı $\frac{\pi \times 0.068^2}{4} = 0.003632 \text{ m}^2$ olduğundan kurşunun

10 MPa akma dayanımı için izolatöre ait karakteristik kuvvet $Q = 10000 \times 0.003632 = 36.32 \text{ kN}$ olarak hesaplanır. İzolatörün etkin rijitliği ise $K_{ef}^A = 492.85 \text{ kN/m}$ 'dir.

Hesaplanan karakteristik kuvvet ve akma öncesi rijitlik kullanılarak akma yer değiştirmesi:

$$D_y = \frac{36.32}{9 \times 349.06} = 0.011561 \text{ m} = 11.56 \text{ mm}$$

olarak bulunur. Denklem (3.11a)'dan akma dayanımı

$$F_y = 36.32 + 349.06 \times 0.011561 = 40.356 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır. A mesnetine ait kuvvet-yer değiştirme eğrisi Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

B tipi izolatör için:

İzolatörün akma sonrası rijitliği $K_2 = 349.06 \text{ kN/m}$ ve $\alpha = 0.1$ kabulü ile akma öncesi rijitliği $K_1 = 10K_2 \Rightarrow K_2 = 10 \times 349.06 = 3490.6 \text{ kN/m}$ olarak bulunur.

B tipi izolatörün kurşun kesit alanı $\frac{\pi \times 0.094^2}{4} = 0.00694 \text{ m}^2$ olduğundan kurşunun 10

MPa akma dayanımı için izolatöre ait karakteristik kuvvet $Q = 10000 \times 0.00694 = 69.40 \text{ kN}$ olarak hesaplanır. İzolatörün etkin rijitliği ise $K_{ef}^B = 623.803 \text{ kN/m}$ 'dir.

Hesaplanan karakteristik kuvvet ve akma öncesi rijitlik kullanılarak akma yer değiştirmesi:

$$D_y = \frac{69.40}{9 \times 349.06} = 0.0221 \text{ m} = 22.10 \text{ mm}$$

olarak bulunur. Denklem (3.11a)'dan akma dayanımı

$$F_y = 69.40 + 349.06 \times 0.0221 = 77.11 \text{ kN}$$

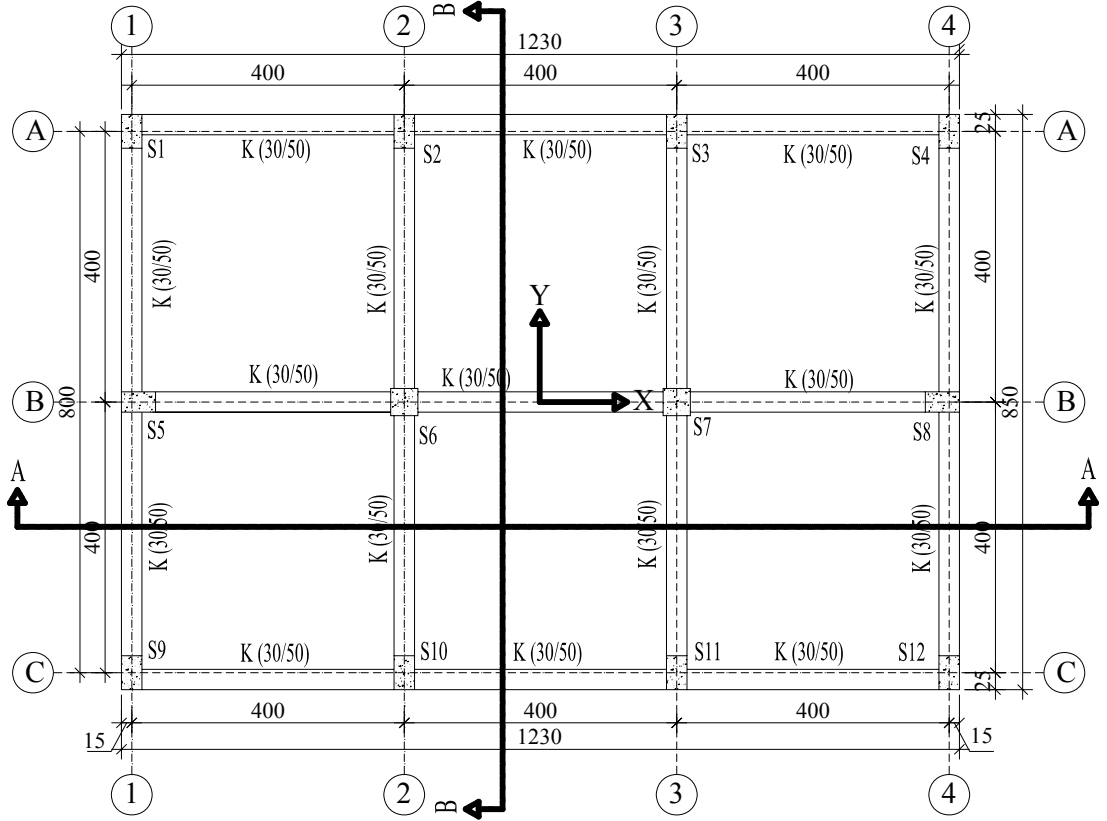
olarak hesaplanır. B mesnetine ait kuvvet-yer değiştirme eğrisi Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

4.4. TARİHİ DEPREM KAYITLARI

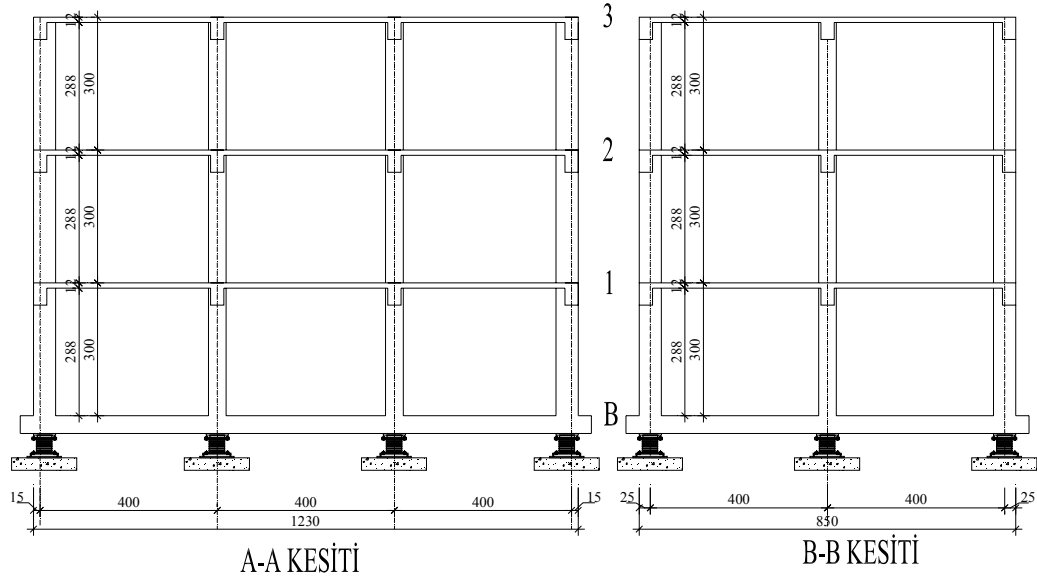
Bu çalışmada 5 değişik deprem kaydı kullanılmıştır. Bu kayıtlardan ilki, 21 Temmuz 1952'de ABD'de bulunan Kern County'de meydana gelen, toplam 54 saniye süren depreme ait Taft Lincoln School Tunnel İstasyon'u kaydıdır. Bu depreme ait Doğu-Batı (D-B) ve Kuzey-Güney (K-G) doğrultularındaki ivme, hız ve ötelenme grafikleri Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de verilmiştir. Analizlerde kullanılan diğer bir deprem kaydı El Centro'nun 117 nolu istasyonundaki, 18 Mayıs 1940'da, ABD'de meydana gelen Imperial Valley Deprem'ine aittir ve süresi yaklaşık toplam 54 saniyedir. Bu depreme ait Doğu-Batı (D-B) ve Kuzey-Güney (K-G) doğrultularındaki ivme, hız ve ötelenme grafikleri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiştir. Üçüncü deprem kaydı, 17 Ocak 1995'de Japonya'nın Kobe şehrinde meydana gelen depreme ait, Kobe JMA istasyonu Deprem kaydıdır. Toplam süresi 60 saniye olan bu depreme ait Doğu-Batı (D-B) ve Kuzey-Güney (K-G) doğrultularındaki ivme, hız ve ötelenme grafikleri Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmiştir. 17 Ekim 1989'da ABD'de bulunan Santa Cruz County'de meydana gelen depreme ait Los Gatos Presentation Center'deki Loma Prieta kaydı bu çalışmada kullanılan dördüncü deprem kaydıdır. Bu deprem yaklaşık 25 saniye sürmüştür ve Doğu-Batı (D-B) ve Kuzey-Güney (K-G) doğrultularındaki ivme, hız ve ötelenme grafikleri Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir. Son olarak, 17 Ocak 1994'de ABD meydana gelen Northridge Depremi'ne ait Sylmar Converter İstasyonu kaydı kullanılmıştır. Bu depreme ait Doğu-Batı (D-B) ve Kuzey-Güney (K-G) doğrultularındaki ivme, hız ve ötelenme grafikleri Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de verilmiştir. Sylmar Depremi ise 60 saniye sürmüştür. Taft, El Centro, Kobe, Loma Prieta ve Sylmar depremlerine ait tepki spektrumları da farklı sönüm oranları için çizilmiştir (Şekil 4.24-Şekil 4.33).

Yukarıda bahsi geçen deprem kayıtlarından Taft ve El Centro depremin merkez üssüne uzak noktalardan alınan kayıtlardır ve *uzak-deprem* olarak adlandırılırlar. Bunlar tipik deprem kayıtları olup, yüksek frekansa sahiptirler. Sismik izolasyonlu yapıların doğal periyotları bu tür depremlerin hakim periyotlarından çok daha büyük olduğundan izolasyon hedefine ulaşır ve sismik izolasyonlu yapılar bu tür depremlere maruz kaldıklarında iyi performans sergilerler. Öte yandan Kobe, Sylmar ve Loma Prieta depremin merkez üssüne yakın noktalardan alınan kayıtlardır ve *yakın-deprem* olarak

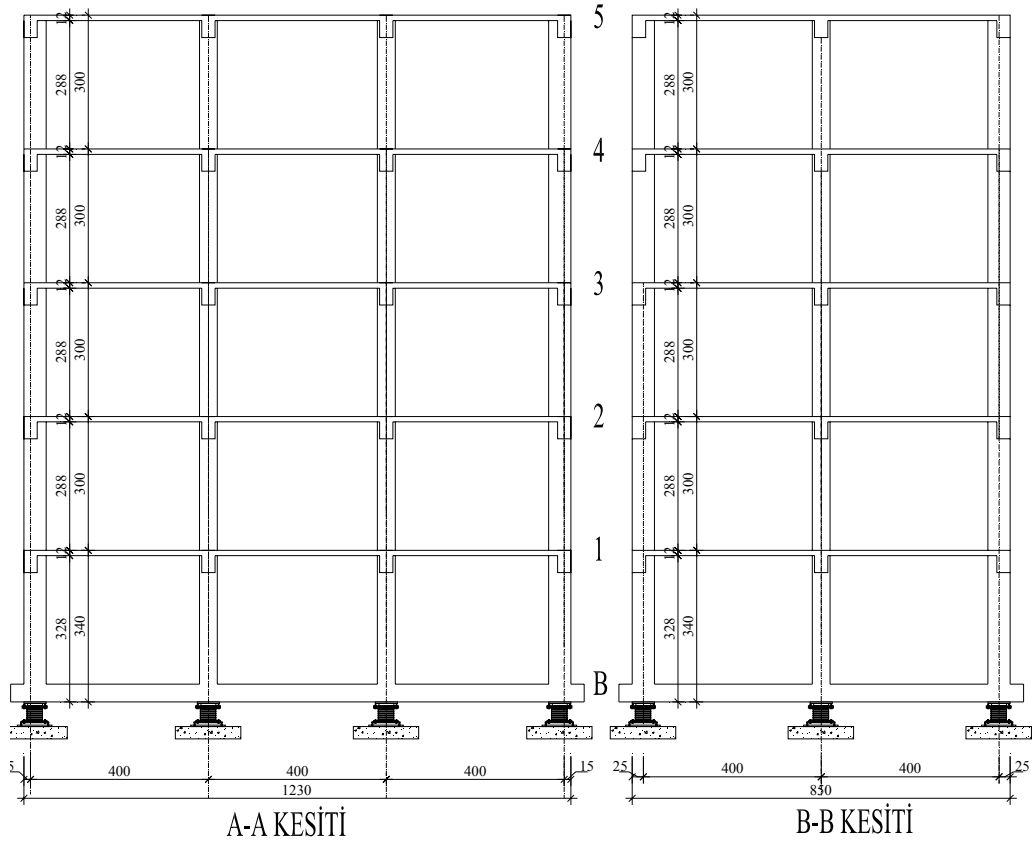
adlandırılırlar. Bunların ortak özelliği, hız kayıtlarında netlikle gözlenen uzun periyotlu ve yüksek genlikli pulslar içermeleridir. Bu pulsların periyotları 2-3 saniye civarında olup, özellikle sismik izolasyonlu binaların doğal periyotlarına çok yakındır ve dolayısıyla bu binalar için tehlike arz etmektedirler. Bu çalışmada kullanılan kayıtlar farklı deprem frekanslarını göz önüne alabilmek için hem yakın hem de uzak depremleri içerecek şekilde seçilmiştir. Depremlerin Doğu-Batı (D-B) ve Kuzey-Güney (K-G) bileşenlerine ait maksimum ötelenme, maksimum hız ve maksimum ivme değerleri Tablo 4.4’de verilmiştir. Bu tablodan da görüleceği üzere, 153 cm/s^2 ’den 826 cm/s^2 ’ye kadar değişen ivme değerleri mevcuttur. Yakın depremler olan Kobe, Loma Prieta, Sylmar depremlerinin D-B bileşenlerine göre daha kuvvetli olan K-G bileşenlerine ait hız pulsları sırasıyla; 91 cm/s , 97 cm/s ve 129 cm/s ’dir.



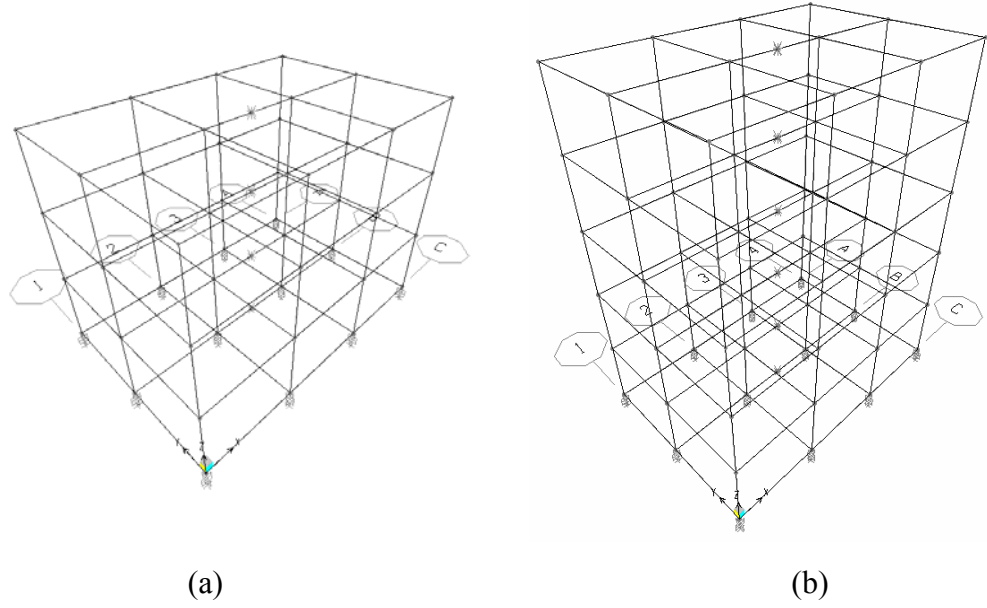
Şekil 4.1: Üç ve beş katlı prototip yapılara ait tipik kat planı (Birimler cm’dir).



Şekil 4.2: Üç katlı prototip yapıya ait A-A ve B-B kesitleri(Birimler cm'dir).

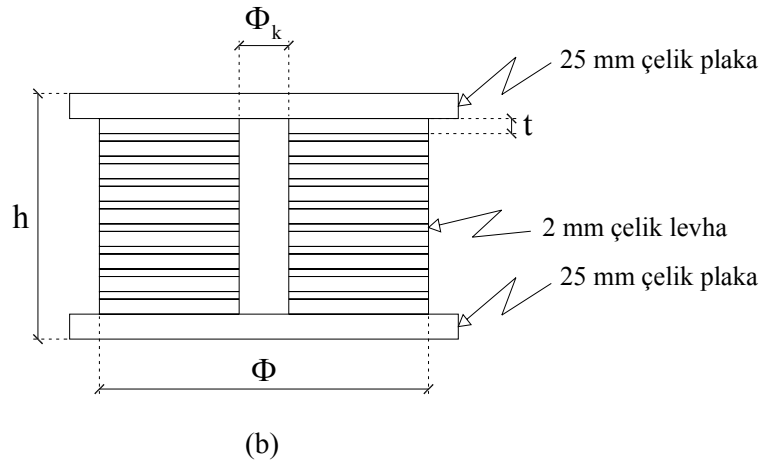
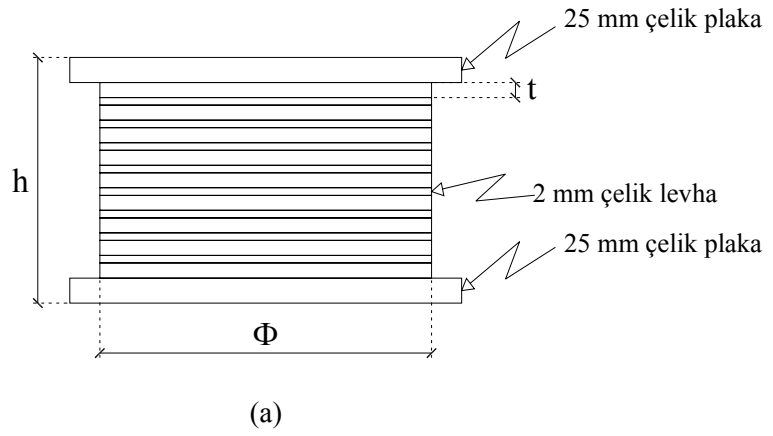


Şekil 4.3: Beş katlı prototip yapıya ait A-A ve B-B kesitleri(Birimler cm'dir).

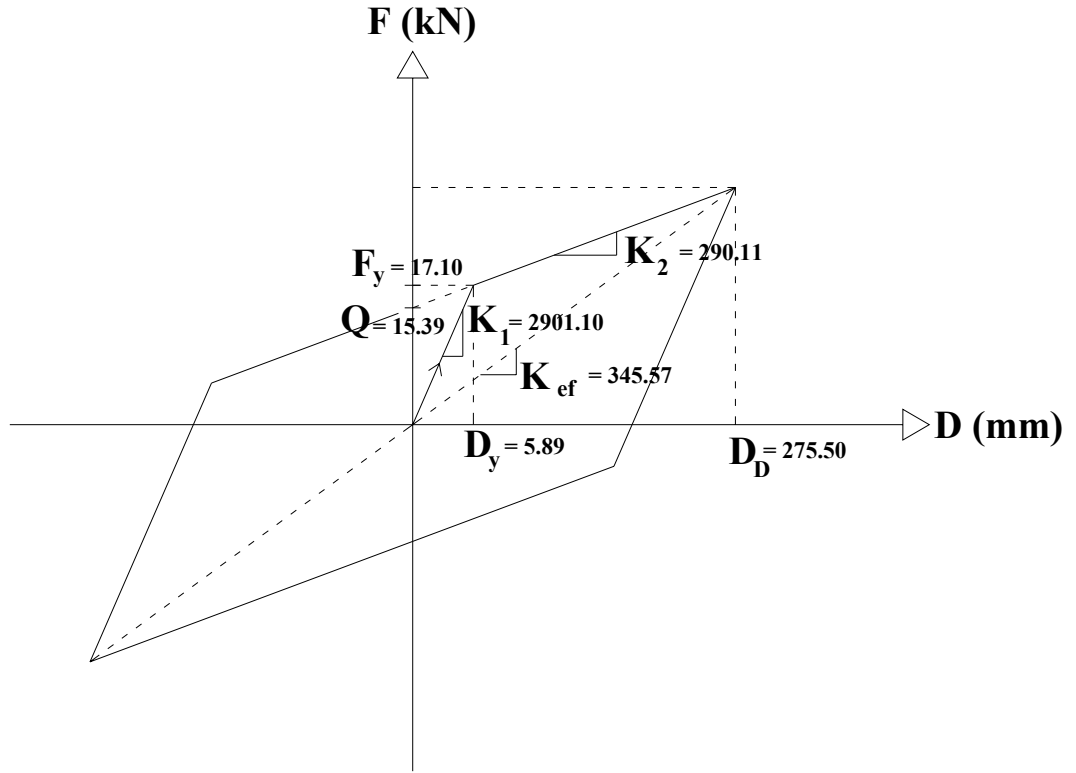


Şekil 4.4: Prototip yapıların SAP2000 programında hazırlanan sonlu elemanlar modelleri:

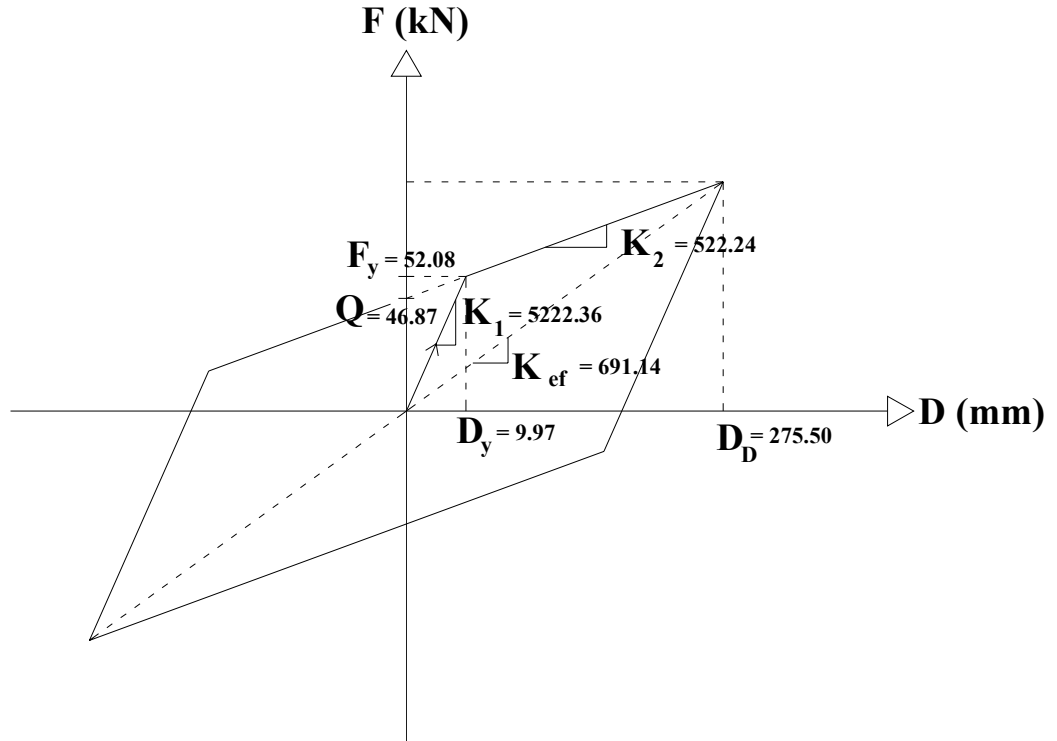
(a) üç katlı yapı, (b) beş katlı yapı.



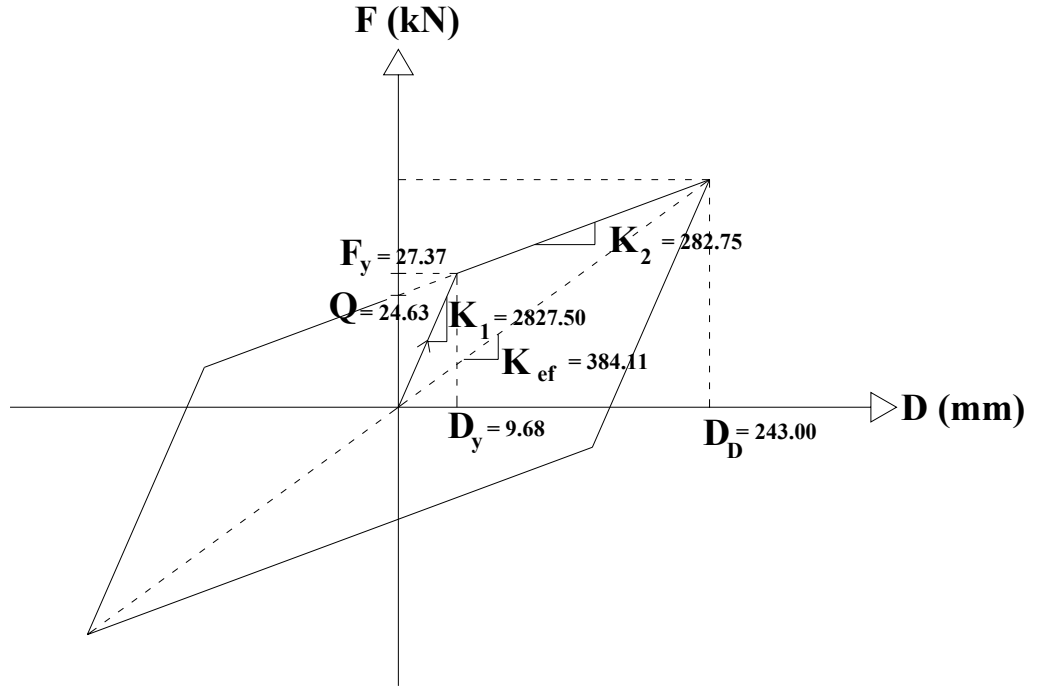
Şekil 4.5 Tipik izolatör kesitleri: (a) yüksek sönümlü kauçuk izolatör, (b) kurşun çekirdekli kauçuk izolatör.



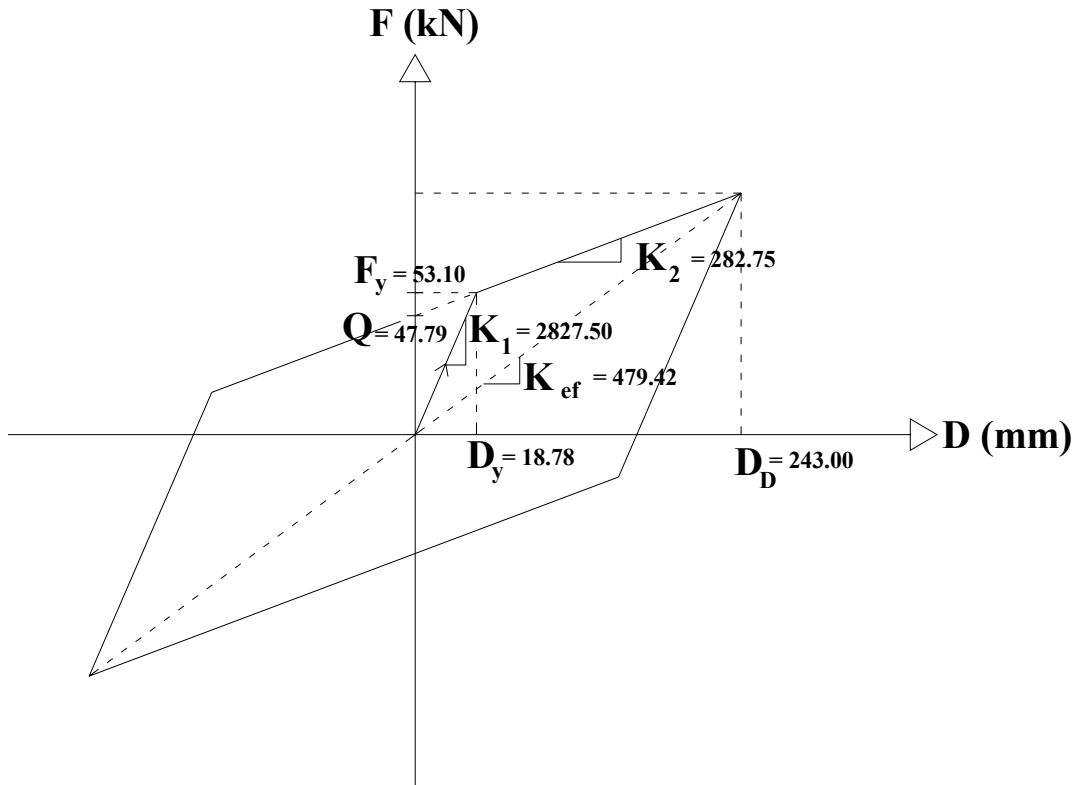
Şekil 4.6 Üç katlı yapıda A tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.



Şekil 4.7 Üç katlı yapıda B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.

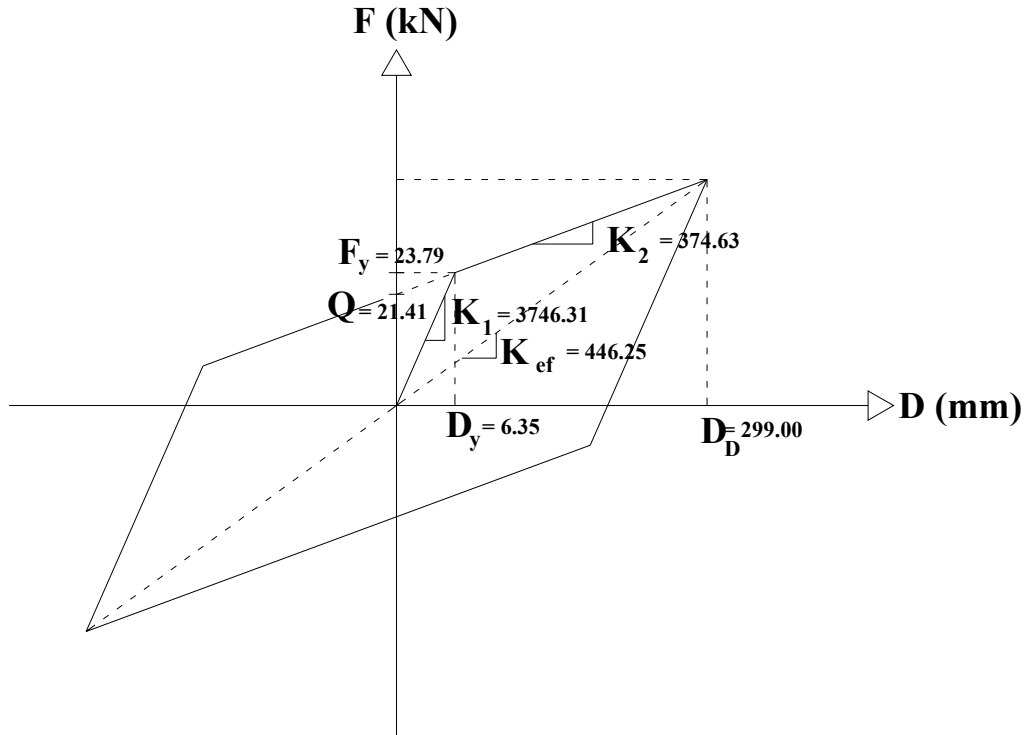


Şekil 4.8 Üç katlı yapıda A tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.

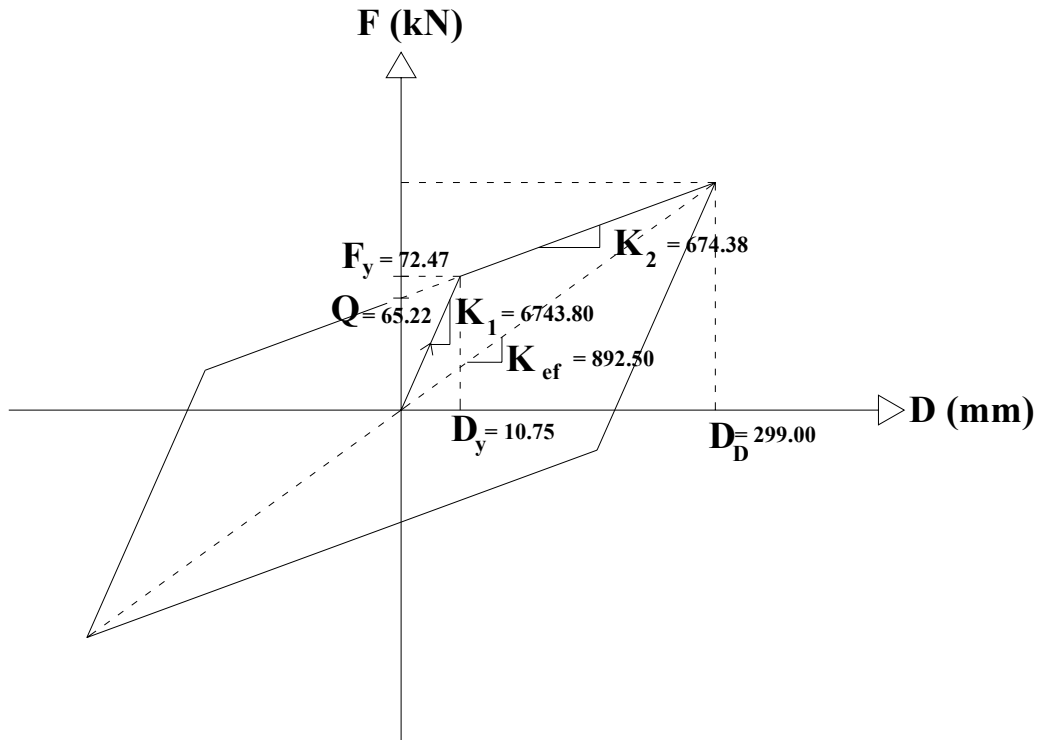


Şekil 4.9 Üç katlı yapıda B tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin

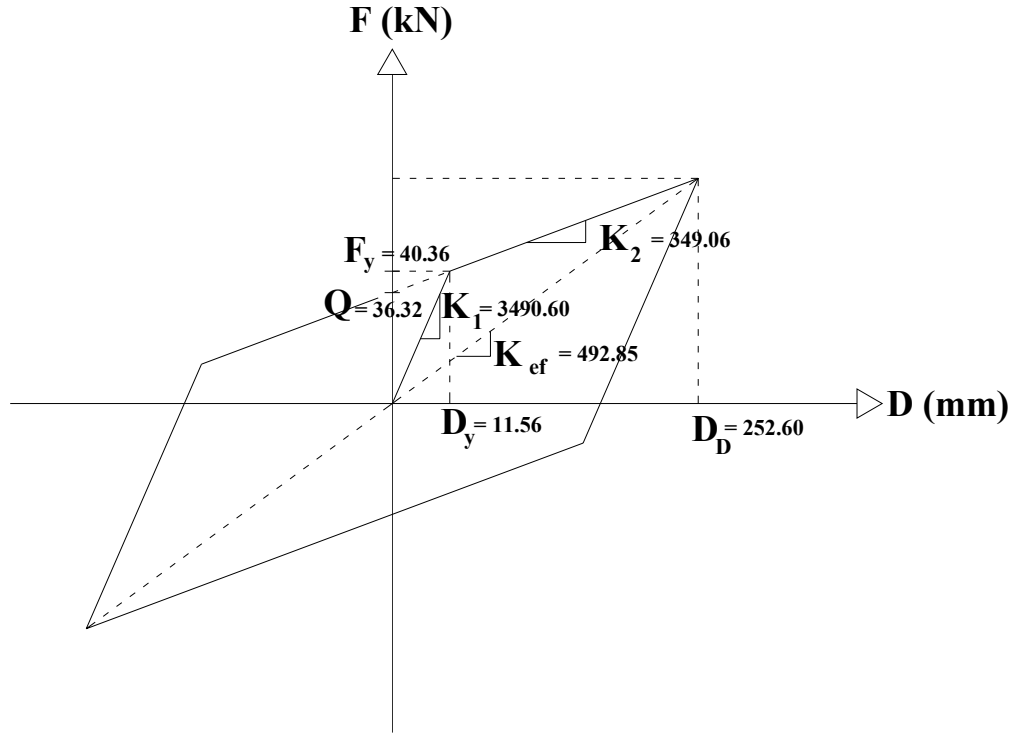
kuvvet-yer değiştirme eğrisi.



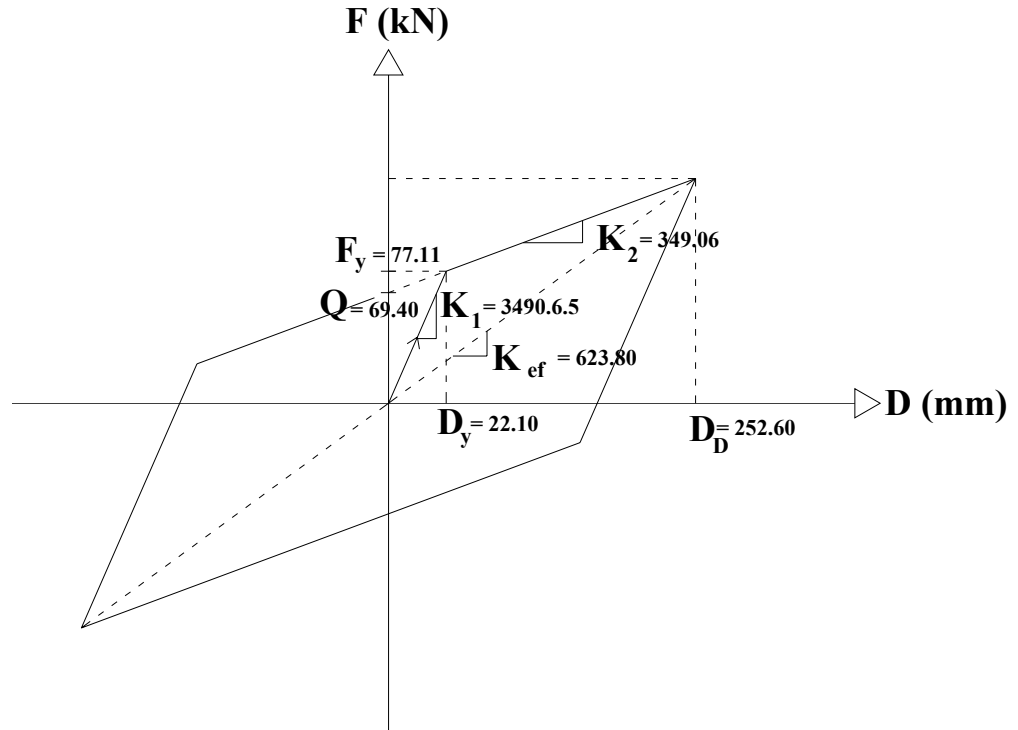
şekil 4.10 Beş katlı yapıda A Tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.



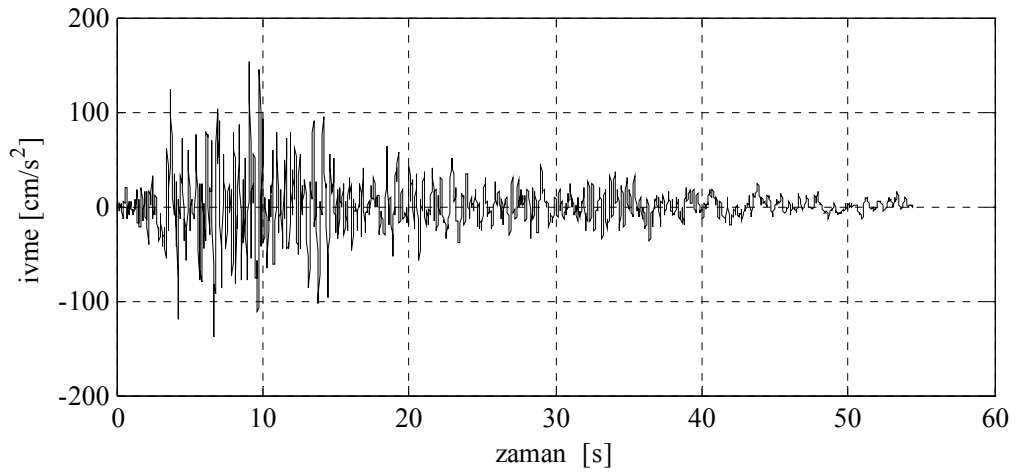
şekil 4.11 Beş katlı yapıda B tipi yüksek sönümlü kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.



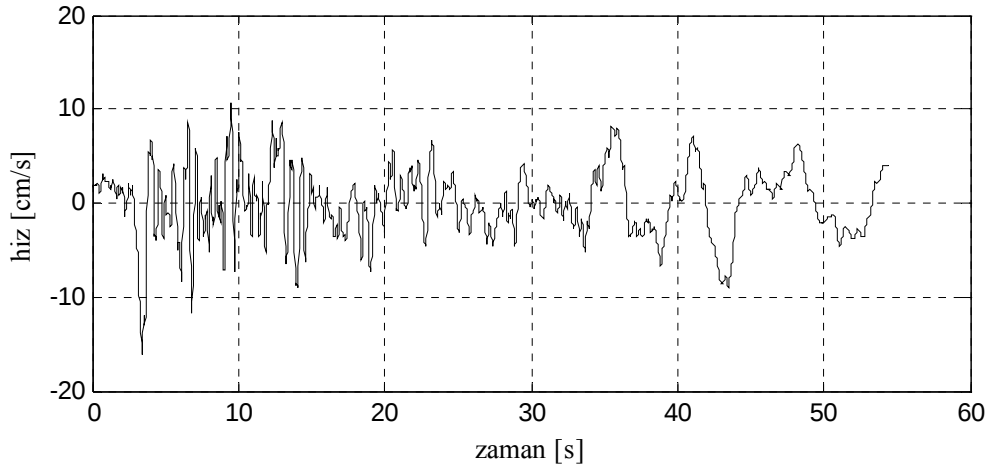
Şekil 4.12 Beş katlı yapıda A tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.



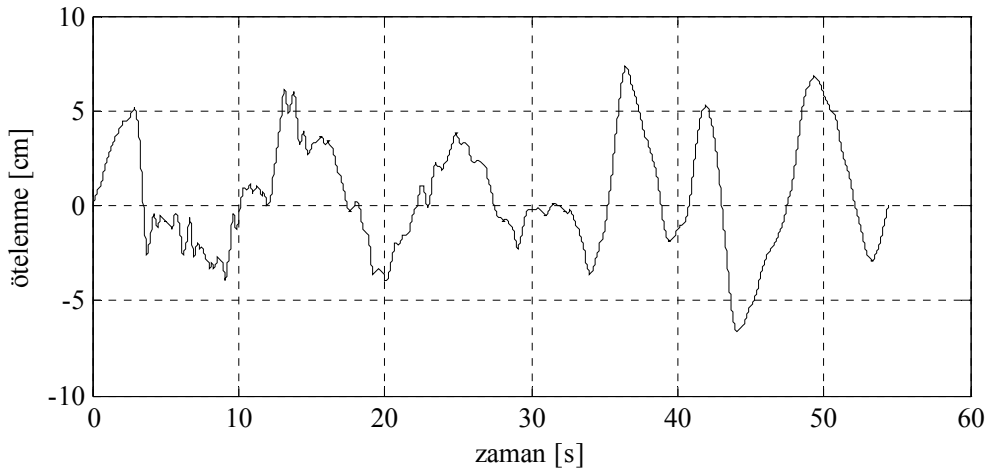
Şekil 4.13 Beş katlı yapıda B tipi kurşun çekirdekli kauçuk mesnetin kuvvet-yer değiştirme eğrisi.



(a)

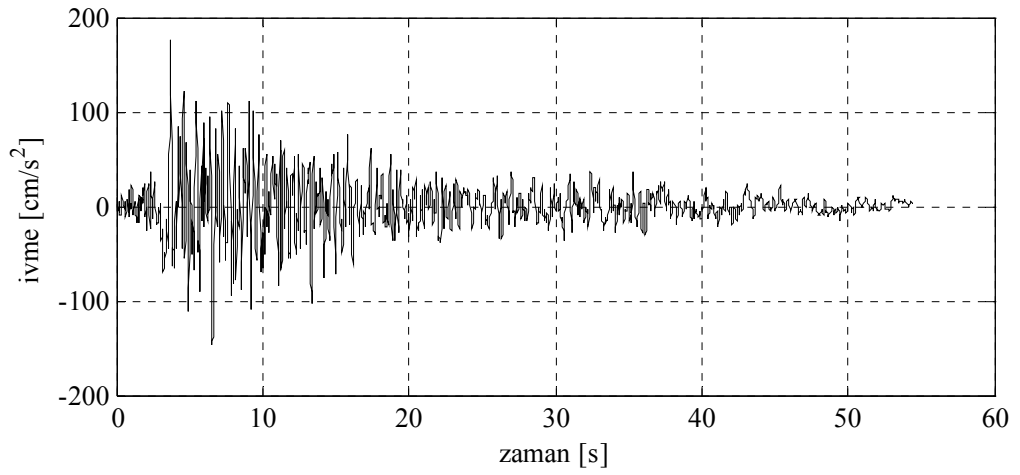


(b)

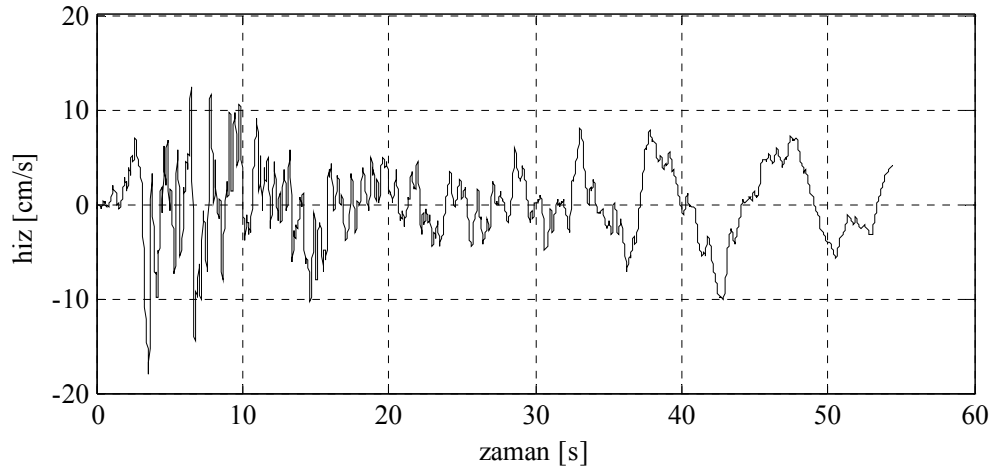


(c)

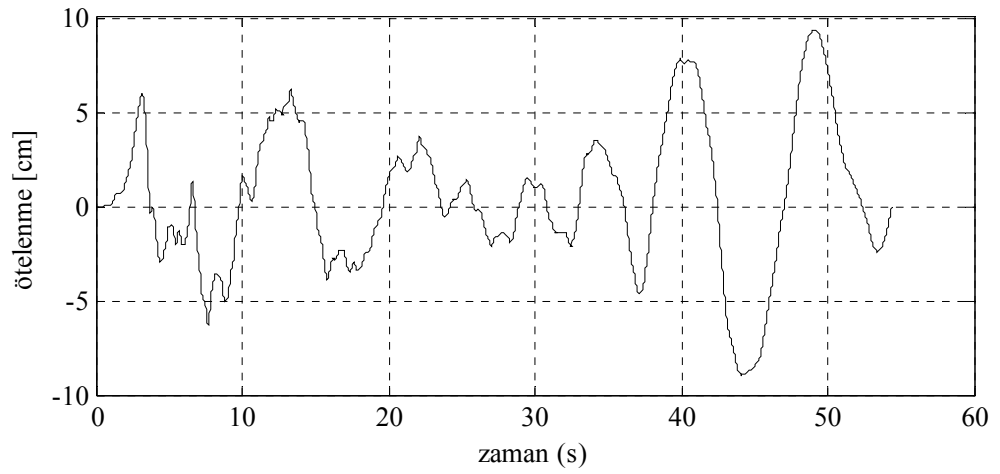
Şekil 4.14 Taft Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



(a)

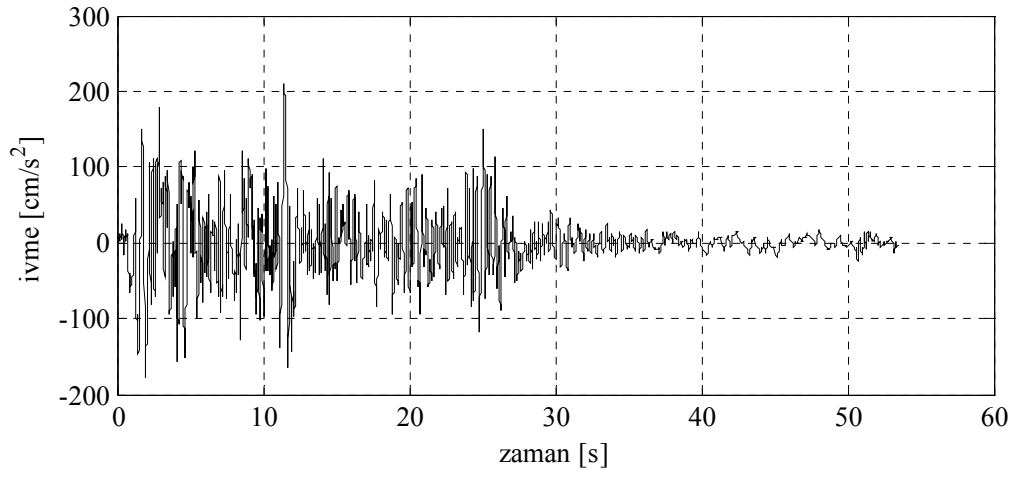


(b)

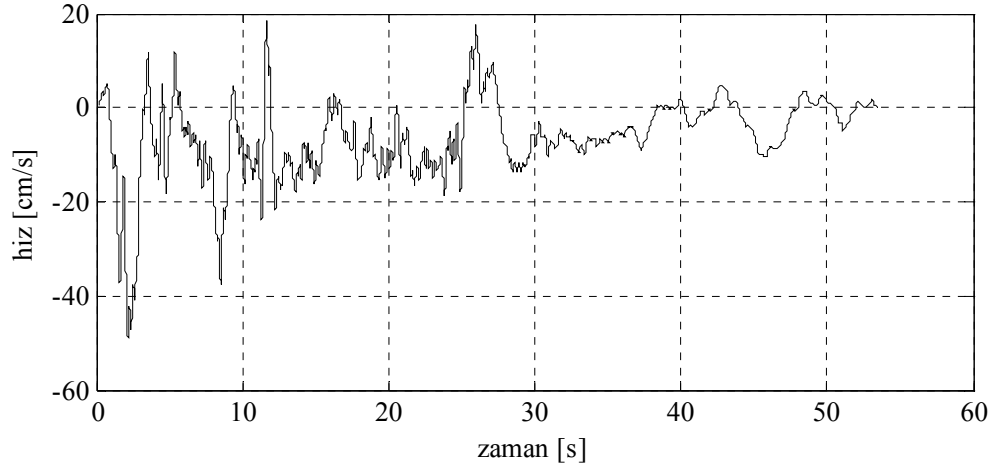


(c)

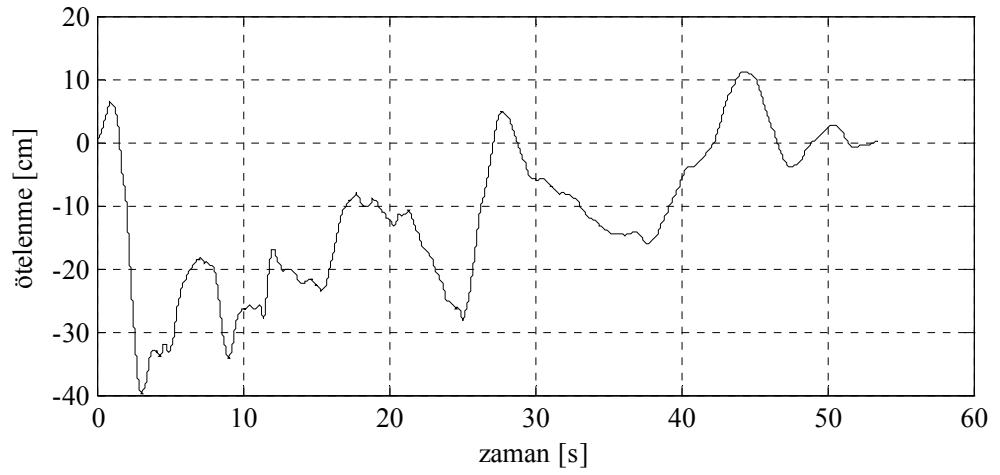
Şekil 4.15 Taft Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



(a)

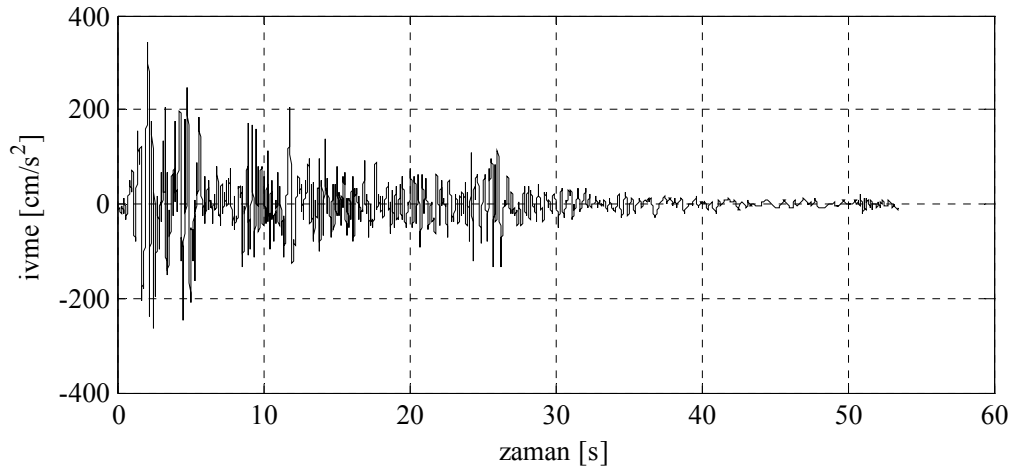


(b)

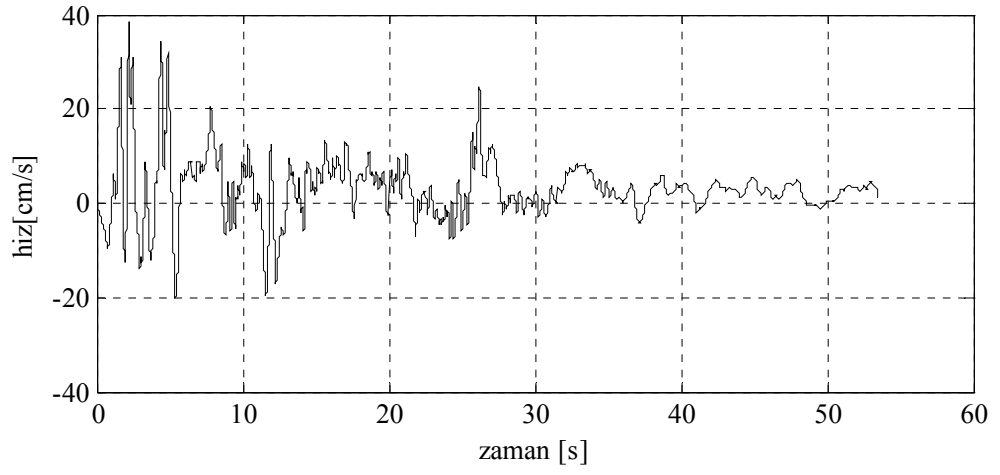


(c)

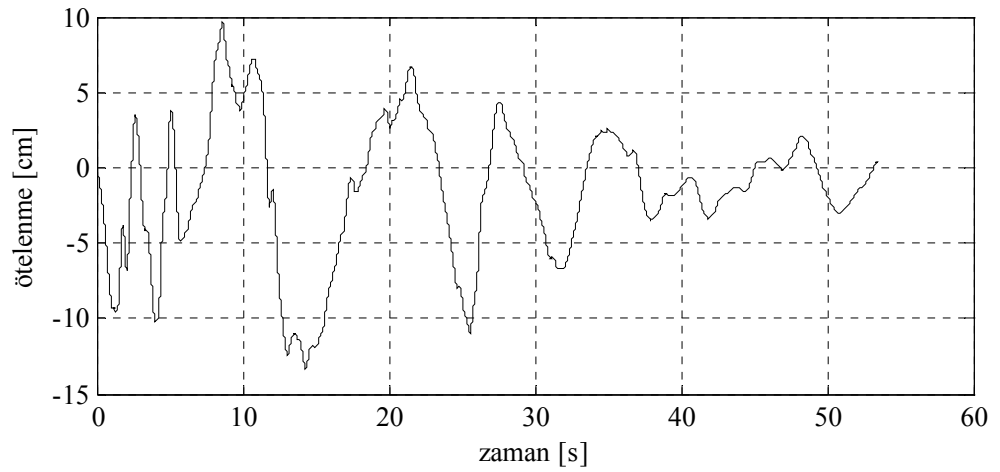
Şekil 4.16 El Centro Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



(a)

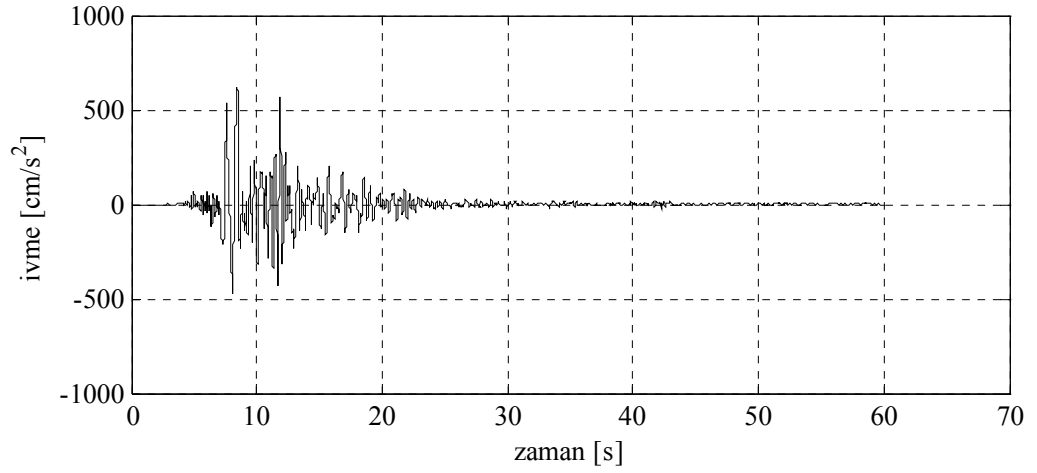


(b)

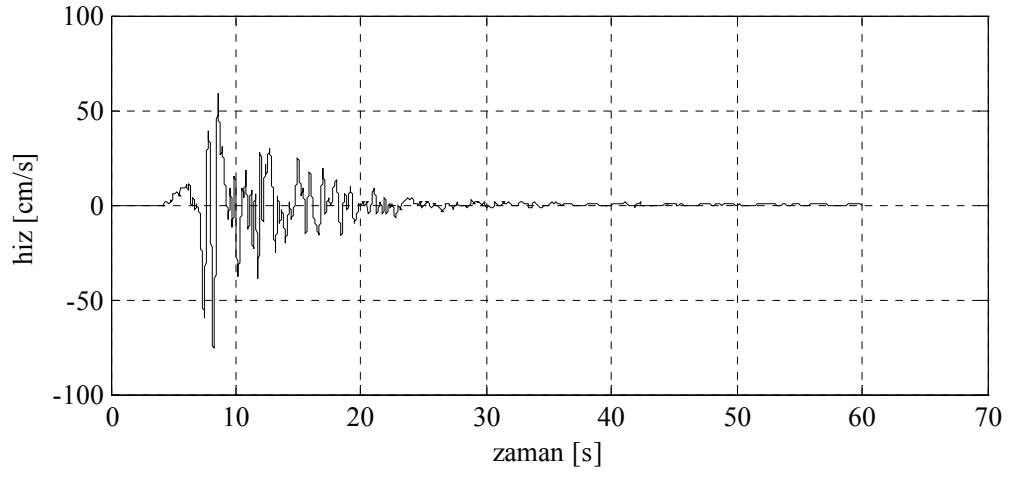


(c)

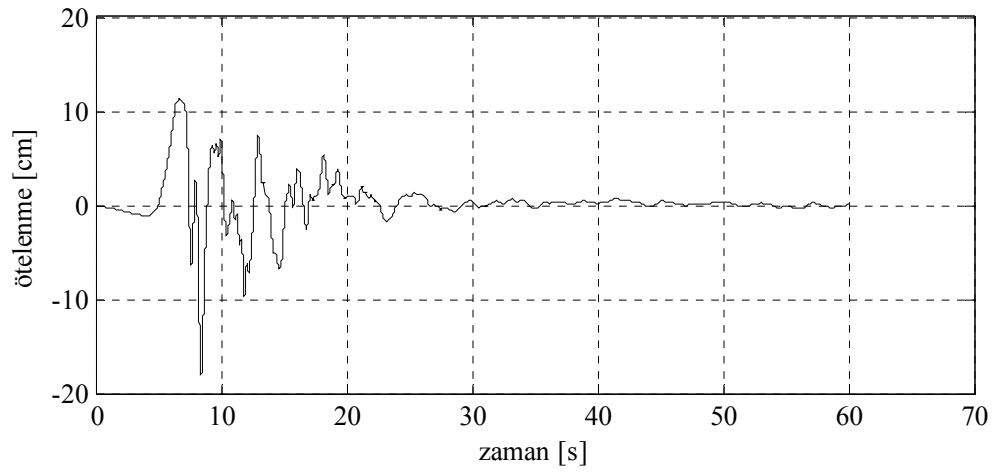
Şekil 4.17 El Centro Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



(a)

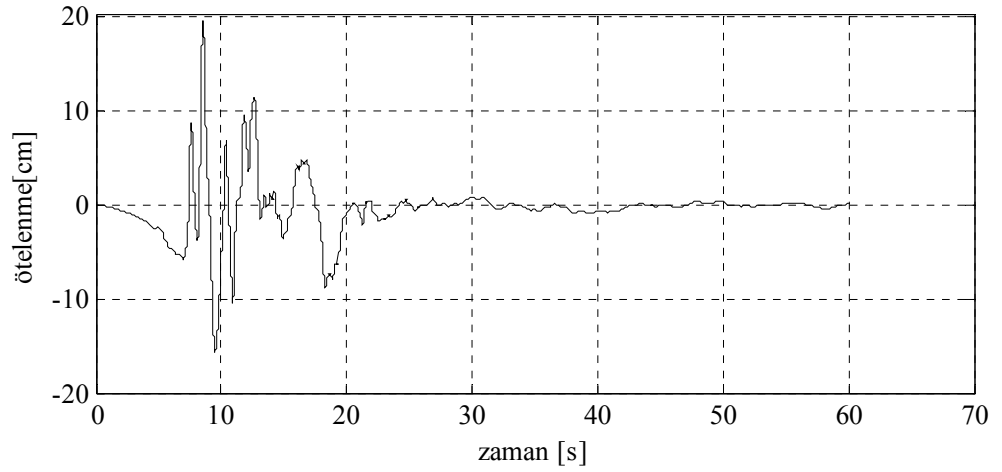
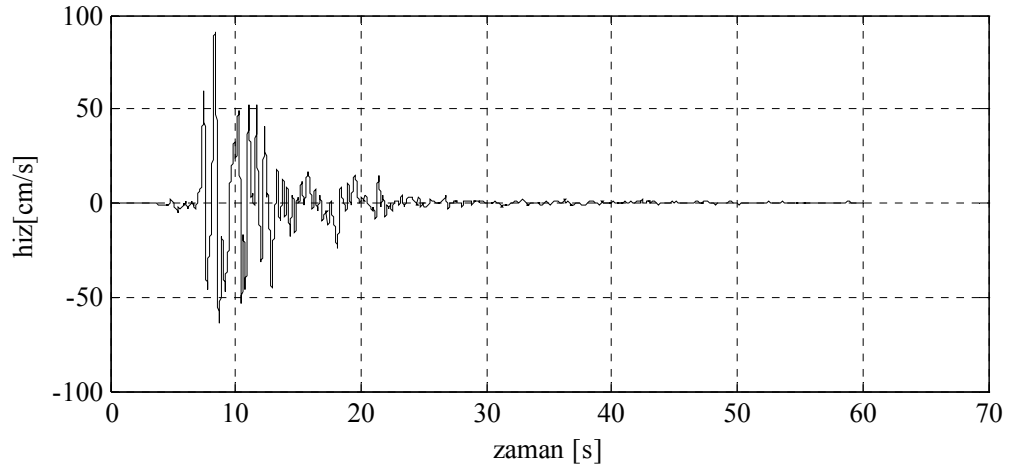
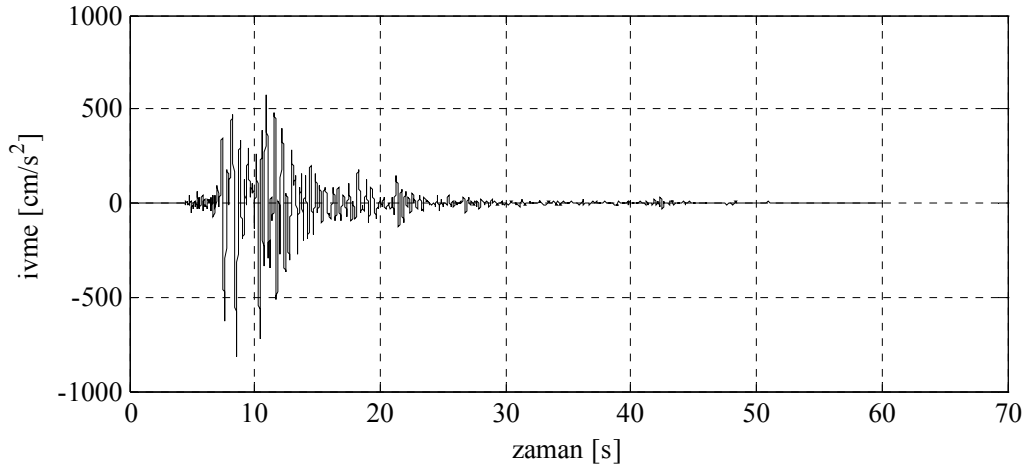


(b)

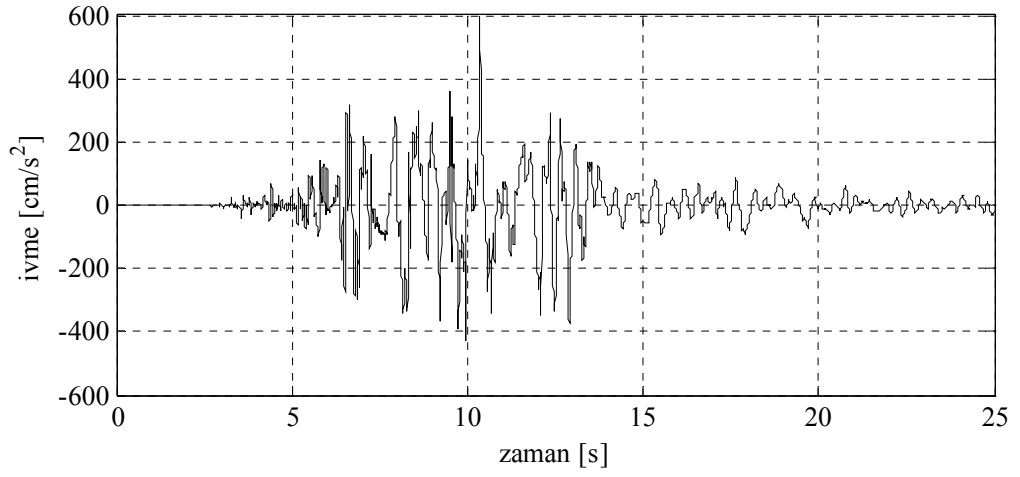


(c)

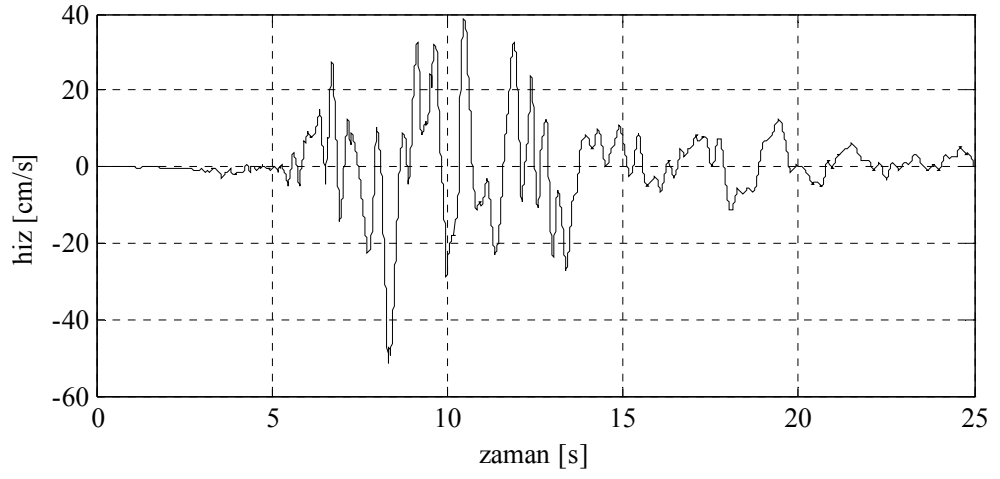
Şekil 4.18 Kobe Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



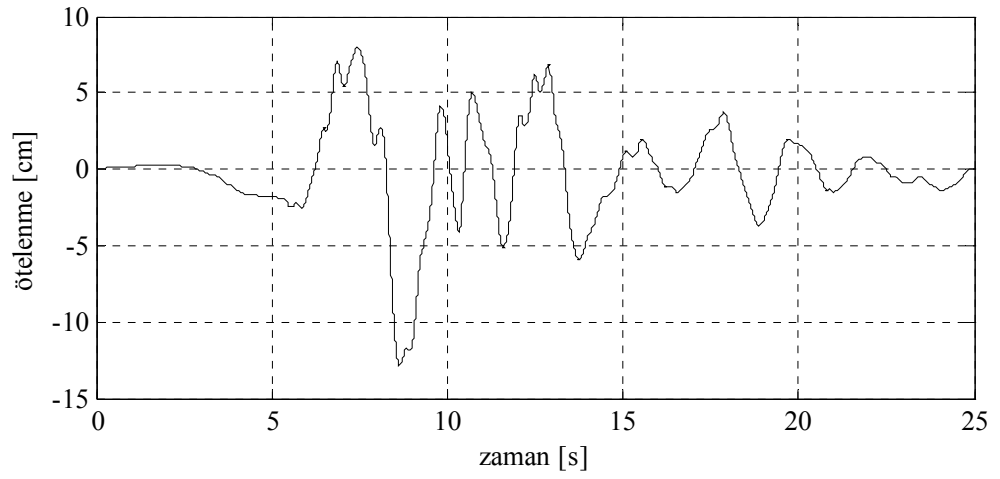
Şekil 4.19 Kobe Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



(a)

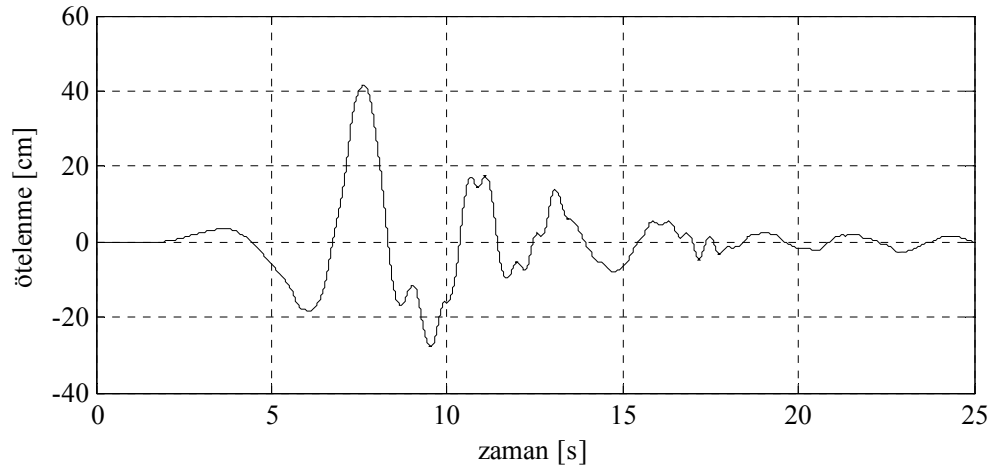
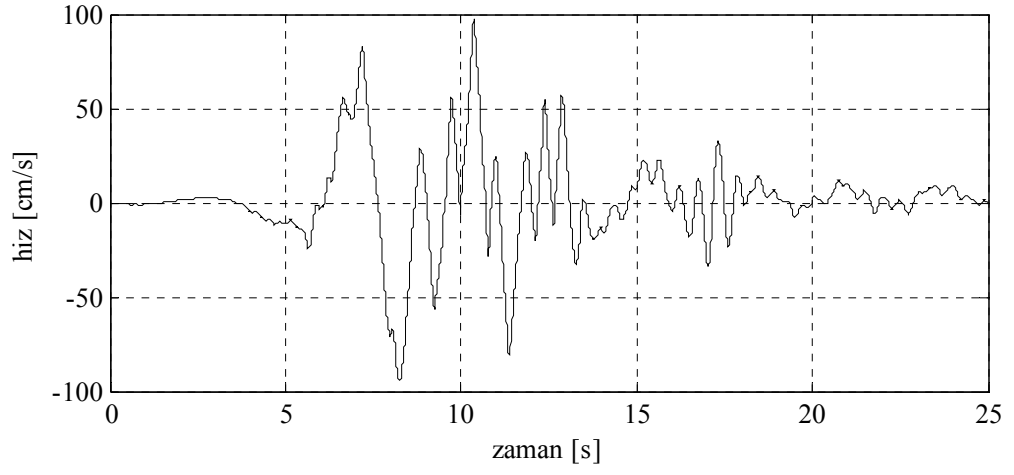
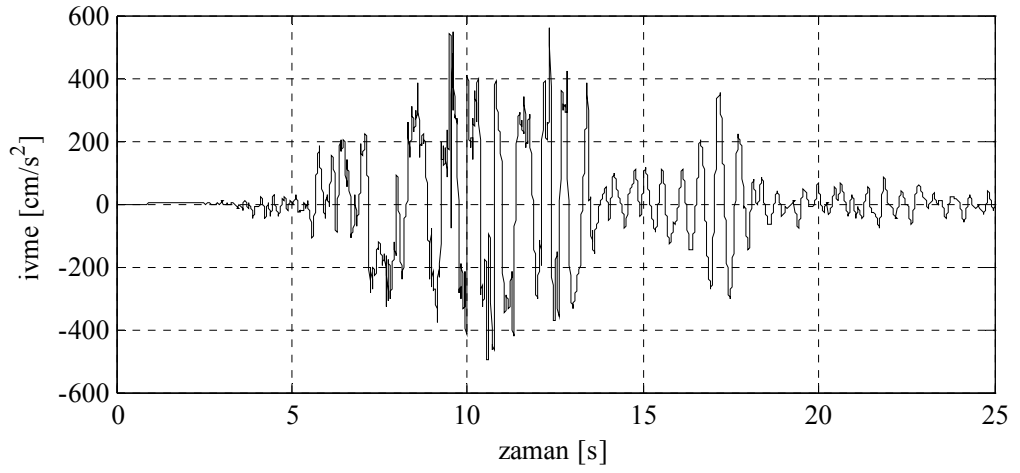


(b)

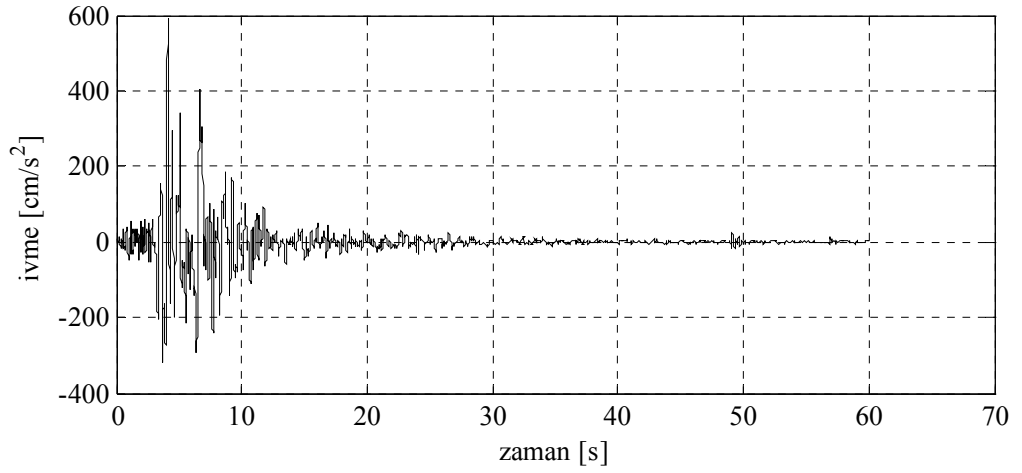


(c)

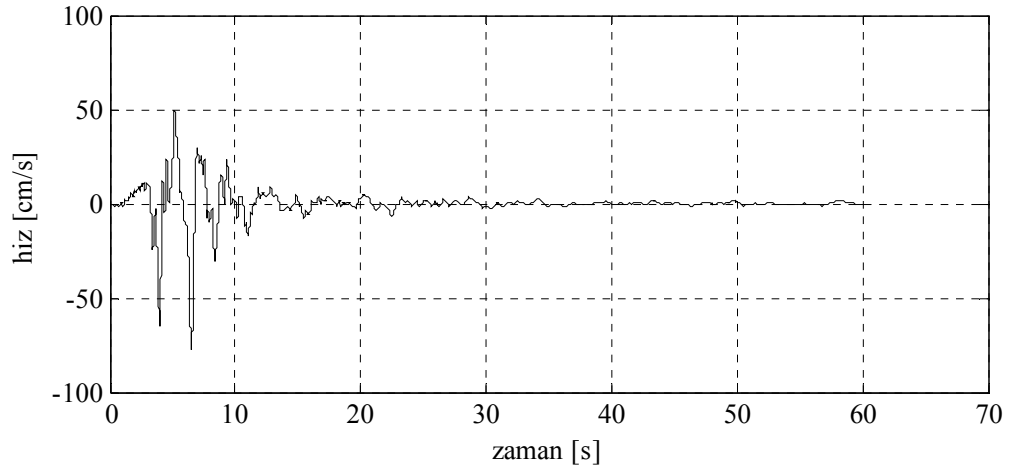
Şekil 4.20 Loma Prieta Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



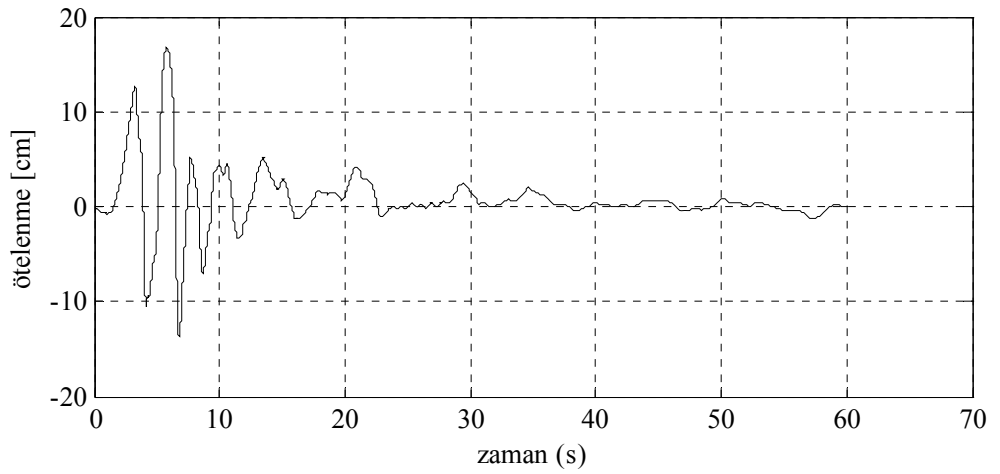
Şekil 4.21 Loma Prieta Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



(a)

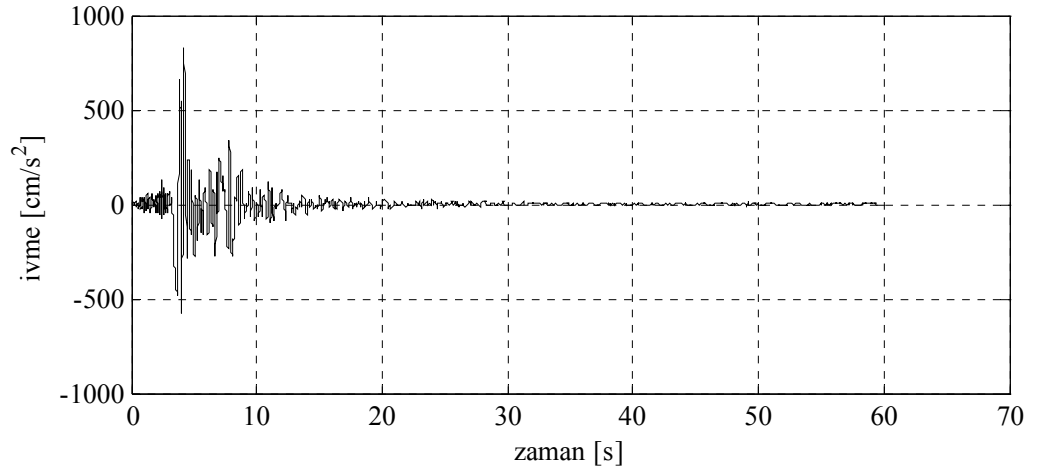


(b)

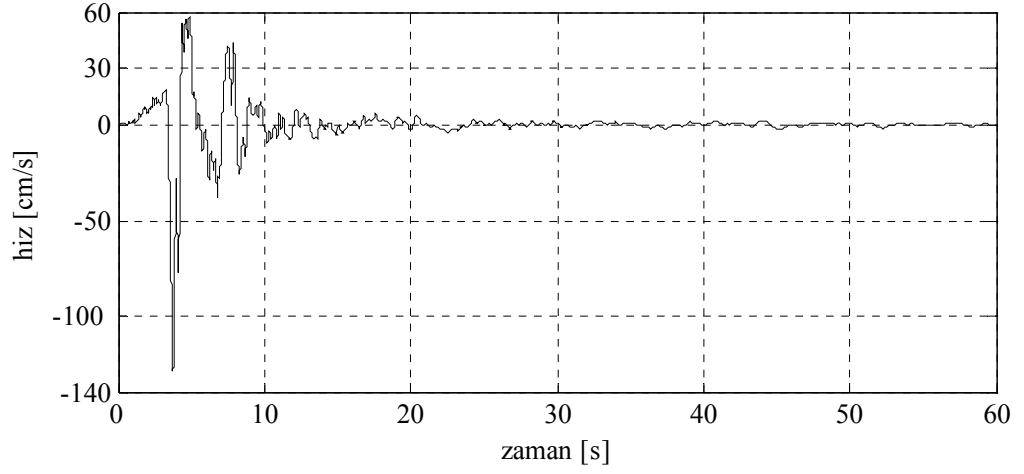


(c)

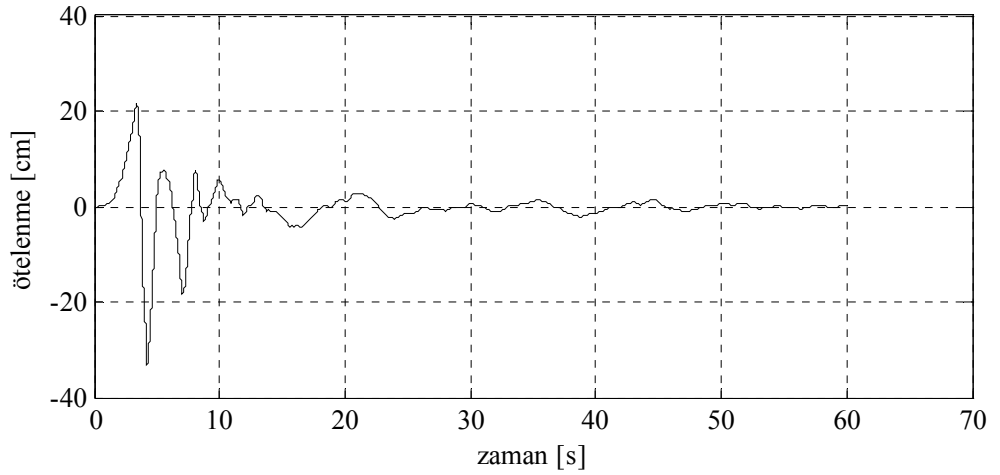
Şekil 4.22 Sylmar Depremi D-B bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



(a)

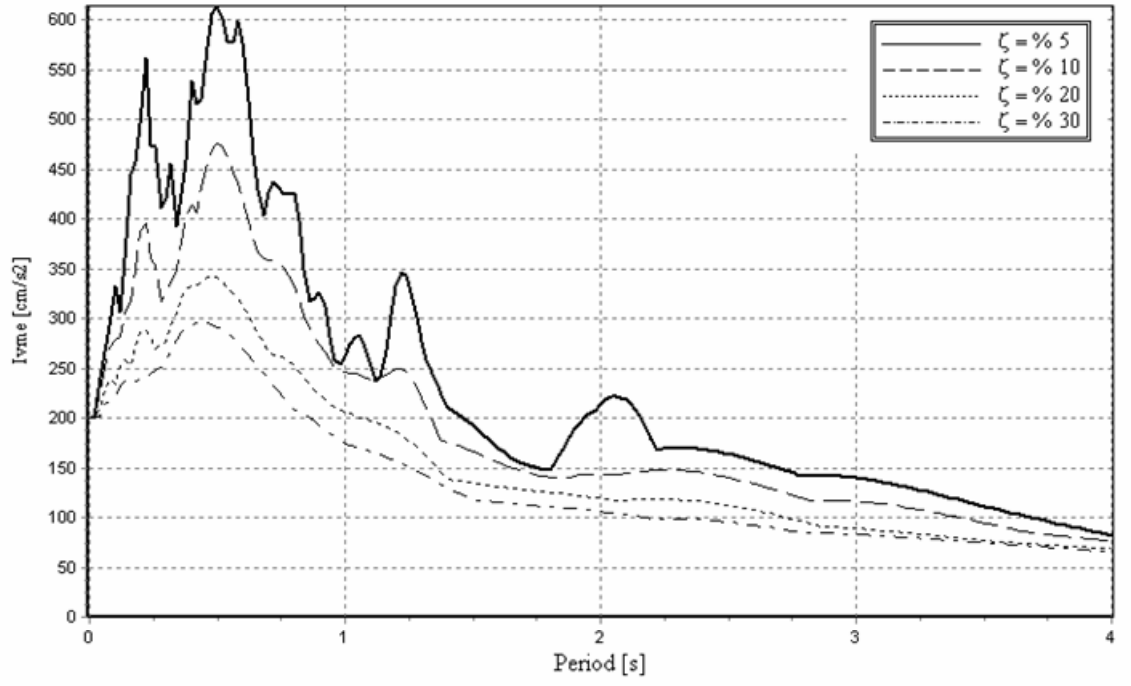


(b)

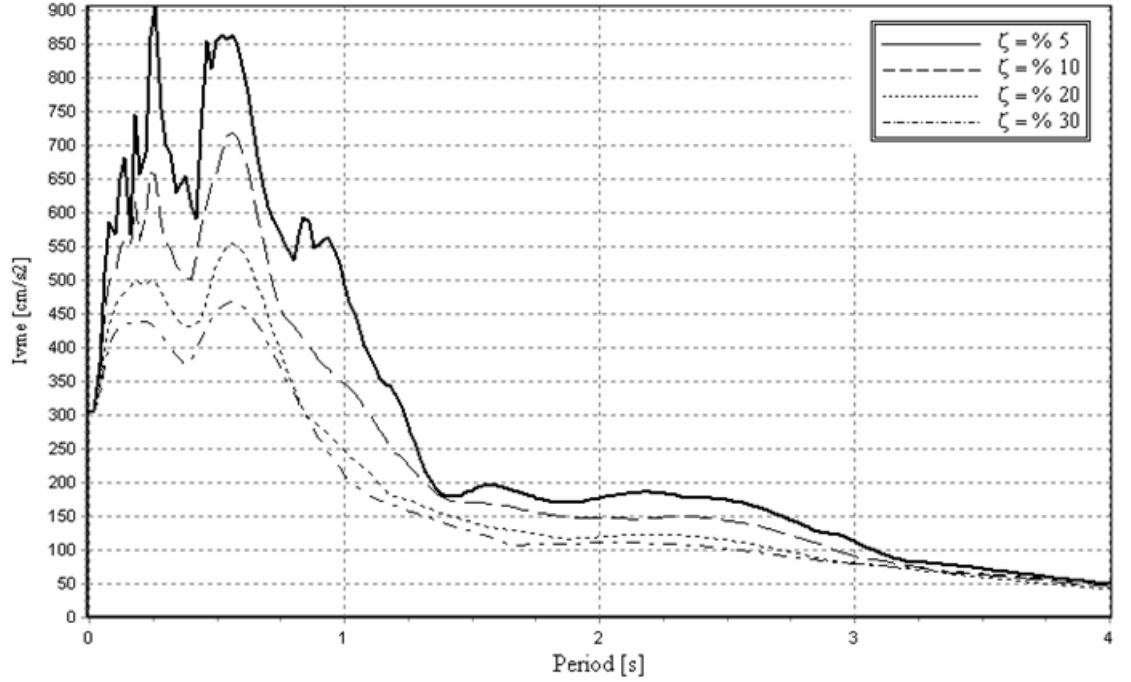


(c)

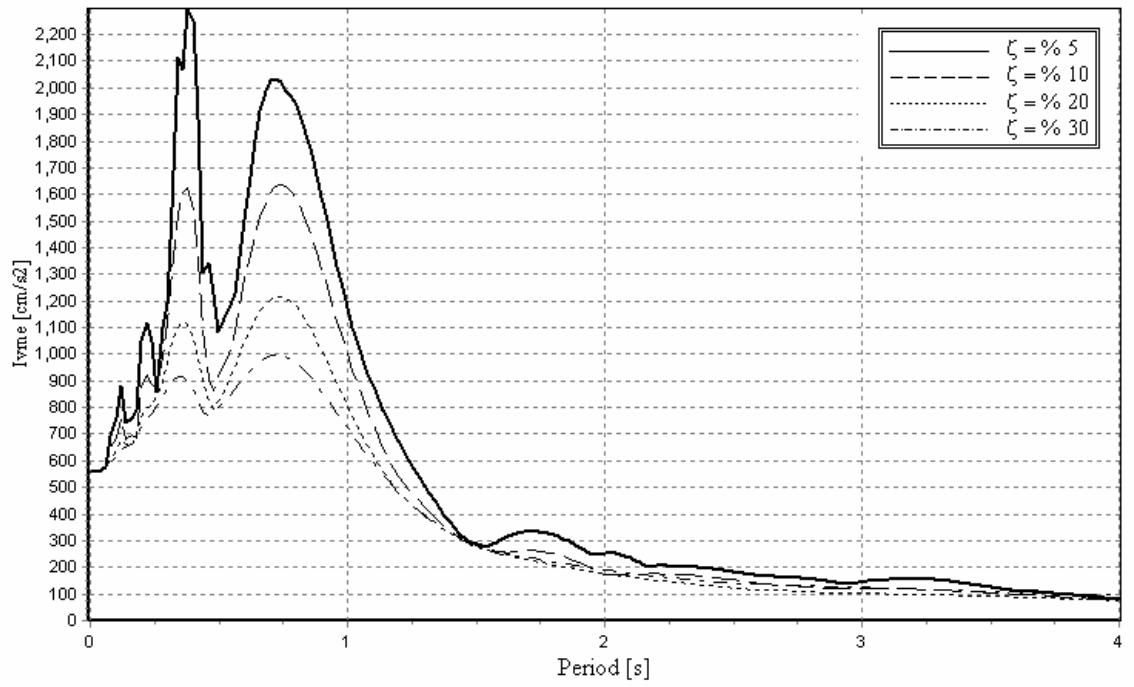
Şekil 4.23 Sylmar Depremi K-G bileşeni: (a) ivme, (b) hız, (c) ötelenme.



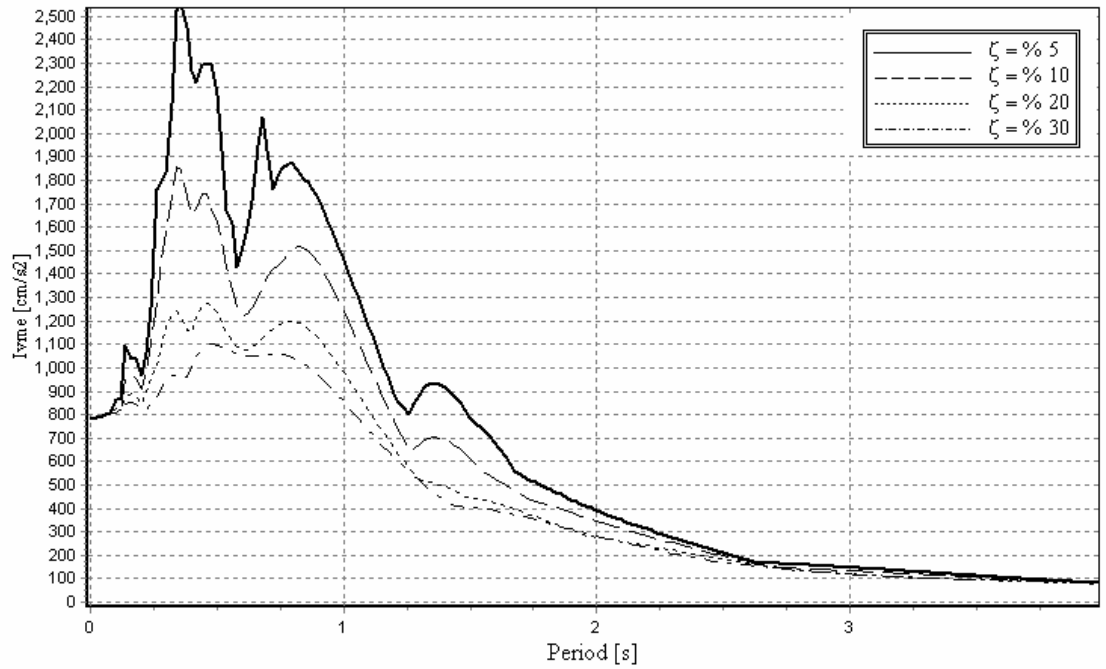
Şekil 4.24 Elcentro Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.



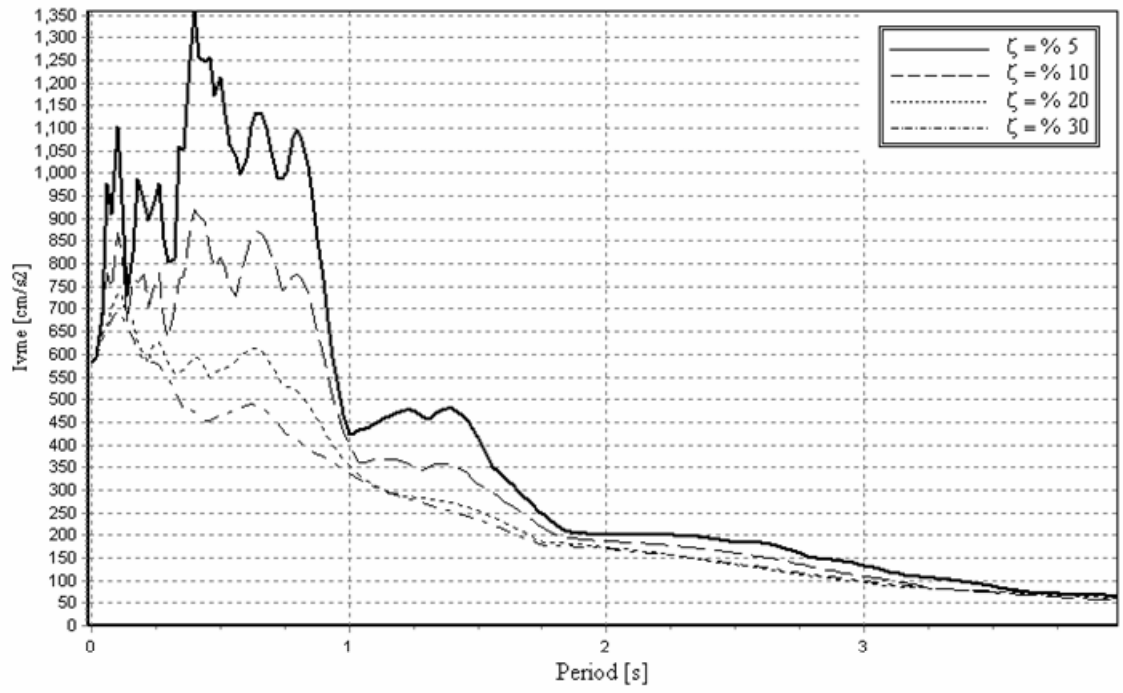
Şekil 4.25 Elcentro Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.



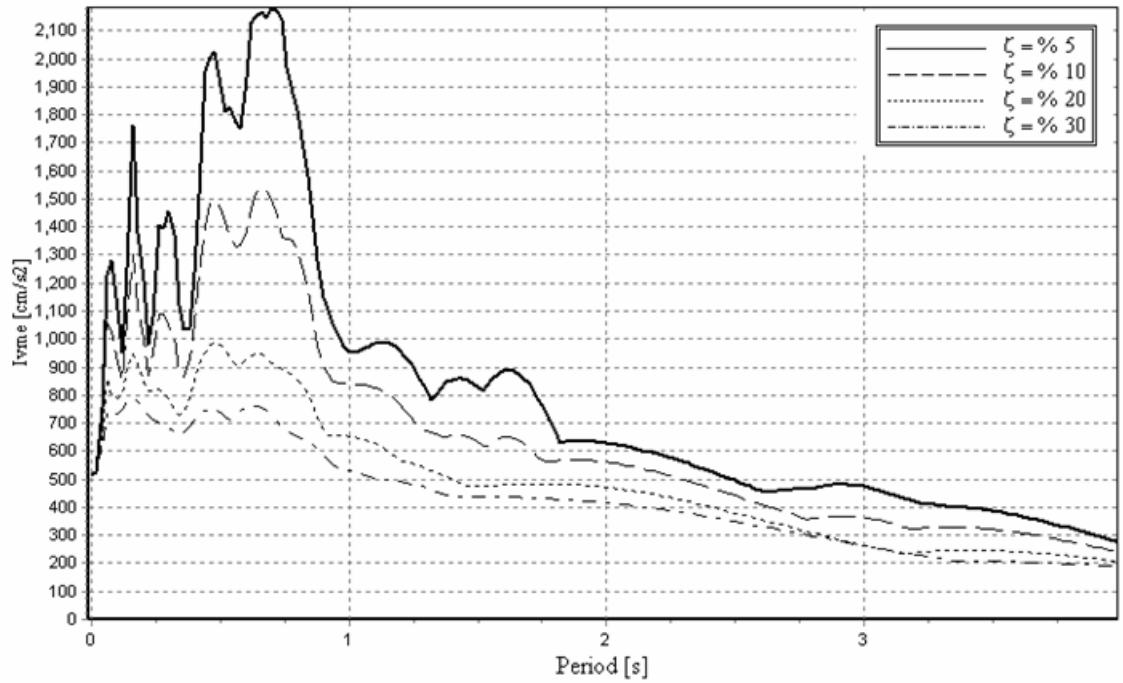
Şekil 4.26 Kobe Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.



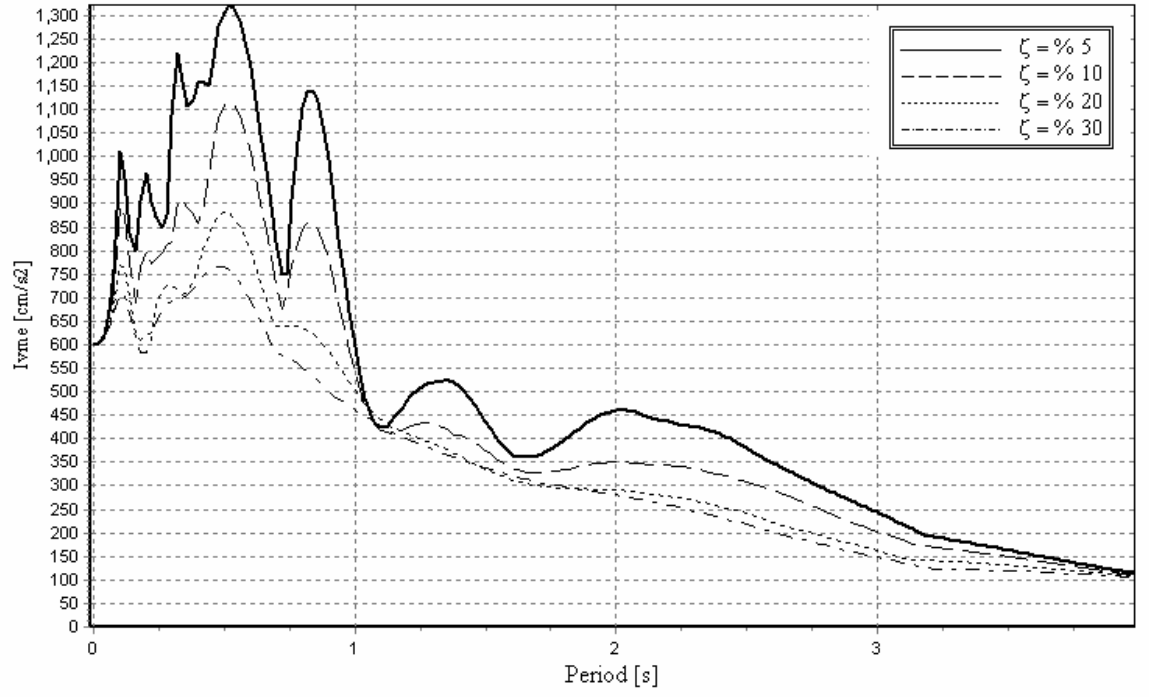
Şekil 4.27 Kobe Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.



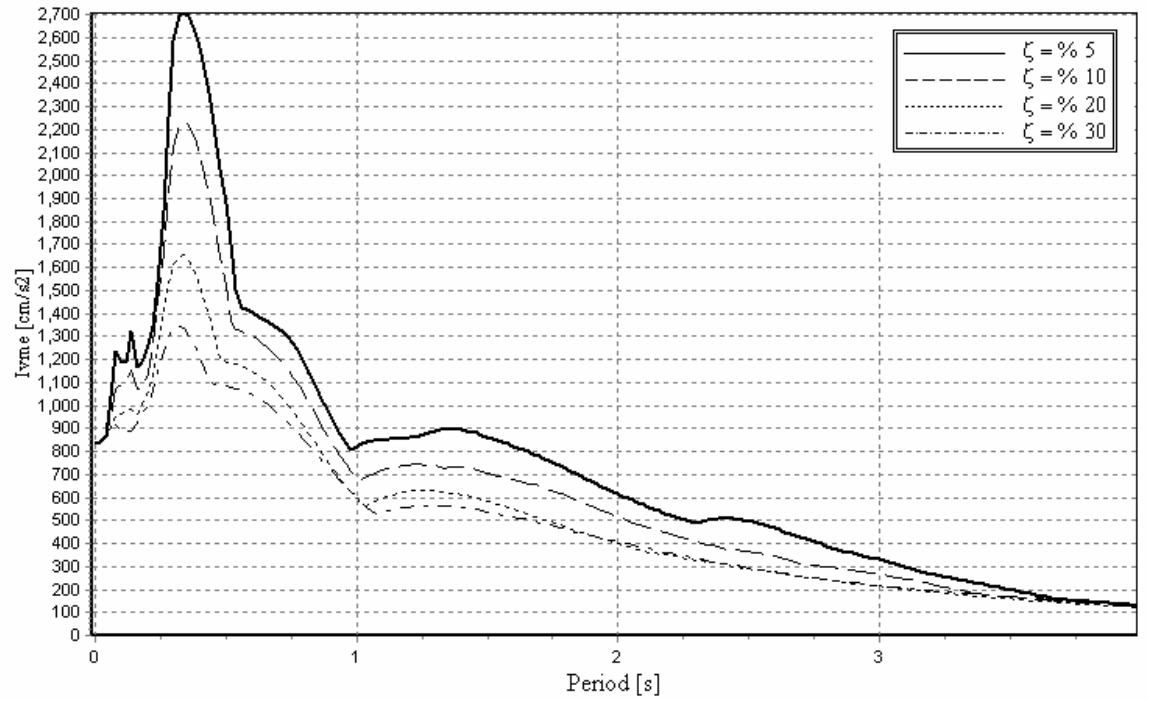
Şekil 4.28 Loma Prieta Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.



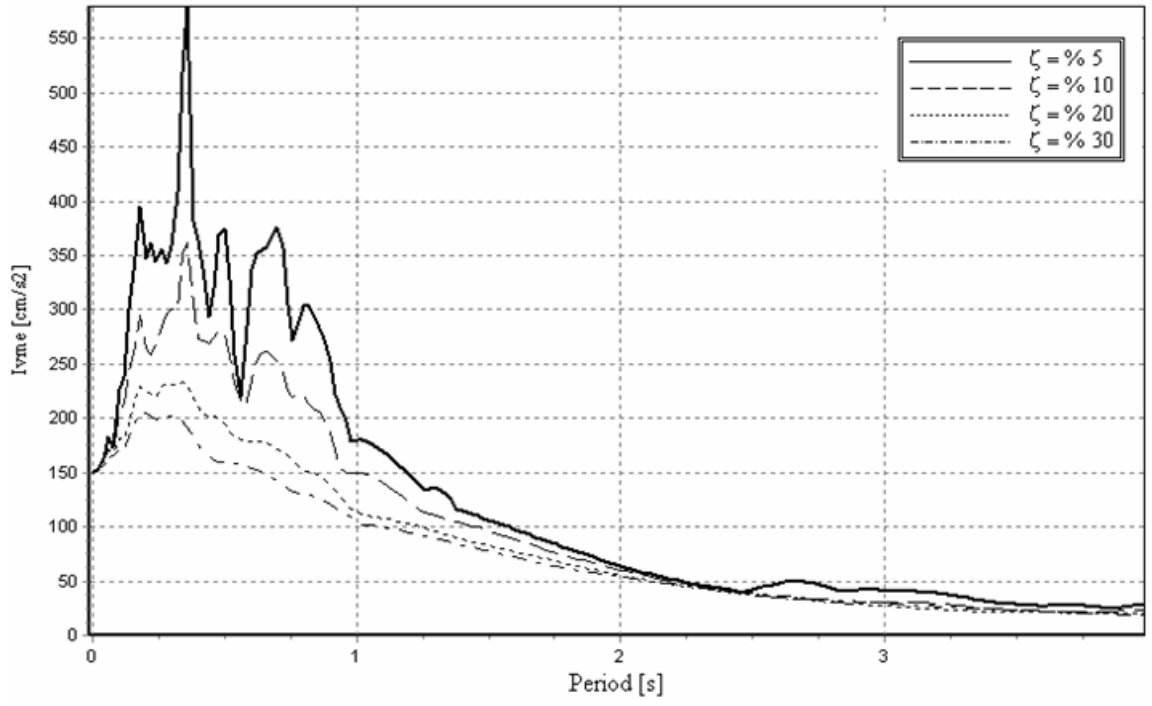
Şekil 4.29 Loma Prieta Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.



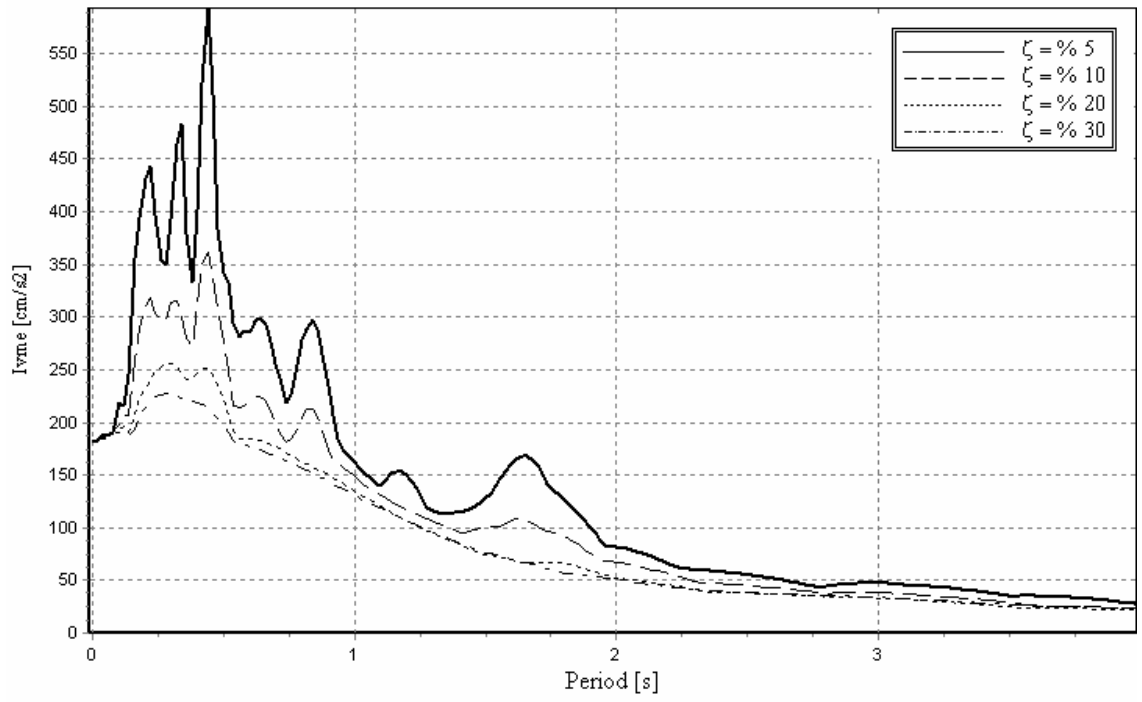
Şekil 4.30 Sylmar Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.



Şekil 4.31 Sylmar Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.

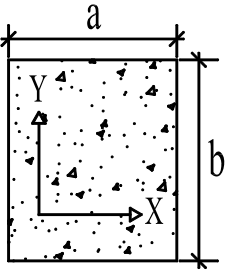


Şekil 4.32 Taft Depremi D-B bileşeni için tepki spektrumu.



Şekil 4.33 Sylmar Depremi K-G bileşeni için tepki spektrumu.

Tablo 4.1 Kolon Boyutları.

Kolon No	S1, S2, S3, S4, S9, S10, S11, S12	S5, S8	S6,S7	
Boyut (cm)				
a	30	50	40	
b	50	30	40	

Tablo 4.2 Lineer izolasyon sistemlerine ait rijitlikler (K_I) ve sönüm katsayıları (C_I)

Kat sayısı	Periyot	$T_I=2$ s				$T_I=3$ s			
	Sönüm oranı	$\zeta_I=0.10$	$\zeta_I=0.20$	$\zeta_I=0.30$	$\zeta_I=0.40$	$\zeta_I=0.10$	$\zeta_I=0.20$	$\zeta_I=0.30$	$\zeta_I=0.40$
3	C_I (kNs/m)	202.65	251.33	753.98	1005.31	167.55	335.10	502.65	670.21
	K_I (kN/m)	3947.84	3947.84	3947.84	3947.84	1754.60	1754.60	1754.60	1754.60
5	C_I (kNs/m)	376.99	753.98	1130.97	1507.96	251.33	502.65	753.98	1005.31
	K_I (kN/m)	5921.76	5921.76	5921.76	5921.76	2631.89	2631.89	2631.89	2631.89

Tablo 4.3 Elastomer mesnetlerin tasarımında kullanılan kauçuğun özellikleri (Baştuğ, 2004).

Mesnet tipi	Tasarım	Kayma şekil değiştirmesi	Kayma modülü G (Mpa)	Sönüm oranı
A	DBE	%150	0.50	0.10
	Küçük	%20	0.70	-
B	DBE	%150	1.00	0.15
	Küçük	%20	1.40	-

Tablo 4.4 Depremlerin Doğu-Batı (D-B) ve Kuzey-Güney (K-G) bileşenlerine ait maksimum ötelenme, maksimum hız ve maksimum ivme değerleri.

DEPREM	TAFT		EL CENTRO		KOBE		LOMA PRIETA		SYLMAR	
	D-B	K-G	D-B	K-G	D-B	K-G	D-B	K-G	D-B	K-G
Maksimum ötelenme (cm)	7.39	9.35	39.92	13.39	18.10	19.51	12.85	41.68	16.87	33.17
Maksimum hız (cm/sn)	16.22	17.93	48.73	38.49	75.83	94.33	51.34	97.16	77.62	128.96
Maksimum ivme (cm/sn ²)	153.00	176.00	210.00	342.00	617.14	817.82	595.74	558.95	592.64	826.76

5. BULGULAR

Bu kısımda lineer ve lineer olmayan izolasyon sistemlerine sahip üç ve beş katlı yapıların önceki kısımda özellikleri anlatılan Taft, El Centro, Loma Prieta, Kobe ve Sylmar Depremleri altındaki davranışları incelenmiştir. Zaman tanım alanında analizler SAP 2000N (SAP2000N) sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılmış ve yapının titreşime hassas cihazlara olan etkisi bakımından performansı Denklem (4.1) ile tanımlanan kat toplam ivmeleri gözönüne alınarak irdelenmiştir. Sismik izolasyonun taban ankastre yapılara göre sergilediği performansı da görebilmek için bahsi geçen üç ve beş katlı yapıların taban ankastre eşlenikleri de analizlere dahil edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 5.1-5.4’de özetlenmiştir. Farklı depremlere ait en büyük yer ivmesi (a_g) değerleri, en büyük kat ivmeleri (a_i) ile karşılaştırma yapılabilmesi için tablolara dahil edilmiştir:

$$a_g = \max_t (a_{gX}^2 + a_{gY}^2)^{1/2} \quad t = 0 : \Delta t : t_f \quad (5.1)$$

burada a_{gX} ve a_{gY} sırasıyla yer ivmesinin X (KG) ve Y (DB) yönlerindeki bileşenlerini, t zamanı, Δt zaman aralığını ve t_f toplam simulasyon süresini göstermektedir. Üç ve beş katlı yapılar için, lineer ve lineer olmayan izolasyon sistemleri, farklı izolasyon periyotları, farklı izolasyon sönümü ve farklı üstyapı sönümü için yapısal ivmelerin kat boyunca değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.1-Şekil 5.17’de gösterilmiştir.

Üç ve beş katlı taban ankastre yapılara ait kat ivmelerinin yükseklik boyunca dağılımı sırasıyla Şekil 5.1a ve Şekil 5.1b’de verilmiştir. Tüm depremlerde yer ivmeleri üst katlara artarak aktarılmıştır. Kat ivmelerinin yükseklik arttıkça sürekli bir artış gösterdiği ve bu artışın özellikle Sylmar, Loma Prieta ve Kobe Depremleri’nde çok belirgin olduğu gözlenmektedir. Örneğin, en büyük artışın gözlemlendiği durumda; beş katlı yapıda Kobe Depremi altında yer ivmesinin 847.66 cm/s^2 olan değeri en üst katta 3142.26 cm/s^2 değerine ulaşarak %271 artış göstermiştir. En küçük artışın gözlemlendiği

durumda ise; beş katlı yapıda Taft Depremi altında yer ivmesinin 215.30 cm/s^2 olan değeri en üst katta 447.67 cm/s^2 değerine ulaşarak %108 artış göstermiştir. Bu ivme değerleri titreşime hassas olan pek çok cihazın hasar görmeden ve çalışmasına ara vermeden dayanabileceği ivme değerlerinin üzerindedir. Öte yandan, Tablo 5.1-5.4'te rapor edilen sonuçlara göre sismik izolasyonlu üç ve beş katlı yapılarda kat ivmelerinin yapıların temellerine gelen yer ivmelerinden de küçük değerlere çekildiği görülmektedir. Dolayısıyla sismik izolasyon sayesinde binaların deprem performansında çok önemli bir artış meydana gelmektedir.

Titreşime hassas cihazların üst seviyede korunabilmesi ve sismik izolasyonlu bir bina içerisinde yerleştirilebilecekleri en uygun katların belirlenebilmesi için sismik izolasyonlu bir yapıda kat ivmelerinin yükseklik boyunca nasıl değiştiği ve izolasyon ve üst yapı sönüm oranına bağlı olarak nasıl değiştiğinin incelenmesi de gereklidir. İlk olarak lineer izolasyon sisteminin kullanıldığı üç ve beş katlı binalar incelenmiş ve sonuçlar sırasıyla Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de özetlenmiştir. İzolasyon sistemindeki sönümün farklı izolasyon periyotları için kat ivmelerine etkilerini görebilmek amacıyla iki farklı izolasyon periyotları ($T_1 = 2 \text{ s}$ ve $T_1 = 3 \text{ s}$) ve her bir izolasyon periyodu için dört farklı izolasyon sönüm oranı ($\zeta_1=0.10, 0.20, 0.30$ ve 0.40) göz önüne alınmıştır.

İzolasyon periyodu $T_1 = 2 \text{ s}$ olan üç katlı yapıya ait ivme değişimleri Şekil 5.2'de verilmiştir. Grafiklerde ilk göze çarpan yakın mesafe depremler olan Sylmar, Kobe ve Loma Prieta Depremleri için bulunan kat ivmelerinin uzak mesafe depremler olan El Centro ve Taft'tan belirgin bir şekilde büyük olmasıdır. Uzak mesafe depremler için kat ivmeleri $60\text{-}207 \text{ cm/s}^2$ aralığında değişirken, yakın mesafe depremlerde bu aralığın $253\text{-}547 \text{ cm/s}^2$ olduğu görülmektedir. Yükseklik boyunca ivme değişimleri taban ankastre yapılardan farklılık sergileyerek kat ivmeleri her zaman üst katlara doğru sürekli olarak artış göstermeyebilmektedir. Uzak mesafe depremlerde özellikle yüksek izolasyon sönüm oranları için kat ivmeleri yükseklik boyunca neredeyse hiç değişmeyerek sabit kalmaktadır. Örneğin, Taft Depremi ve $\zeta_1=0.40$ (Şekil 5.2d) için izolasyon katından en üst kata kadar kat ivmeleri yaklaşık 61 cm/s^2 olarak hesaplanmıştır (Tablo 5.1). Öte yandan Kobe Depremi ve $\zeta_1=0.20$ (Şekil 5.2b) için izolasyon katında 323.41 cm/s^2 olan kat ivmesi birinci katta 309.5 cm/s^2 'ye, ikinci katta 303.74 cm/s^2 'ye düşmüş ve son katta tekrar 321.53 cm/s^2 'ye çıkmıştır. İkinci kattaki ivme değerleri izolasyon katından

% 6 kadar daha azdır. İzolasyon sönüm oranının arttırılması genel olarak kat ivmelerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak, izolasyon sönüm oranının kat ivmelerinin azaltılmasındaki etkinliği sönüm oranı arttıkça azalmakta hatta bazı durumlarda artan izolasyon sönüm oranı kat ivmelerinde artışa sebebiyet verebilmektedir. Örneğin, El Centro Depremi için birinci kat ivmesi (Tablo 5.1) $\zeta_I=0.10$ için 190.00 cm/s^2 'den, $\zeta_I=0.20$ için 156.28 cm/s^2 'ye inerek % 17.74 azalmıştır. $\zeta_I=0.30$ için 140.09 cm/s^2 'ye inerek $\zeta_I=0.20$ 'ye göre % 10.36 azalmıştır. $\zeta_I=0.40$ için ise 132.27 cm/s^2 'ye inerek $\zeta_I=0.30$ 'ye göre ancak % 5.91 azalmıştır. Görüldüğü gibi izolasyon sönüm oranı arttıkça sönümün ivme performansının arttırılmasına olan katkısı giderek azalmaktadır. Hatta Taft Depremi için birinci kat ivmesi (Tablo 5.1) $\zeta_I=0.30$ için 60.66 cm/s^2 iken, izolasyon sönüm oranının $\zeta_I=0.40$ 'a arttırılması durumunda kat ivmesi azalmamış aksine 61.19 cm/s^2 'ye çıkarak yapının ivme performansını olumsuz yönde etkilemiştir.

İzolasyon periyodu $T_I = 2 \text{ s}$ olan beş katlı yapıya ait ivme değişimleri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir. Beş katlı yapı genel olarak üç katlı yapıya benzer bir davranış sergilemiştir. Yakın mesafe depremler için bulunan kat ivmeleri uzak mesafe depremler için bulunan kat ivmelerinden büyüktür. Kat ivmeleri her zaman üst katlara doğru sürekli olarak artış göstermeyebilmektedir. Örneğin, Sylmar Depremi ve $\zeta_I=0.40$ (Şekil 5.4b) için izolasyon katında 516.10 cm/s^2 olan kat ivmesi birinci katta 471.34 cm/s^2 'ye, ikinci katta 401.54 cm/s^2 'ye ve üçüncü katta 379.89 cm/s^2 'ye kadar düşmüş, daha sonra dördüncü katta 470.84 cm/s^2 'ye ve son katta 542.74 cm/s^2 'ye çıkmıştır. Üçüncü kattaki ivme değerleri izolasyon katından % 26 daha azdır. İzolasyon sönüm oranının arttırılması genel olarak kat ivmelerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak, izolasyon sönüm oranının kat ivmelerinin azaltılmasındaki etkinliği sönüm oranı arttıkça azalmakta hatta bazı durumlarda artan izolasyon sönüm oranı kat ivmelerinde artışa sebebiyet verebilmektedir. Örneğin, El Centro Depremi için birinci kat ivmesi (Tablo 5.2) $\zeta_I=0.10$ için 208.64 cm/s^2 'den, $\zeta_I=0.20$ için 171.65 cm/s^2 'ye inerek % 17.73 azalmıştır. $\zeta_I=0.30$ için 153.06 cm/s^2 'ye inerek $\zeta_I=0.20$ 'ye göre % 10.83 azalmıştır. $\zeta_I=0.40$ için ise 142.97 cm/s^2 'ye inerek $\zeta_I=0.30$ 'ye göre ancak % 6.59 azalmıştır. Görüldüğü gibi izolasyon sönüm oranı arttıkça sönümün performansın arttırılmasına olan katkısı üç katlı yapıda olduğu gibi beş katlı yapıda da giderek

azalmıştır. Ayrıca Taft Depremi için birinci kat ivmesi (Tablo 5.2) $\zeta_I=0.30$ için 63.27 cm/s^2 iken, izolasyon sönüm oranının $\zeta_I=0.40$ 'a arttırılması durumunda kat ivmesi azalmamış aksine 68.16 cm/s^2 'ye çıkarak % 7.73 oranında bir artış göstererek yapının ivme performansını olumsuz yönde etkilemiştir. Dolayısıyla, hem üç hem de beş katlı yapıda gözleendiği üzere, izolasyon sistemindeki sönüm oranının yapının ivme performansı açısından optimum bir değeri olduğu ve sönüm oranının sürekli olarak arttırılmasının kat ivmelerini her zaman azaltmayacağı, tersine arttırabileceği söylenebilir.

İzolasyon periyodu $T_I = 3 \text{ s}$ olan üç katlı yapıya ait ivme değişimleri Şekil 5.5'de, beş katlı yapıda ait ivme değişimleri ise Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmiştir. İzolasyon periyodunun $T_I = 2 \text{ s}$ 'den $T_I = 3 \text{ s}$ 'ye çıkarılması sonucu gözlenen iki önemli etki vardır. Birincisi, aynı izolasyon sönüm oranı için izolasyon periyodu uzun olan yapıya ait kat ivmeleri izolasyon periyodu kısa olan yapıya göre daha azdır. Gözlenen ikinci etki ise kat ivmelerinin katlar arasındaki değişiminin azalması, özellikle uzak mesafe depremlerde ve yüksek sönüm oranları için kat ivmelerinin yükseklik boyunca hemen hemen hiç değişmeyerek sabit kalmasıdır. Örneğin El Centro Depremi ve $\zeta_I=0.40$ için (Tablo 5.1) izolasyon katından üçüncü kata kadar hesaplanan ivme değerleri sırasıyla 90.63 cm/s^2 , 90.65 cm/s^2 , 90.64 cm/s^2 ve 90.92 cm/s^2 'dir. Kat ivmelerinin katlar arası değişimi beş katlı yapı için yakın mesafe depremlerde daha belirgindir. Örneğin, Sylmar Depremi ve $\zeta_I=0.40$ (Şekil 5.7) için izolasyon katında 262.81 cm/s^2 olan kat ivmesi birinci katta 260.96 cm/s^2 'ye, ikinci katta 257.68 cm/s^2 'ye ve üçüncü katta 254.26 cm/s^2 'ye kadar düşmüş, daha sonra dördüncü katta 261.08 cm/s^2 'ye ve son katta 291.87 cm/s^2 'ye çıkmıştır. Üçüncü kattaki ivme değerleri izolasyon katından % 3.25 daha azdır. En üst katın ivmesi ise izolasyon katına ait ivme değerinden % 11.06 daha fazladır.

İzolasyon periyodu $T_I = 2 \text{ s}$ olan yapılarda olduğu gibi, izolasyon periyodu $T_I = 3 \text{ s}$ olan yapılar için de izolasyon sönüm oranının sürekli olarak arttırılmasının kat ivmelerinin her zaman azaltılmasına yardımcı olamayabileceği aksine belli bir sönüm oranının üzerine çıkıldığında kat ivmelerinde artış olabileceği saptanmıştır. Örneğin Taft Depremi için beş katlı yapıda, birinci kat ivmesi (Tablo 5.2) $\zeta_I=0.20$ için 38.48 cm/s^2 iken, $\zeta_I=0.30$ için 39.56 cm/s^2 'ye ve izolasyon sönüm oranının $\zeta_I=0.40$ 'a arttırılması durumunda da % 12.5 oranında bir artış göstererek 43.29 cm/s^2 'ye çıkmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin ve kurşun çekirdekli izolatörlerin kullanıldığı iki çeşit lineer olmayan izolasyon sistemine sahip olan üç ve beş katlı binaların deprem performansları incelenerek sonuçlar sırasıyla Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de özetlenmiştir. Bu kısımda incelenen izolasyon sistemlerinin etkin izolasyon periyodu yaklaşık $T_{ef} = 2$ s’dir. Lineer olmayan bu izolasyon sistemlerine ait tasarım detayları Bölüm 4’de verilmiştir.

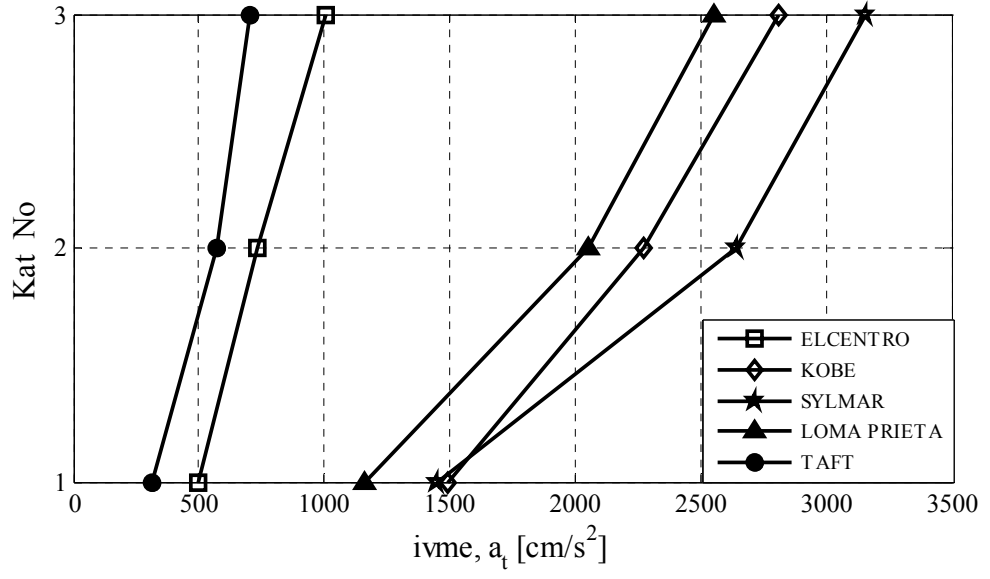
Farklı depremler altındaki üç katlı yapının kat ivmelerinin yükseklik boyunca değişimi, yüksek sönümlü kauçuk ve kurşun çekirdekli kauçuk sistemler için sırasıyla Şekil 5.8a ve Şekil 5.8b’de ve beş katlı yapı için sırasıyla Şekil 5.9a ve Şekil 5.9b’de verilmiştir. Grafiklerde göze çarpan en önemli özellik, lineer izolasyon sistemlerinde de gözleendiği gibi, her iki tür lineer olmayan izolasyon sistemi için de, yükseklik boyunca ivme değişimlerinin taban ankastre yapılardan farklılık göstermesi ve kat ivmelerinin her zaman üst katlara doğru sürekli olarak artış göstermemesidir. Aksine izolasyon katından ara katlara geçildiğinde, özellikle daha esnek olan beş katlı yapı için kat ivmelerinde azalma görülmekte, en üst katta ise kat ivmeleri belirgin bir şekilde tekrar artmaktadır. Bu durum lineer izolasyon sistemlerinden farklı olarak hem yakın mesafe hem de uzak mesafe depremlerde gözlenmektedir. Örneğin, Sylmar Depremi altında, üst yapıda ek sönümleyicilerin kullanılmadığı ($\zeta_s=0.05$) ve izolasyon sistemi yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerden oluşan beş katlı yapıya ait kat ivmeleri izolasyon katından başlayarak en üst kata doğru sırasıyla 595.13 cm/s^2 , 544.95 cm/s^2 , 506.85 cm/s^2 , 464.95 cm/s^2 , 530.50 cm/s^2 ve en son katta 597.76 cm/s^2 ’ye ulaşmaktadır (Tablo 5.4). İzolasyon katından üçüncü kata kadar ivmeler % 21.87 oranında azalmış, dördüncü ve beşinci katta ise tekrar artış göstererek izolasyon katındaki ivme değerlerinin üstüne çıkmıştır. Hem lineer hem de lineer olmayan izolasyon sistemlerinde gözlenen bu durum, titreşime hassas cihazların izolasyonlu yapılarda izolasyon katına ve en üst kata yerleştirilmemesi gerektiği sonucunu doğurmaktadır. İvmelerin izolasyonlu yapılarda görece olarak daha düşük seviyede olduğu katlar, orta katlar olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada incelenen beş katlı yapı için, depremlere göre değerler farklılık göstermekle beraber, birinci, ikinci ve üçüncü katlar titreşime hassas cihazların yerleştirilmesi açısından en uygun olan katlardır.

Bu çalışmanın üçüncü kısmında, üst yapıya ait sönümün kat ivmeleri ve kat ivmelerinin yükseklik boyunca dağılımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ek sönümleyici kullanılmayan betonarme yapılar için modal sönüm oranı yaklaşık $\zeta_s=0.05$ 'dir. Bu sönüm oranı ek sönümleyiciler kullanılarak arttırılabilir ve bu çalışmada modal sönüm oranının $\zeta_s=0.10$, 0.20 ve 0.30 olan değerleri göz önüne alınmıştır. Bahsi geçen farklı üst yapı sönüm oranları için, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin ve kurşun çekirdekli izolatörlerin kullanıldığı iki çeşit lineer olmayan izolasyon sistemine sahip olan üç ve beş katlı binaların deprem performansları incelenerek sonuçlar sırasıyla Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'de özetlenmiştir. Bu kısımdaki izolasyon sistemlerinin etkin izolasyon periyodu yaklaşık $T_{ef} = 2$ s'dir.

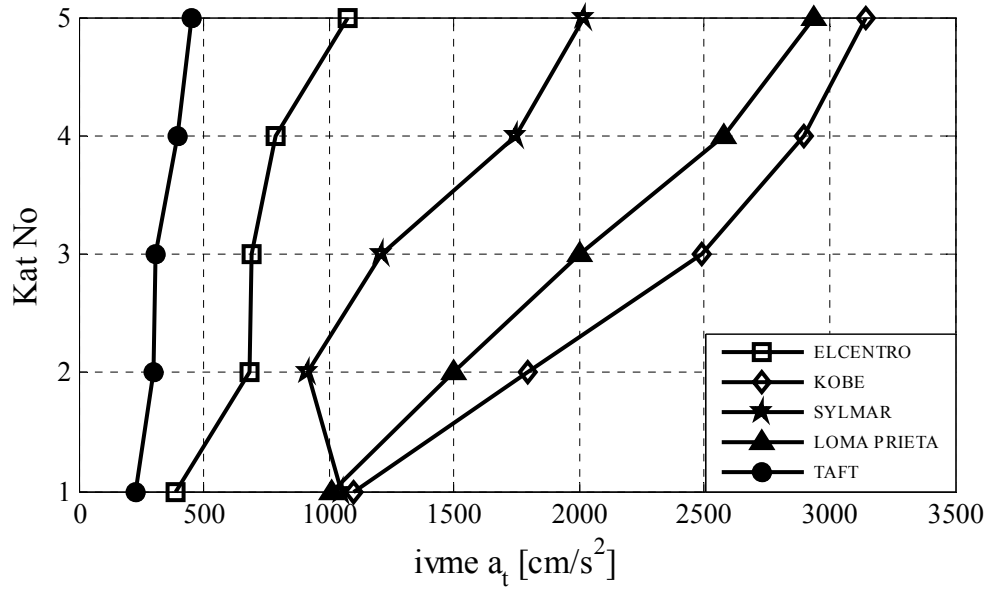
Yüksek sönümlü kauçuk izolasyon sistemine sahip üç katlı yapıya ait kat ivmeleri El Centro, Taft, Kobe, Sylmar ve Loma Prieta Depremleri için sırasıyla Şekil 5.10a, Şekil 5.10b, Şekil 5.11a, Şekil 5.11b ve Şekil 5.11c'de gösterilmiştir. Beş katlı yapı için ise Şekil 5.12a, Şekil 5.12b, Şekil 5.13a, Şekil 5.13b ve Şekil 5.13c'de gösterilmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere, üst yapı sönümünün artması ile genel olarak kat ivmeleri ve katlar arası ivme farkları azalmaktadır. Yükseklik boyunca kat ivmelerinin değişimi daha düzenli hale gelmektedir. Üst yapı sönümünün arttırılması ile ivmelerdeki en önemli azalmalar en üst katta ve en alt katta meydana gelmektedir. Çalışmanın bir önceki kısmında izolasyonlu yapılarda ivmeleri en büyük olan katların en alt ve en üst katlar olduğu ortaya çıktığından üst yapı sönümünün arttırılmasının özellikle bu katların ivme performanslarını arttırıyor olması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Örneğin Sylmar Depremi altında beş katlı yapı incelenirse (Şekil 5.13b) en büyük toplam kat ivmesi bu yapının en üst katında üst yapı sönüm oranı $\zeta_s=0.05$ için 597.76 cm/s^2 iken üst yapı sönüm oranının $\zeta_s=0.10$ 'a çıkartılmasıyla % 14.43 azalarak 511.50 cm/s^2 'ye, $\zeta_s=0.20$ 'ye çıkartılması durumunda ise % 23.94 azalarak 454.64 cm/s^2 'ye inmiştir. Ancak, üst yapı sönümünün sürekli olarak arttırılması ile kat ivmeleri her zaman azaltılamayabilmekte hatta artışlara sebep olabilmektedir. Nitekim, üstte bahsi geçen durum için sönüm oranı $\zeta_s=0.30$ 'a çıkartıldığında en üst katın en büyük toplam kat ivmesi azalmak yerine artarak 460.50 cm/s^2 'ye çıkmıştır. Benzer durum diğer depremler için de gözlenmekte ve kat ivme değerlerinin en aza indirilebilmesi için üst yapı sönüm oranının optimum bir değeri olduğu gözlenmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda, tüm depremler göze alındığında, yüksek sönümlü kauçuk

izolasyon sistemine sahip yapılarda % 20'nin üzerindeki üst yapı sönüm oranlarının ivme performansının arttırılmasına çok fazla katkısı olmadığı görülmüştür.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemine sahip üç katlı yapıya ait kat ivmeleri El Centro, Taft, Kobe, Sylmar ve Loma Prieta Depremleri için sırasıyla Şekil 5.14a, Şekil 5.14b, Şekil 5.15a, Şekil 5.15b ve Şekil 5.15c'de gösterilmiştir. Beş katlı yapı için ise Şekil 5.16a, Şekil 5.16b, Şekil 5.17a, Şekil 5.17b ve Şekil 5.17c'de gösterilmiştir. Analizler sonucunda gözlemlenen ivme performansı ve yapısal davranış yüksek sönümlü kauçuk izolasyon sistemine sahip yapılara çok benzemektedir. Üst yapı sönüm oranının arttırılması özellikle en üst ve en alt kattaki evmeleri azaltmakta orta katlardaki etkinliği daha sınırlı düzeyde kalmaktadır. Ancak bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlardan biri sismik izolasyonlu yapıların kat ivmelerinin değerleri en alt ve en üst katlarda en yüksek seviyelerde olduğudur. Dolayısıyla üst yapı sönüm oranı arttırılarak elde edilmesi planlanan kat ivmesi azalımları tam da ihtiyacın olduğu katlarda gerçekleşmektedir. Gözlemlenen diğer bir olgu, üst yapı sönüm oranı arttıkça elde edilen ivme azalım oranının azalmasıdır. Hatta üst yapı sönüm oranlarının belli seviyelerin üzerine çıkması durumunda bazı depremler için ivmelerde artış dahi gözlenebilmektedir. Örneğin Sylmar Depremi altında beş katlı yapı incelenirse (Şekil 5.17b) en üst katında üst yapı sönüm oranı $\zeta_s=0.05$ için 531.44 cm/s^2 iken üst yapı sönüm oranının $\zeta_s=0.10$ 'a çıkartılmasıyla % 15.03 azalarak 451.57 cm/s^2 'ye inmiştir. Sönüm oranının $\zeta_s=0.20$ 'ye çıkartılması durumunda ise $\zeta_s=0.05$ için bulunan değerden % 28.26 azalmış ve $\zeta_s=0.10$ 'a göre % 15.58 azalarak 381.21 cm/s^2 olmuştur. Son olarak sönüm oranı $\zeta_s=0.30$ 'a çıkarıldığında ise $\zeta_s=0.20$ 'ye göre artış gösterip 383.88 cm/s^2 değerini almıştır. Sylmar Depreminde üst yapı sönümünün orta katlardaki etkisine bakıldığında, üçüncü katta sönüm oranı $\zeta_s=0.05$ için 445.38 cm/s^2 iken üst yapı sönüm oranının $\zeta_s=0.10$ 'a çıkartılmasıyla % 13.69 azalarak 384.39 cm/s^2 'ye inmiştir. Sönüm oranının $\zeta_s=0.20$ 'ye çıkartılması durumunda ise $\zeta_s=0.05$ için bulunan değerden % 15.57 azalmış ancak $\zeta_s=0.20$ 'ye göre ise sadece % 2.2 azalarak 376.04 cm/s^2 olmuştur. Sönüm oranı $\zeta_s=0.30$ 'a çıkarıldığında ise $\zeta_s=0.05$ 'e göre % 17.70 azalmış diğer yandan $\zeta_s=0.20$ 'ye göre sadece % 0.16'lık bir azalma ile 375.42 cm/s^2 'ye inmiştir.

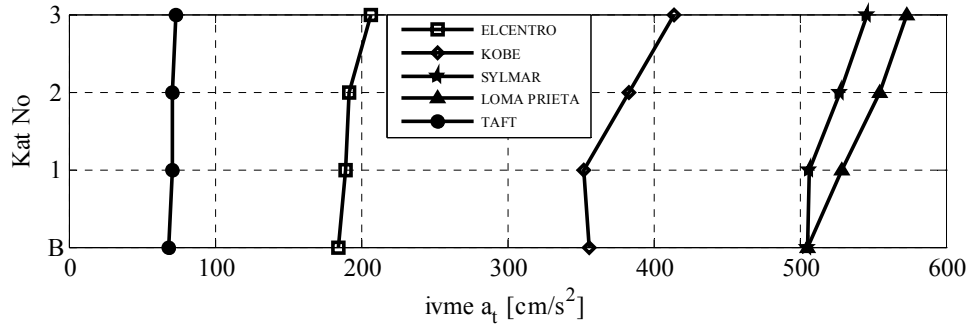


(a)

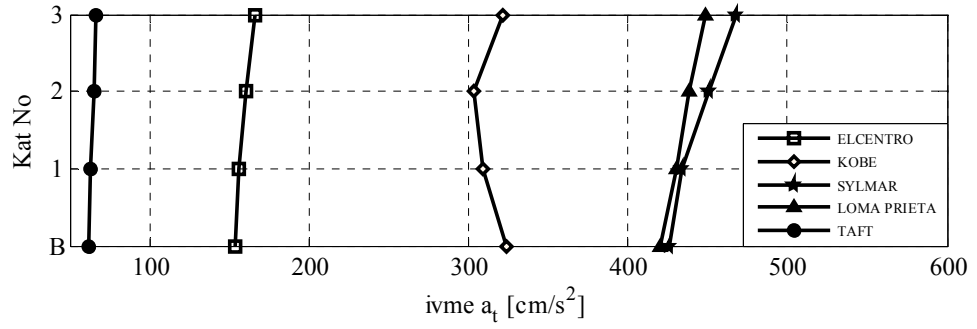


(b)

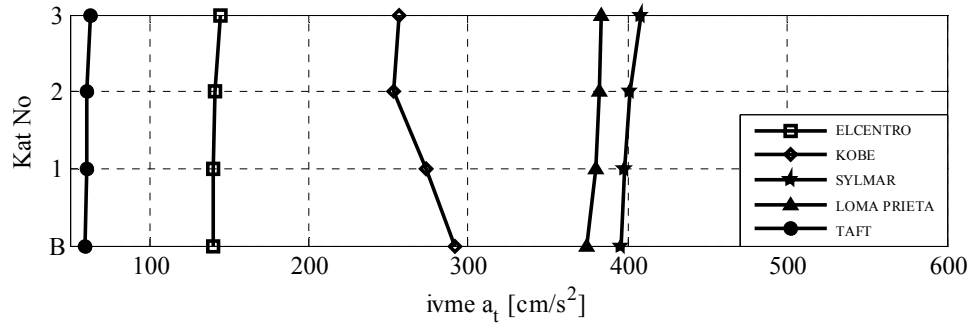
Şekil 5.1 Taban ankastre yapılara ait kat ivmeleri, a_t : (a) üç katlı yapı, (b) beş katlı yapı



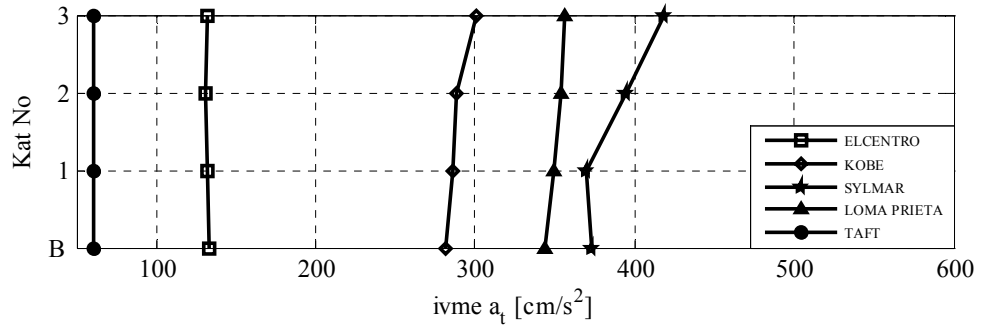
(a)



(b)



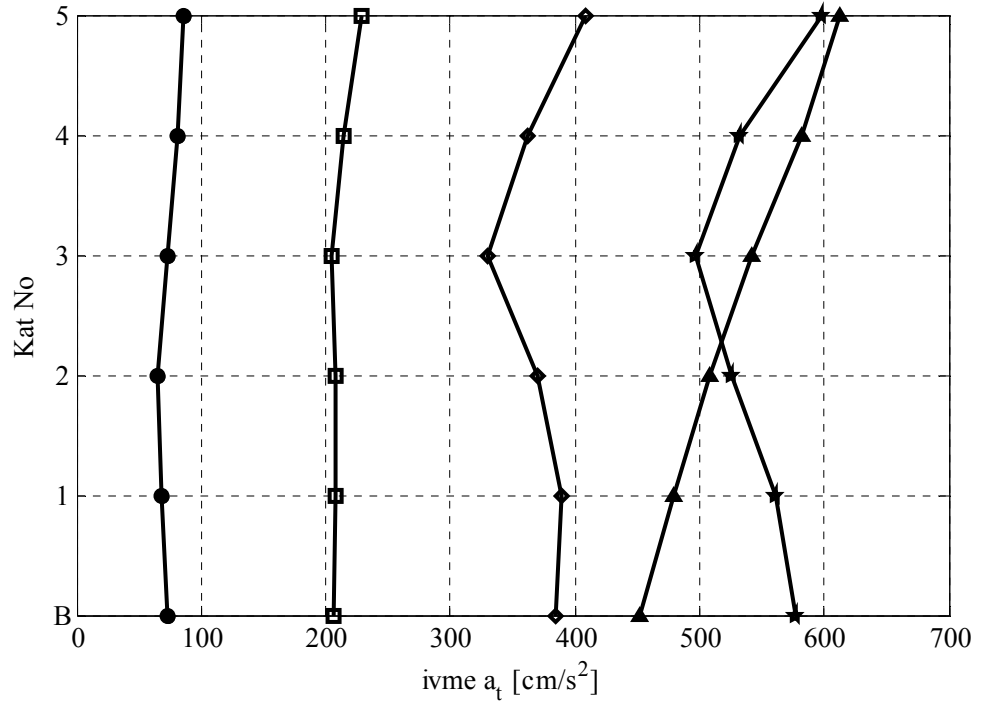
(c)



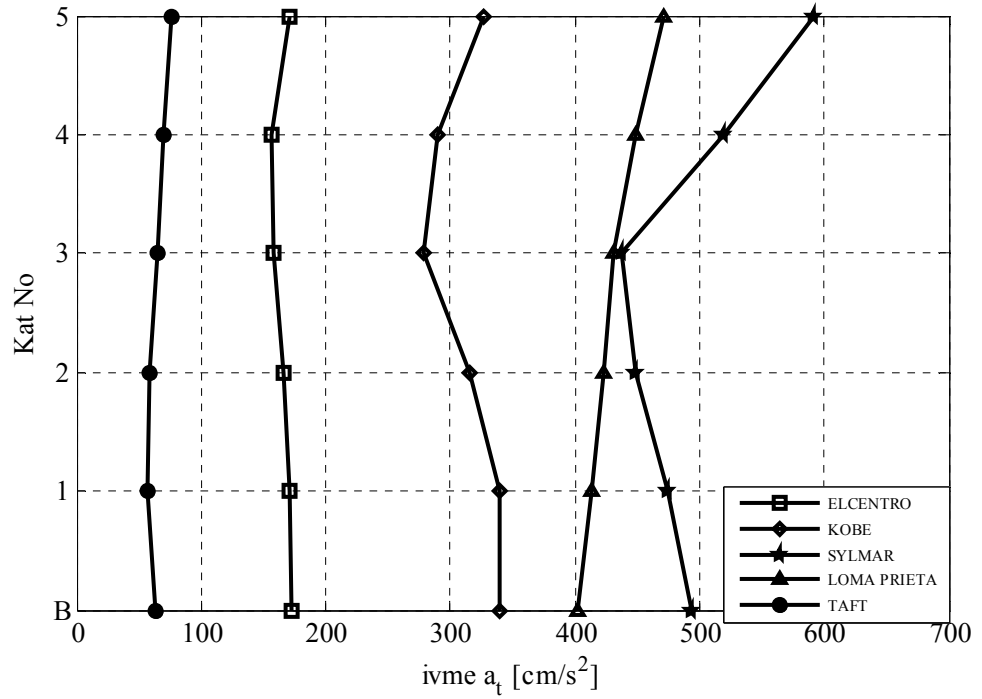
(d)

Şekil 5.2 Üç katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_1=2$ s.) yapıya ait kat ivmeleri, a_t :

(a) $\zeta=10\%$, (b) $\zeta=20\%$, (c) $\zeta=30\%$, (d) $\zeta=40\%$

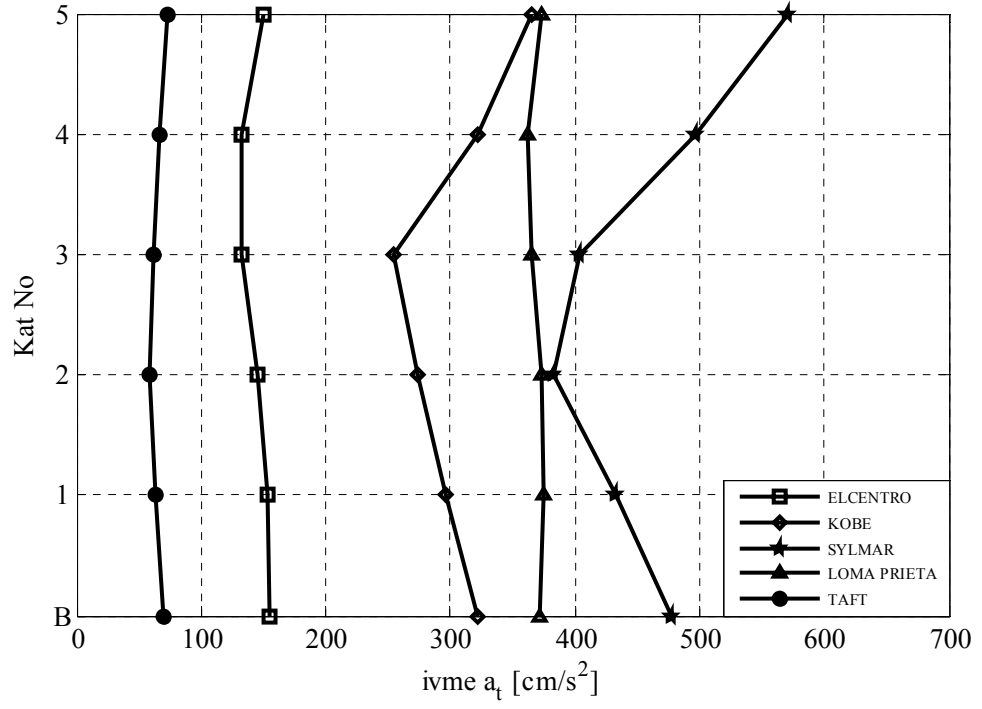


(a)

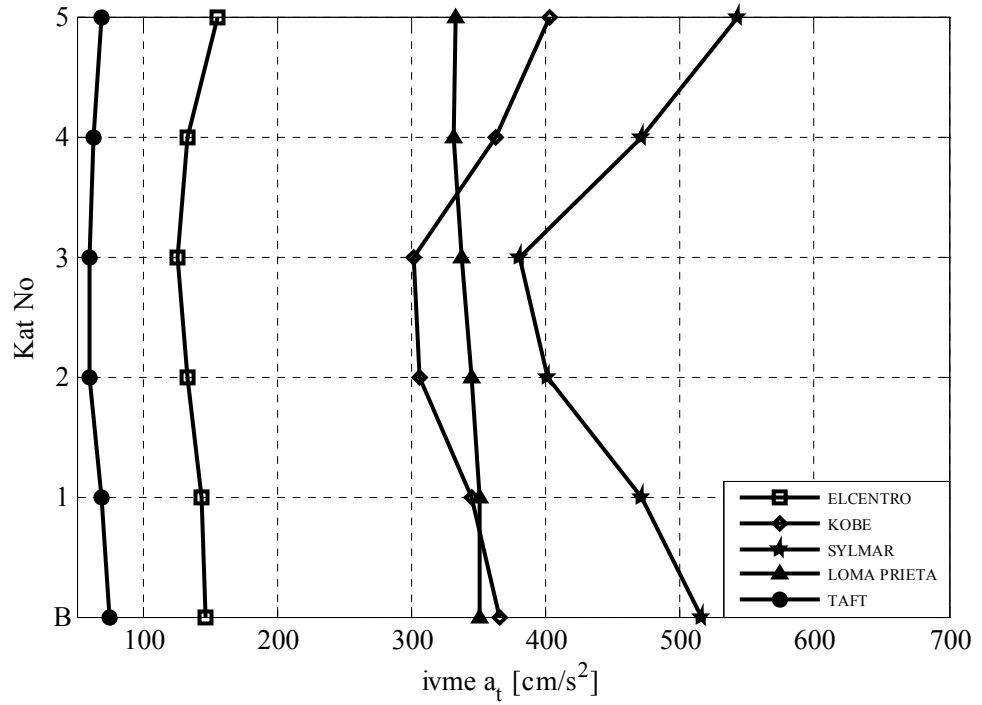


(b)

Şekil 5.3 Beş katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=2$ s.) yapıya ait kat ivmeleri, a_t :
 (a) $\zeta=\%10$, (b) $\zeta=\%20$

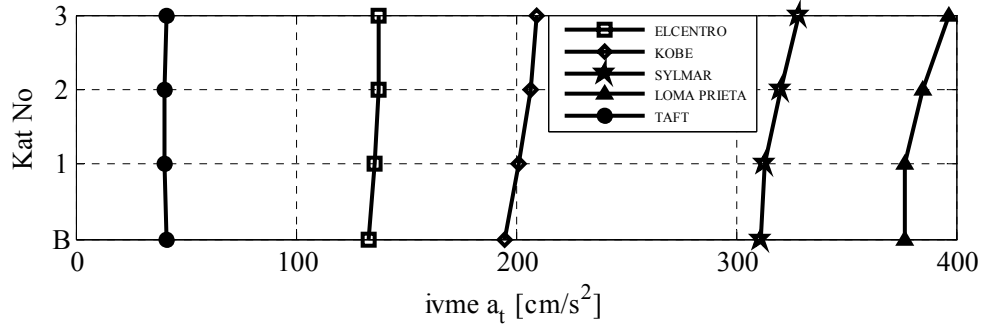


(a)

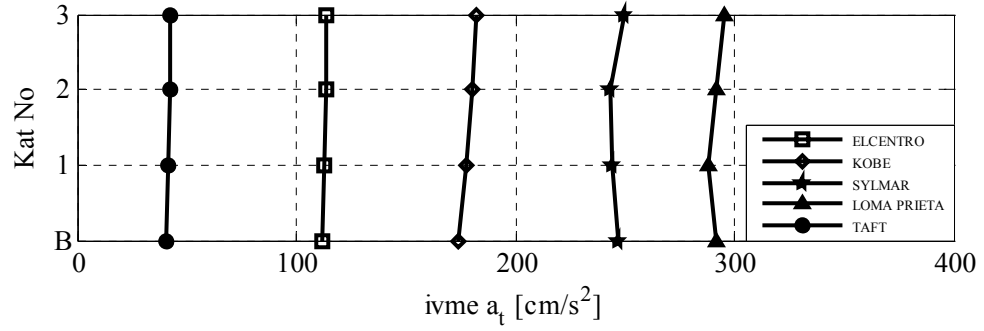


(b)

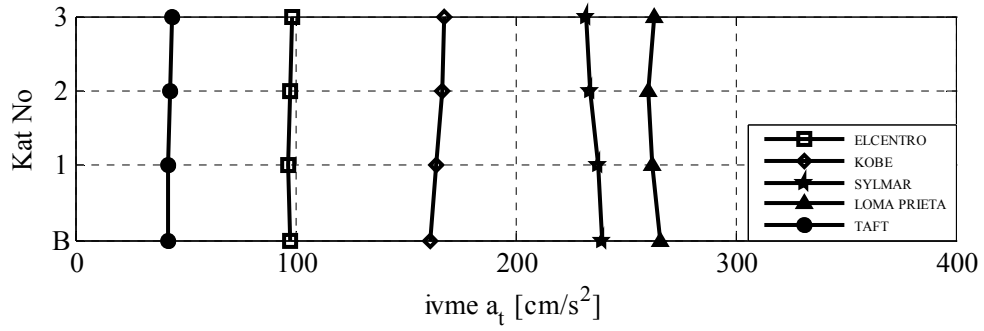
Şekil 5.4 Beş katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=2$ s.) yapıya ait kat ivmeleri, a_t :
 (a) $\zeta = \% 30$, (b) $\zeta = \% 40$



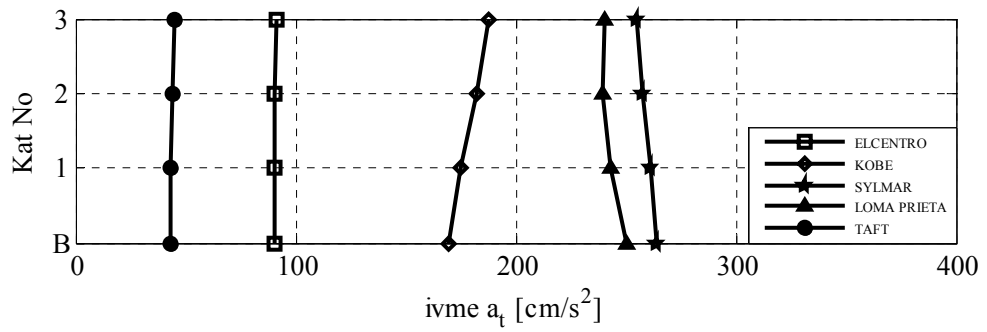
(a)



(b)

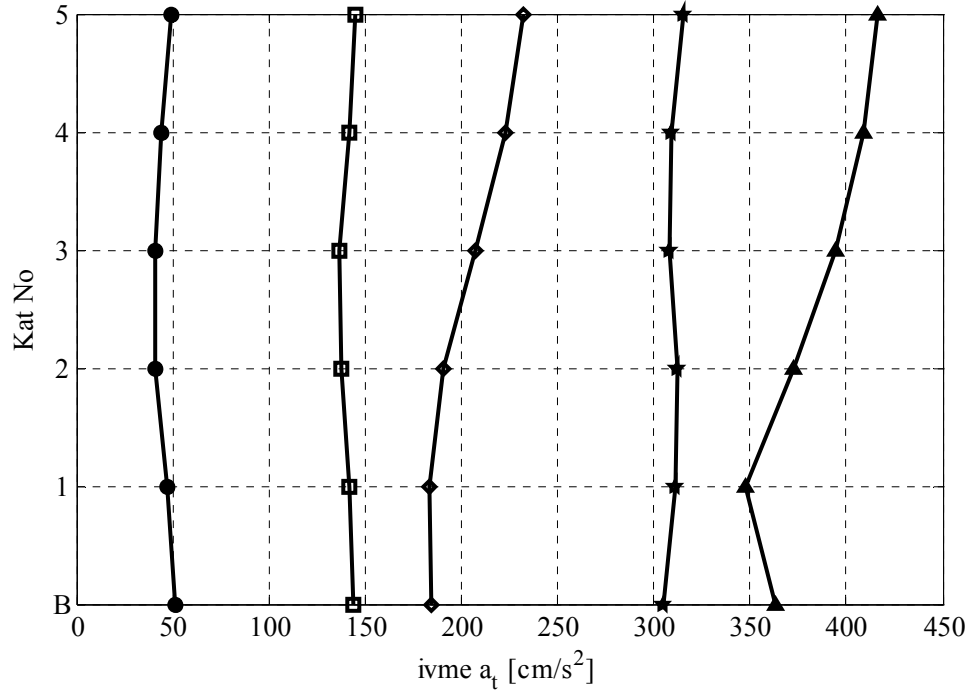


(c)

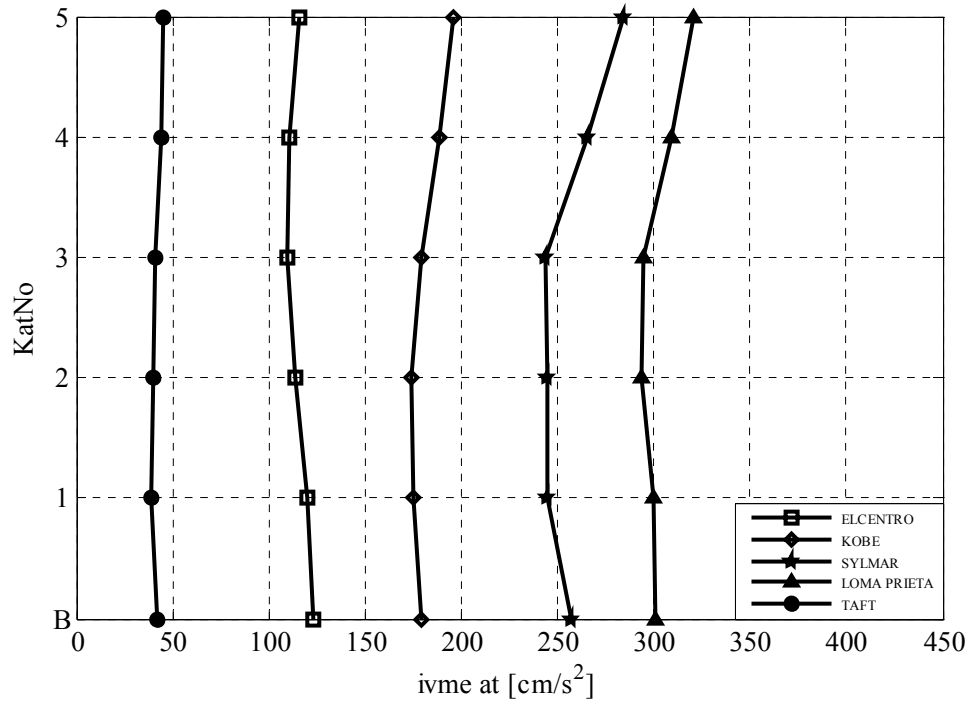


(d)

Şekil 5.5 Üç katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_f=3$ s.) yapıya ait kat ivmeleri, a_t :
 (a) $\zeta=\%10$, (b) $\zeta=\%20$, (c) $\zeta=\%30$, (d) $\zeta=\%40$

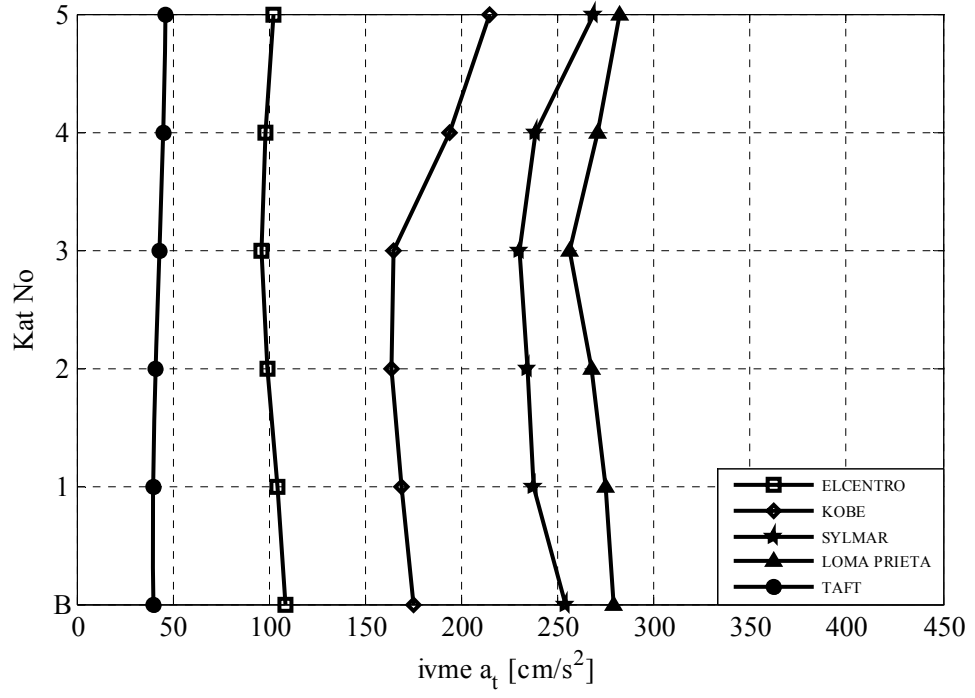


(a)

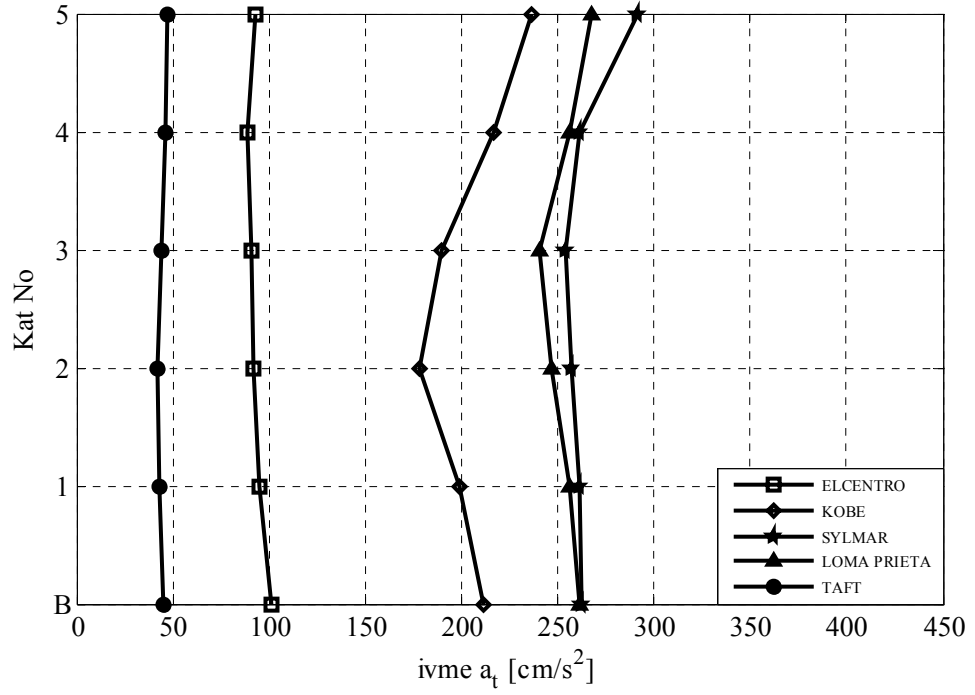


(b)

Şekil 5.6 Beş katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=3$ s.) yapıya ait kat ivmeleri, a_t :
 (a) $\zeta=10\%$, (b) $\zeta=20\%$

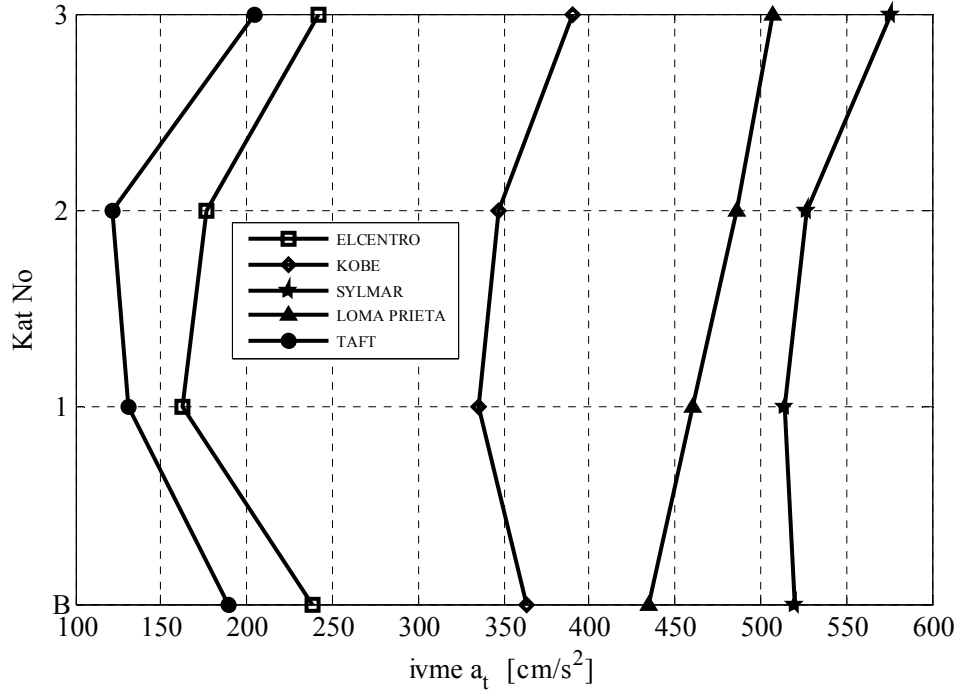


(a)

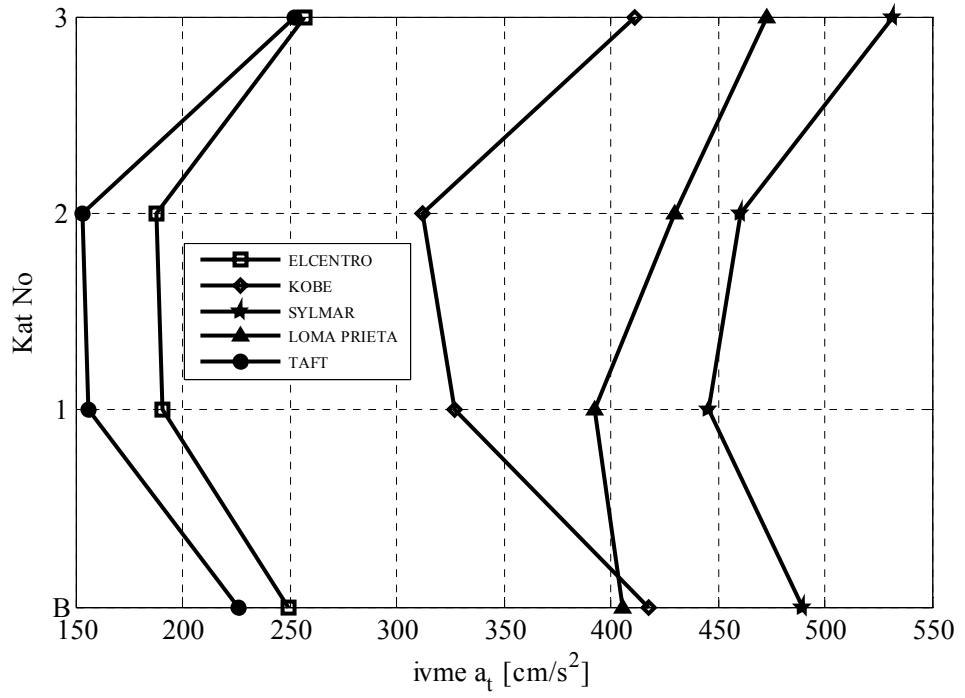


(b)

Şekil 5.7 Beş katlı, lineer izolasyon sistemli ($T_I=3$ s.) yapıya ait kat ivmeleri, a_t :
 (a) $\zeta=\%30$, (b) $\zeta=\%40$

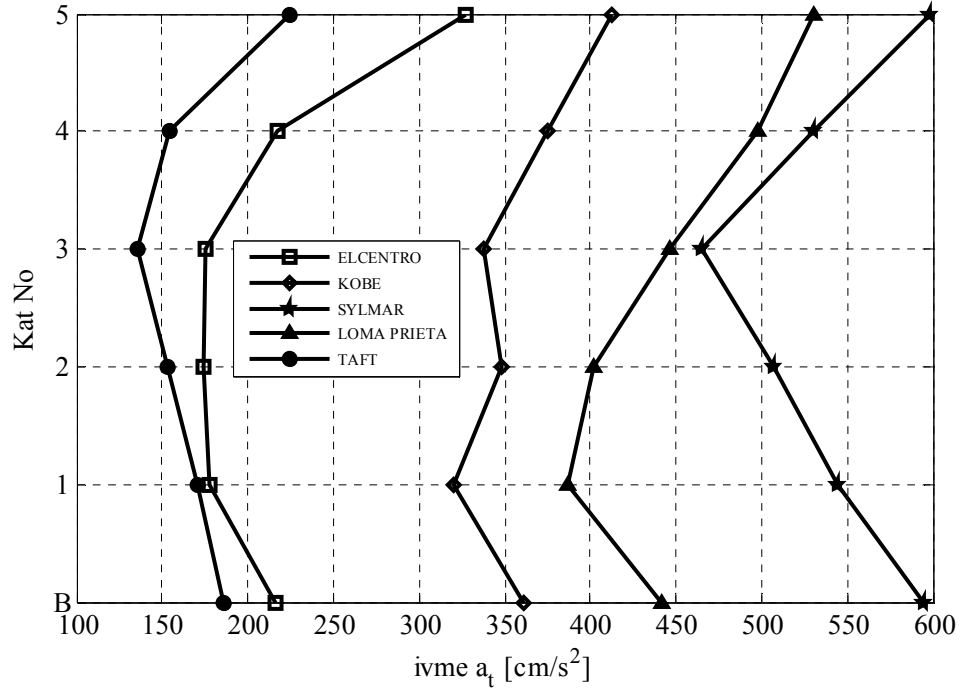


(a)

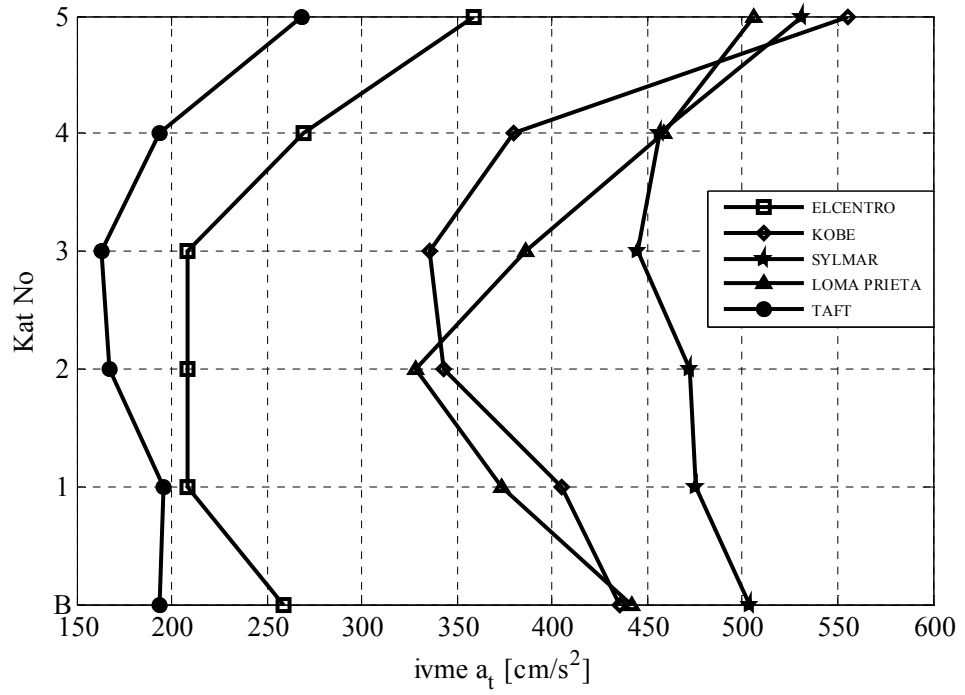


(b)

Şekil 5.8. Üç katlı ($\zeta_s=5\%$), lineer olmayan izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t :
 (a) yüksek sönümlü kauçuk, (b) kurşun çekirdekli kauçuk

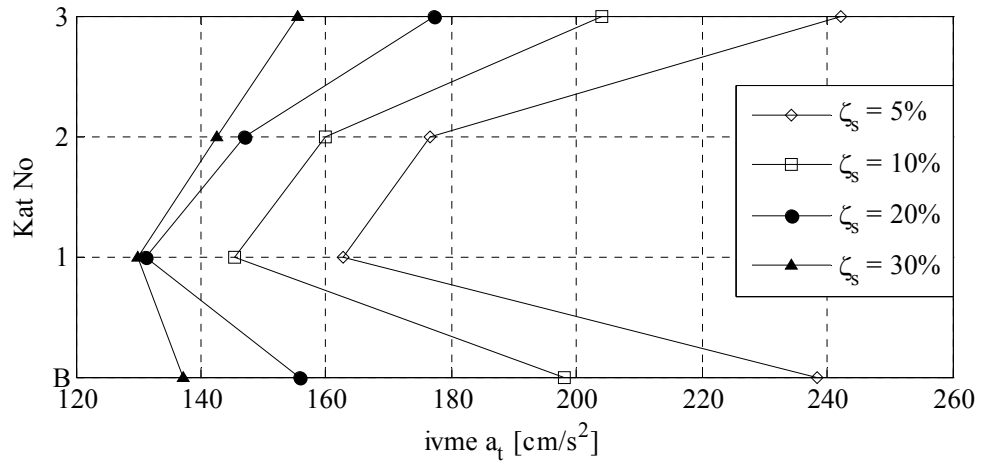


(a)

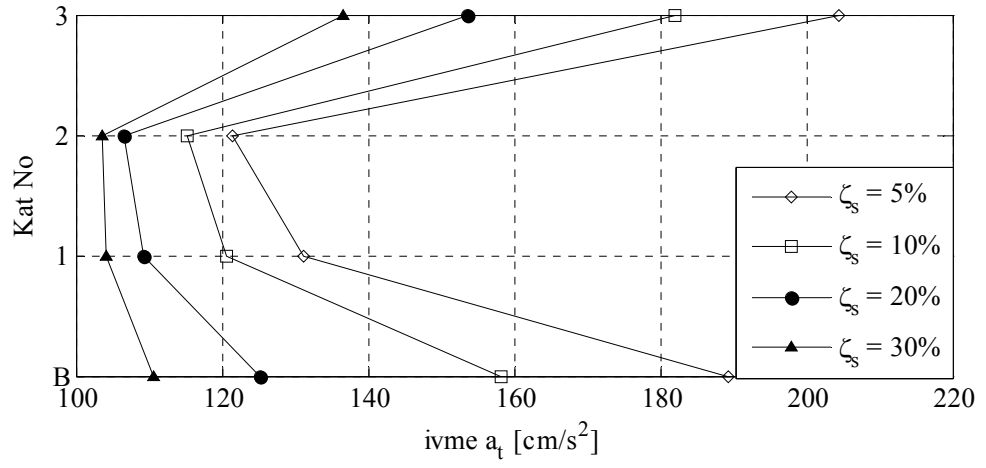


(b)

Şekil 5.9. Beş katlı ($\zeta_s=5\%$), lineer olmayan izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t :
 (a) yüksek sönümlü kauçuk, (b) kurşun çekirdekli kauçuk

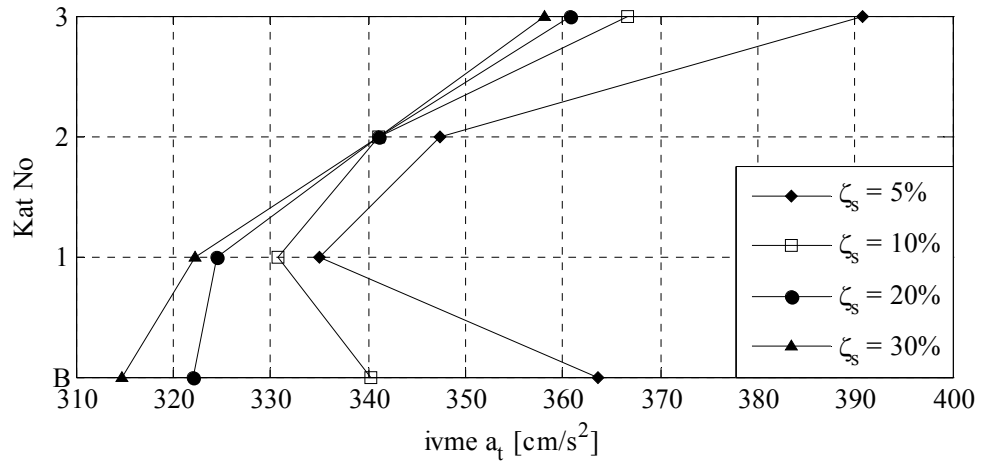


(a)

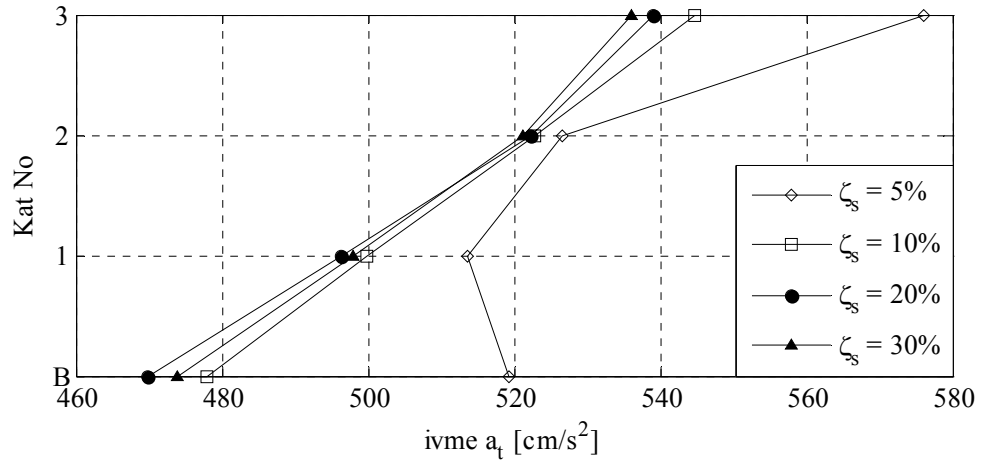


(b)

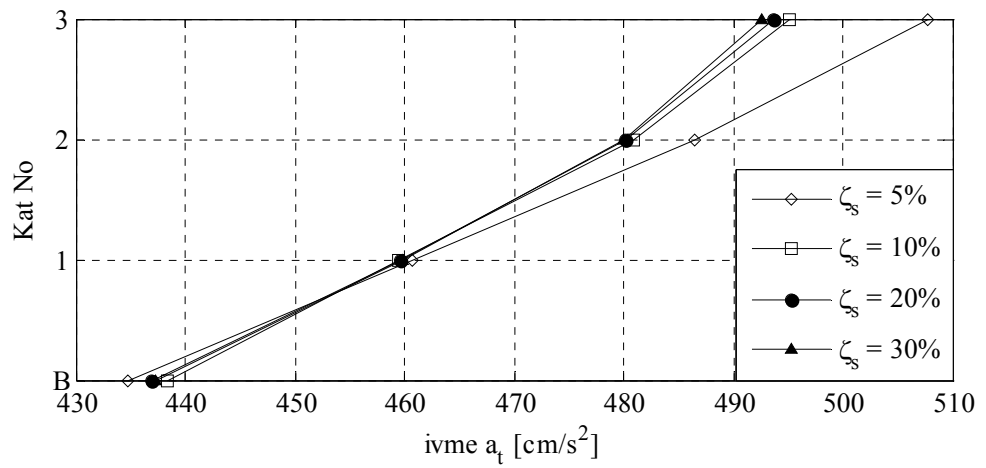
Şekil 5.10 Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için üç katlı, yüksek sönümlü kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t : (a) El Centro, (b) Taft



(a)

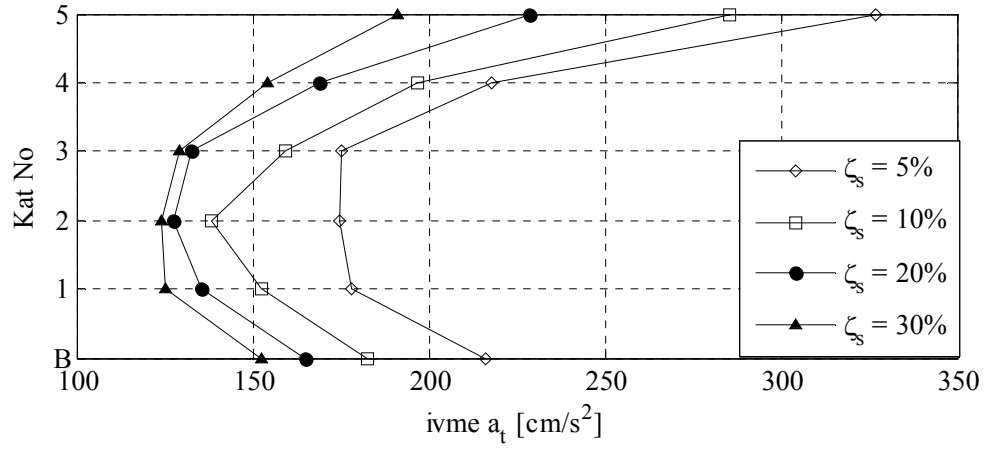


(b)

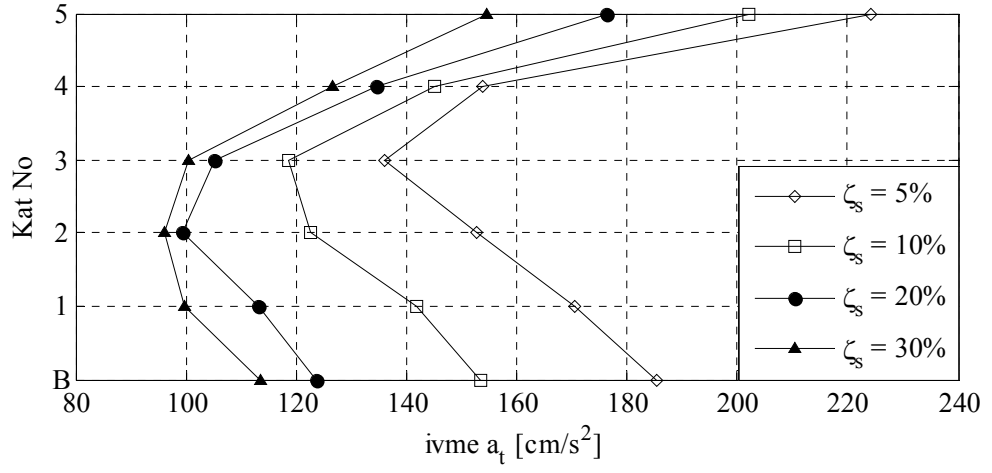


(c)

Şekil 5.11 Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için üç katlı, yüksek sönümlü kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t : (a) Kobe, (b) Sylmar, (c) Loma Prieta

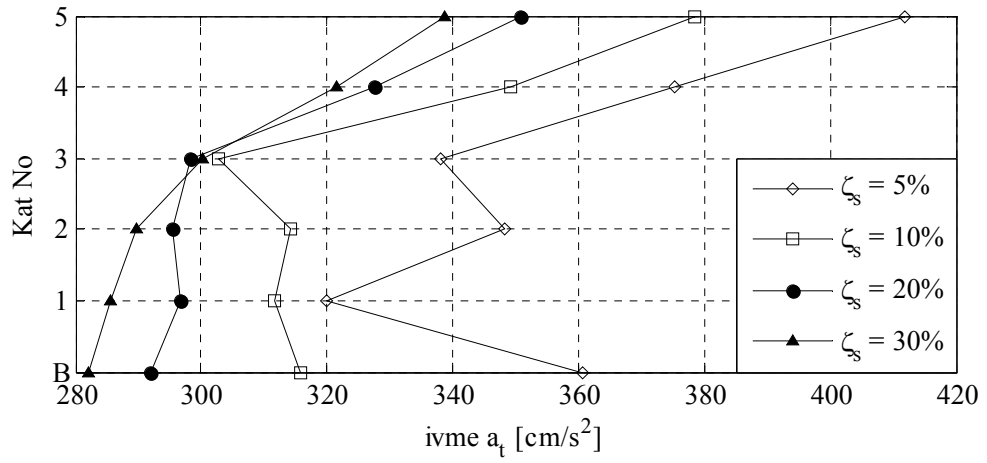


(a)

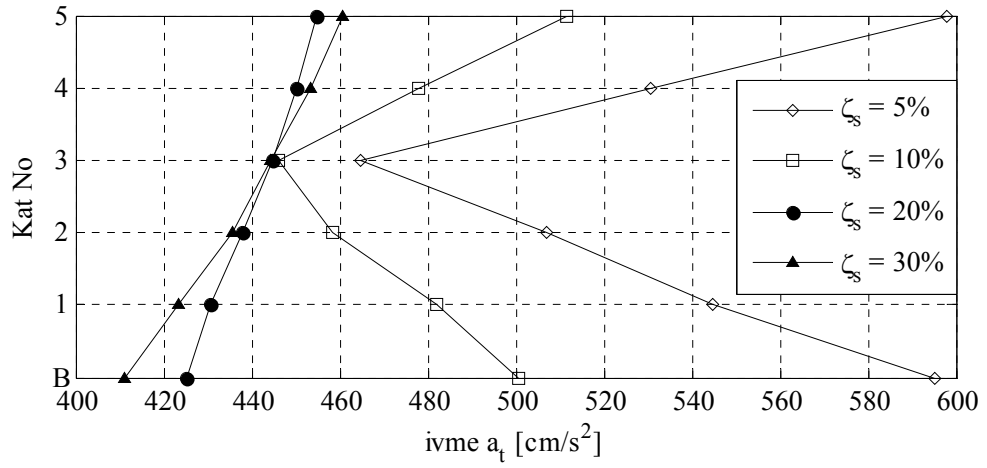


(b)

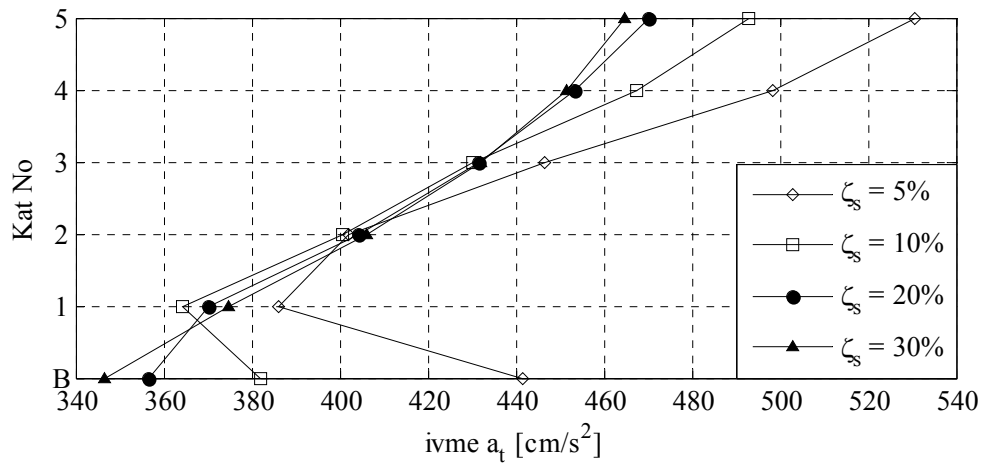
Şekil 5.12 Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için beş katlı, yüksek sönümlü kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t : (a) El Centro, (b) Taft



(a)

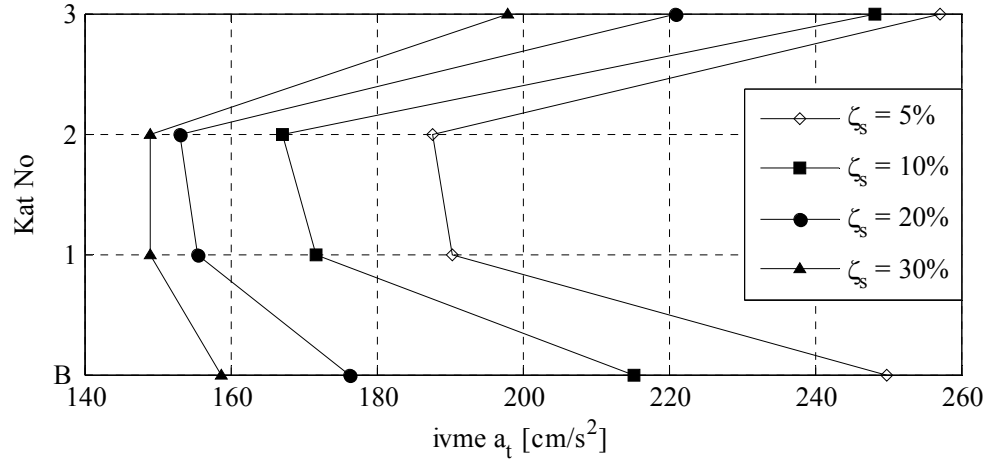


(b)

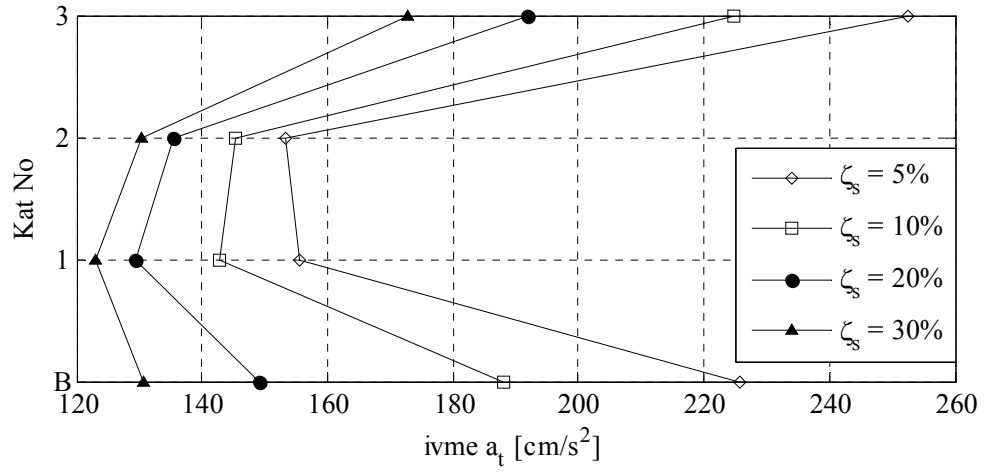


(c)

Şekil 5.13 Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için beş katlı, yüksek sönümlü kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t : (a) Kobe, (b) Sylmar, (c) Loma Prieta

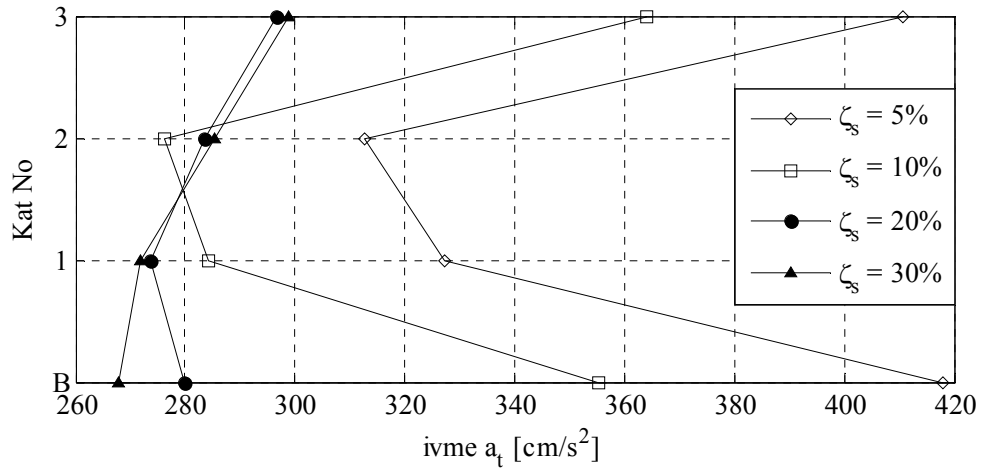


(a)

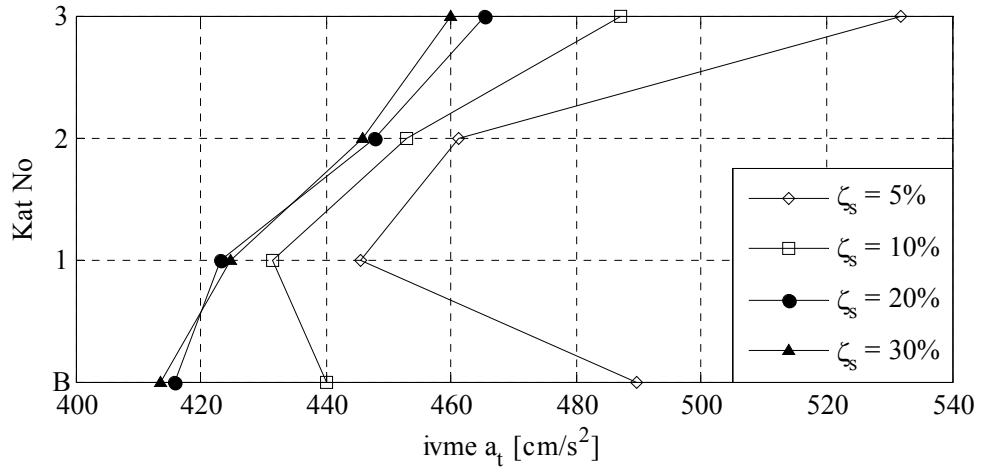


(b)

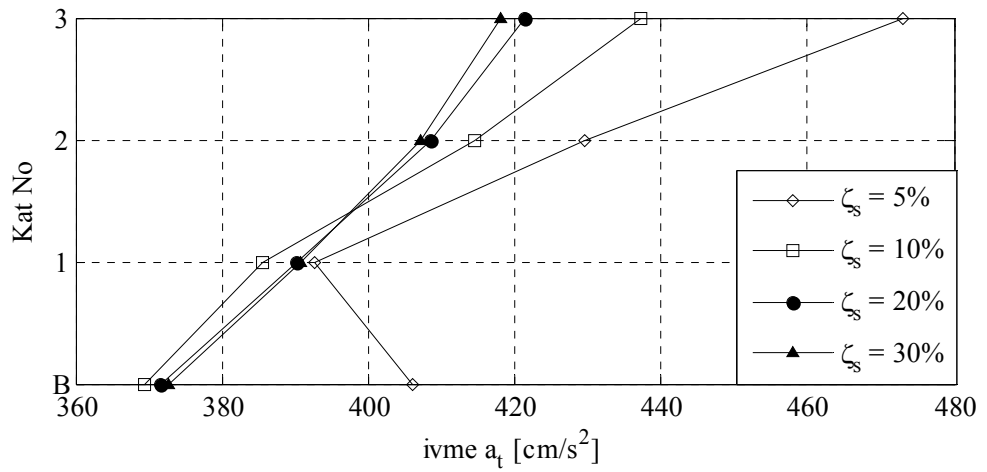
Şekil 5.14 Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için üç katlı, kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t : (a) El Centro, (b) Taft



(a)

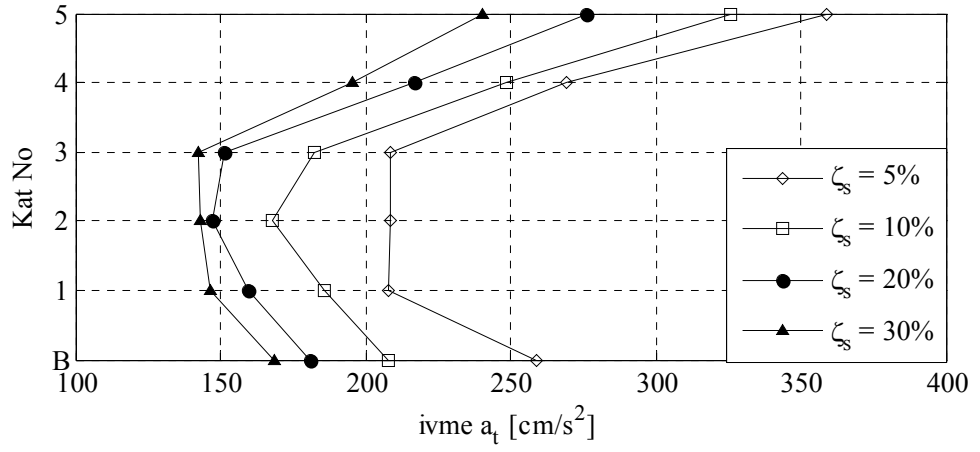


(b)

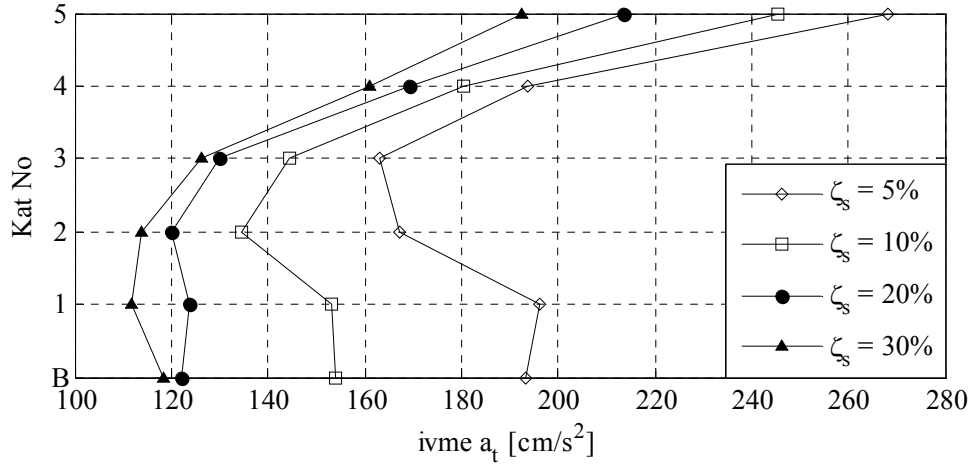


(c)

Şekil 5.15 Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için üç katlı, kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t : (a) Kobe, (b) Sylmar, (c) Loma Prieta

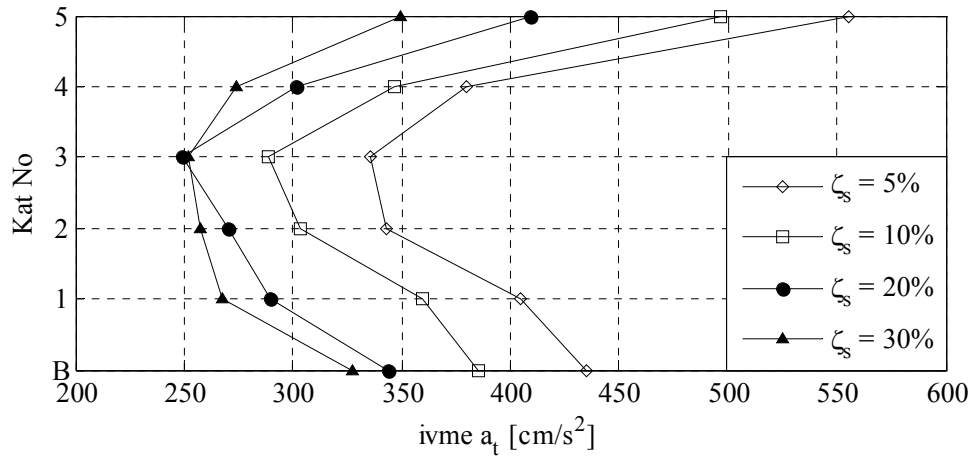


(a)

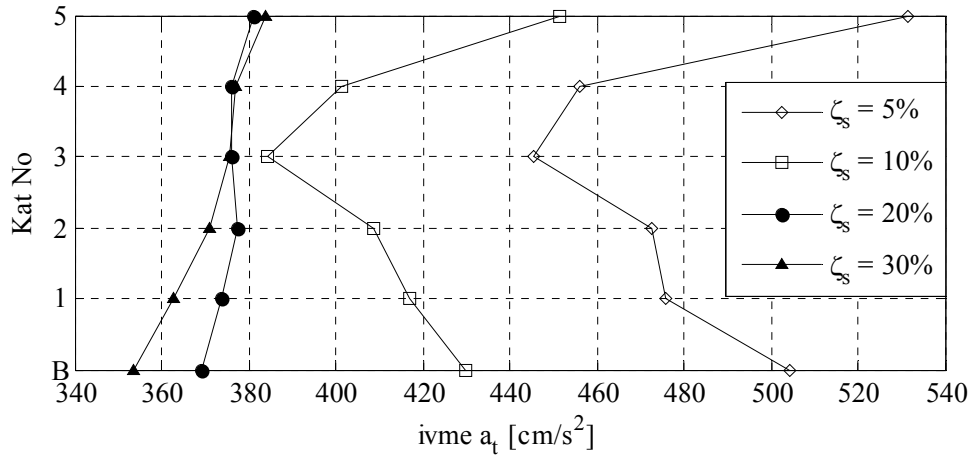


(b)

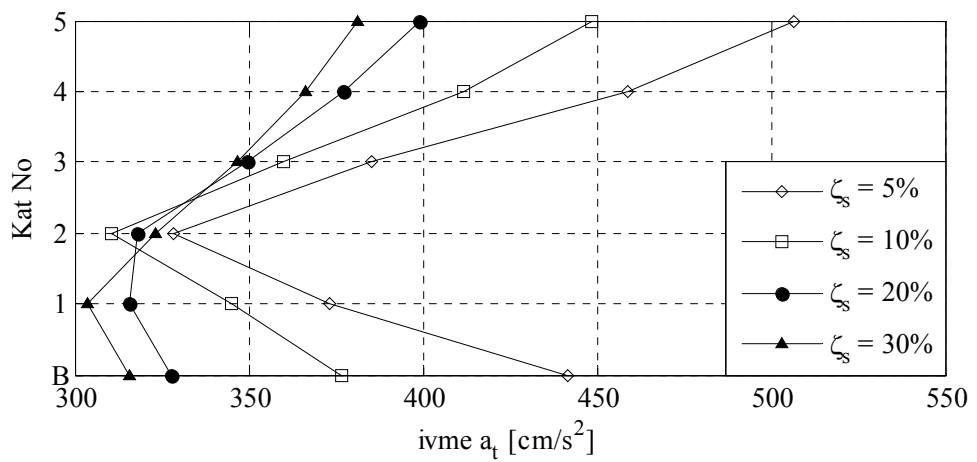
Şekil 5.16 Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için beş katlı, kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t : (a) El Centro, (b) Taft



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.17 Farklı üst yapı sönüm oranları (ζ_s) için beş katlı, kurşun çekirdekli kauçuk izolasyon sistemli yapıya ait kat ivmeleri, a_t : (a) Kobe, (b) Sylmar, (c) Loma Prieta

Tablo 5.1 Üç katlı lineer izolasyon sistemli yapılara ait kat ivmeleri, a_i (cm/s²)

Deprem Kaydı	Kat No ⁽¹⁾	Taban Ankastre	T ₁ =2 S					T ₁ = 3 S			
		ζ _s =0.05	ζ _i =0.10	ζ _i =0.20	ζ _i =0.30	ζ _i =0.40	ζ=0.10	ζ _i =0.20	ζ _i =0.30	ζ _i =0.40	
ELCENTRO a _g = 347.14	B	-	184.20	154.06	140.20	133.68	133.42	112.03	97.35	90.63	
	1	494.78	190.00	156.28	140.09	132.27	135.48	112.37	97.17	90.65	
	2	731.66	192.09	160.82	141.57	131.39	137.61	113.41	97.73	90.64	
	3	1009.33	206.58	166.49	144.35	131.79	138.11	114.14	98.54	90.92	
TAFT a _g = 215.30	B	-	69.13	61.51	59.93	60.86	41.19	41.05	42.22	43.28	
	1	310.36	70.53	63.09	60.66	61.19	40.55	41.64	42.70	43.47	
	2	568.37	70.61	64.93	60.65	61.23	40.83	42.08	43.34	44.10	
	3	706.52	73.08	66.74	62.61	61.21	41.67	42.34	43.95	44.68	
LOMA PRIETA a _g = 651.46	B	-	505.89	419.92	374.28	343.94	41.67	42.34	43.95	44.68	
	1	1162.96	529.56	430.08	379.48	349.32	377.13	287.90	262.72	243.59	
	2	2055.18	554.62	437.86	381.87	353.75	384.76	291.80	260.88	239.47	
	3	2554.96	573.00	448.26	382.92	356.01	397.04	295.86	263.36	240.18	
KOBE a _g = 847.66	B	-	356.34	323.41	291.36	281.80	195.37	174.06	161.65	169.36	
	1	1491.10	352.49	309.50	274.02	285.64	201.21	177.52	164.18	174.81	
	2	2272.20	382.85	303.74	253.32	288.67	206.40	180.47	166.38	182.27	
	3	2808.54	414.69	321.53	256.18	300.31	209.12	182.44	167.40	187.30	
SYLMAR a _g = 827.35	B	-	505.81	425.40	396.09	373.61	311.37	246.96	239.37	264.36	
	1	1446.45	506.67	433.72	398.43	369.77	313.08	244.65	237.36	261.66	
	2	2641.96	527.54	451.31	401.65	394.10	320.18	243.50	234.54	257.95	
	3	3155.29	546.82	467.42	407.83	418.45	328.35	249.64	232.27	255.19	

⁽¹⁾ B: izolasyon katı, 1: birinci kat, 2: ikinci kat, 3: üçüncü kat

Tablo 5.2 Beş katlı lineer izolasyon sistemli yapılara ait kat ivmeleri, a_i (cm/s²).

Deprem Kaydı	Kat No ⁽¹⁾	Taban Ankastre	T ₁ =2 S					T ₁ = 3 S			
		ζ _s =0.05	ζ _i =0.10	ζ _i =0.20	ζ _i =0.30	ζ _i =0.40	ζ _i =0.10	ζ _i =0.20	ζ _i =0.30	ζ _i =0.40	
ELCENTRO Max. a _g = 347.14	B	-	206.44	172.42	155.54	146.45	144.40	123.15	108.20	100.95	
	1	388.65	208.64	171.65	153.06	142.97	141.98	119.77	104.41	95.33	
	2	683.63	207.32	165.84	144.72	133.33	137.26	113.72	98.81	91.77	
	3	694.44	205.37	157.49	132.85	124.90	136.27	109.36	95.84	91.20	
	4	785.20	213.56	157.27	132.01	133.28	142.36	111.09	97.85	88.43	
	5	1077.61	228.43	170.70	150.71	155.04	144.91	115.42	102.37	93.35	
TAFT Max. a _g = 215.30	B	-	72.82	63.22	70.59	75.26	51.33	41.65	40.35	45.14	
	1	231.35	68.36	56.94	63.27	68.16	47.57	38.48	39.56	43.29	
	2	300.12	65.41	58.78	58.44	59.80	40.93	39.69	40.92	42.61	
	3	305.80	73.18	64.84	61.46	59.25	40.60	41.48	43.25	44.26	
	4	397.78	80.46	69.60	65.99	62.58	44.05	43.72	45.41	46.26	
	5	447.67	85.65	76.28	73.52	68.95	49.11	45.41	46.73	47.60	
LOMAPRIETA Max. a _g = 651.46	B	-	451.77	402.52	371.87	349.99	363.73	300.87	278.69	260.91	
	1	1007.14	478.51	412.77	375.15	350.82	347.60	299.42	275.26	256.00	
	2	1501.22	508.64	422.67	372.74	344.96	372.63	293.54	267.23	246.54	
	3	2003.45	542.41	430.78	365.80	336.30	394.84	294.19	255.84	240.34	
	4	2579.29	582.75	448.80	362.30	330.53	408.82	309.28	270.24	255.88	
	5	2934.28	612.97	471.59	374.07	332.46	416.53	320.85	282.59	267.85	
KOBE Max. a _g = 847.66	B	-	384.39	339.08	322.23	365.61	184.20	178.87	175.48	211.03	
	1	1101.45	390.04	339.14	297.02	343.86	183.38	175.23	168.42	198.66	
	2	1794.82	369.84	315.28	274.02	305.17	190.43	173.72	164.14	177.86	
	3	2492.00	330.47	278.63	254.75	301.48	207.13	179.60	164.41	190.07	
	4	2894.01	362.73	289.98	321.23	362.25	222.55	189.10	193.48	217.00	
	5	3142.26	408.30	327.44	365.22	403.30	232.67	196.26	214.64	236.23	
SYLMAR Max. a _g = 827.35	B	-	576.94	493.33	478.23	516.10	305.41	257.59	253.82	262.81	
	1	1048.05	560.37	474.89	432.79	471.34	311.32	244.32	237.24	260.96	
	2	914.93	525.52	448.71	382.90	401.54	312.21	244.38	234.33	257.68	
	3	1207.13	496.89	436.73	403.87	379.89	307.90	243.50	230.49	254.26	
	4	1744.94	532.62	518.74	497.47	470.84	308.75	265.86	238.63	261.08	
	5	2017.71	598.28	591.95	570.59	542.74	315.44	284.18	268.98	291.87	

⁽¹⁾B: izolasyon katı, 1: birinci kat, 2: ikinci kat, 3: üçüncü kat, 4:dördüncü kat, 5: beşinci kat

Tablo 5.3 Üç katlı lineer olmayan izolasyon sistemli yapılara ait kat ivmeleri, $a_t(\text{cm/s}^2)$

Deprem Kaydı	Kat No ⁽¹⁾	Taban Ankastre	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet				Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet			
		ζ _s =0.05	ζ _s =0.05	ζ _s =0.10	ζ _s =0.20	ζ _s =0.30	ζ _s =0.05	ζ _s =0.10	ζ _s =0.20	ζ _s =0.30
ELCENTRO Max. a _g = 347.14	B	-	238.36	198.17	155.64	137.32	249.95	215.26	176.30	158.71
	1	494.78	162.72	145.23	131.29	129.94	190.44	171.87	155.50	149.05
	2	731.66	176.66	159.94	146.93	142.47	187.73	167.05	153.24	148.95
	3	1009.33	242.22	203.90	177.14	155.62	257.12	248.30	220.83	197.86
TAFT Max. a _g = 215.30	B	-	189.20	158.36	125.38	110.77	225.87	187.99	149.10	130.61
	1	310.36	131.16	120.75	109.24	104.32	155.64	142.94	129.44	123.03
	2	568.37	121.60	115.39	106.74	103.77	153.44	145.30	135.48	130.42
	3	706.52	204.50	182.13	153.70	136.59	252.37	224.70	192.04	172.78
LOMA PRIETA Max. a _g = 651.46	B	-	434.81	438.38	436.97	437.30	406.04	369.40	371.69	372.77
	1	1162.96	460.74	459.41	459.60	459.84	392.66	385.44	390.29	390.84
	2	2055.18	486.52	480.97	480.16	479.92	429.67	414.50	408.54	407.21
	3	2554.96	507.70	495.22	493.63	492.65	473.08	437.34	421.23	418.00
KOBE Max. a _g = 847.66	B	-	363.58	340.31	322.10	314.78	418.09	355.34	280.01	267.85
	1	1491.10	335.10	330.76	324.54	322.26	327.29	284.12	273.73	271.98
	2	2272.20	347.44	341.07	341.16	341.10	312.48	276.21	283.38	285.22
	3	2808.54	390.73	366.64	360.74	358.15	410.80	364.11	296.69	298.98
SYLMAR Max. a _g = 827.35	B	-	519.40	477.91	469.93	473.99	489.67	440.18	415.69	413.69
	1	1446.45	513.66	499.97	496.45	497.91	445.59	431.41	423.32	424.93
	2	2641.96	526.56	522.82	522.18	521.15	461.12	452.95	447.89	445.94
	3	3155.29	576.21	544.84	539.03	536.16	531.84	486.98	465.48	459.93

⁽¹⁾B: izolasyon katı, 1: birinci kat, 2: ikinci kat, 3: üçüncü kat (Bkz Şekil 4.2)

Tablo 5.4 Beş katlı lineer olmayan izolasyon sistemli yapılara ait kat ivmeleri, $a_i(\text{cm/s}^2)$

Deprem Kaydı	Kat No ⁽¹⁾	Taban Ankastre	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet					Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet			
		ζ _s =0.05	ζ _s =0.05	ζ _s =0.10	ζ _s =0.20	ζ _s =0.30	ζ _s =0.05	ζ _s =0.10	ζ _s =0.20	ζ _s =0.30	
ELCENTRO Max. a _g = 347.14	B	-	216.11	182.69	165.20	152.55	259.12	207.64	180.72	168.91	
	1	388.65	178.06	152.56	135.35	125.41	208.18	185.65	159.89	146.85	
	2	683.63	174.60	138.40	127.33	124.26	208.39	168.20	147.26	142.91	
	3	694.44	175.09	159.31	132.81	129.36	208.63	182.32	151.48	142.73	
	4	785.20	217.62	197.06	169.08	154.33	269.56	248.30	216.85	195.29	
	5	1077.61	327.07	285.50	228.58	191.41	358.64	325.63	276.23	240.45	
TAFT Max. a _g = 215.30	B	-	185.40	153.50	123.62	113.45	193.34	154.15	122.13	118.39	
	1	231.35	170.53	141.97	113.18	99.86	196.10	153.31	123.63	111.61	
	2	300.12	152.60	122.57	99.34	96.05	167.40	134.41	119.88	113.68	
	3	305.80	136.02	118.79	105.29	100.44	163.25	144.61	130.08	126.07	
	4	397.78	153.75	145.29	134.68	126.53	193.54	180.40	169.38	160.84	
	5	447.67	224.25	201.99	176.19	154.57	268.10	245.54	213.64	192.54	
LOMAPRIETA Max. a _g = 651.46	B	-	441.81	381.89	356.43	346.46	441.75	376.73	328.16	315.91	
	1	1007.14	386.35	364.45	370.14	374.55	373.27	344.84	315.65	303.82	
	2	1501.22	402.23	400.78	404.24	406.08	328.21	310.39	318.20	323.40	
	3	2003.45	446.71	430.29	431.80	432.21	385.58	360.28	349.62	346.88	
	4	2579.29	498.25	467.64	453.50	451.72	458.73	411.72	377.26	366.40	
	5	2934.28	530.65	493.06	470.05	464.94	506.42	448.82	399.30	381.27	
KOBE Max. a _g = 847.66	B	-	360.53	315.88	292.05	281.91	435.10	385.56	344.27	327.28	
	1	1101.45	320.08	311.56	296.57	285.66	404.66	359.30	289.82	267.84	
	2	1794.82	348.41	314.07	295.35	289.65	342.75	303.40	270.44	257.26	
	3	2492.00	338.07	302.75	298.27	300.26	335.82	288.90	249.25	252.10	
	4	2894.01	375.26	349.20	327.47	321.42	379.77	346.40	301.86	273.76	
	5	3142.26	411.96	378.63	350.82	338.66	555.05	496.47	408.98	349.60	
SYLMAR Max. a _g = 827.35	B	-	595.13	500.61	425.02	411.00	504.28	429.80	369.24	353.53	
	1	1048.05	544.95	482.10	430.79	423.54	475.93	417.03	373.63	362.79	
	2	914.93	506.85	458.59	438.16	435.69	472.78	408.66	377.33	371.11	
	3	1207.13	464.95	446.03	444.83	444.32	445.38	384.39	376.04	375.42	
	4	1744.94	530.50	477.89	450.29	453.37	456.11	401.40	375.95	376.86	
	5	2017.71	597.76	511.50	454.64	460.50	531.44	451.57	381.21	383.88	

⁽¹⁾B: izolasyon katı, 1: birinci kat, 2: ikinci kat, 3: üçüncü kat, 4:dördüncü kat, 5: beşinci kat (Bkz Şekil

4.3)

6. SONUÇLAR

Özellikle, deprem sırasında ve sonrasında işlevini sürdürmesi hayati önem taşıyan; hastane, laboratuvar, veri toplama merkezi gibi stratejik öneme sahip yapıların işlevlerinin kesintiye uğramamaları için, bu yapılarda bulunan titreşime karşı duyarlı hassas cihazların deprem titreşimlerinden kesinlikle korunmaları gerekmektedir. Bu amaçla, sismik taban izolasyonu ve ek sönümleyicilerin kullanılması bu tür stratejik binaların tasarımında etkin bir yöntem olabilir. Bu tezde, seçilen üç ve beş katlı prototip yapıların hassas cihazlara hasar verebilecek kat ivmelerinin sismik izolasyon yöntemi kullanılarak ve üst yapının ek sönümleyiciler ile enerji yutma kapasitesinin de artırılmasıyla ne derece azaltılabileceği incelenmiş ve bulunan sonuçlar şu şekilde özetlenmiştir:

- 1) Taban ankastre ve sismik izolasyonlu binalarda yakın mesafe depremleri için bulunan kat ivmelerinin uzak mesafe depremleri için buluna kat ivmelerinden belirgin bir şekilde büyük olduğu gözlenmiştir.
- 2) Taban ankastre yapılarda yer ivmeleri üst katlara artarak aktarılmış ve kat ivmelerinin yükseklik boyunca üst katlara doğru sürekli olarak arttığı görülmüştür. Hesaplanan en büyük kat ivme değerleri titreşime hassas olan pek çok cihazın hasar görmeden ve çalışmasına ara vermeden dayanabileceği ivme değerlerinin üzerindedir.
- 3) Sismik izolasyonlu binalarda kat ivmelerinin yapıların temellerine gelen yer ivmelerinden de küçük değerlere çekildiği görülmüştür. Dolayısıyla sismik izolasyon sayesinde binaların deprem performanslarında çok önemli bir artış meydana gelmektedir.

4) Sismik izolasyonlu yapılarda, bina yüksekliği boyunca en büyük kat ivme değişimleri taban ankastre yapılardan farklılık sergileyerek her zaman üst katlara doğru sürekli olarak artış göstermemiştir.

5) Lineer izolasyon sistemlerinin kullanıldığı binalarda ve uzak mesafe depremlerde özellikle uzun izolasyon periyotları ve yüksek izolasyon sönüm oranları için kat ivmeleri yükseklik boyunca neredeyse hiç değişmeyerek sabit kalmıştır. Yakın mesafe depremlerde ise orta katlarda izolasyon katına göre bir azalma ve daha sonra üst katlarda tekrar bir artış görülmüştür.

6) Lineer olmayan izolasyon sistemlerinin kullanıldığı binalarda lineer izolasyon sistemlerinin kullanıldığı binalarda gözlenen durumdan farklı olarak hem yakın mesafe hem de uzak mesafe depremlerde orta katlarda izolasyon katına göre bir azalma ve daha sonra üst katlarda tekrar bir artış görülmüştür.

7) Yukarıda altıncı ve yedinci maddelerde özetlenen davranış göz önüne alındığında, titreşime hassas cihazların izolasyon katına ve en üst kata yerleştirilmemesi gerektiği sonucu doğmaktadır. İvmelerin izolasyonlu yapılarda görece olarak daha düşük seviyede olduğu katlar orta katlar olarak ortaya çıkmıştır ve bu katlar titreşime hassas cihazların yerleştirilmesi açısından en uygun olan katlardır.

8) İzolasyon sönüm oranının artırılması genel olarak kat ivmelerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ancak, izolasyon sönüm oranının kat ivmelerinin azaltılmasındaki etkinliği sönüm oranı arttıkça azalmakta hatta bazı durumlarda artan izolasyon sönüm oranı kat ivmelerinde artışa sebebiyet verebilmektedir. Dolayısıyla, izolasyon sistemindeki sönüm oranının yapının ivme performansı açısından optimum bir değeri olduğu ve sönüm oranının sürekli olarak artırılmasının kat ivmelerini her zaman azaltmayacağı; tersine arttırabileceği söylenebilir.

9) Üst yapı sönümünün artması ile genel olarak kat ivmeleri ve katlar arası ivme farklarının azaldığı görülmüştür. Üst yapı sönümünün artması ile yükseklik boyunca kat ivmelerinin değişimi daha düzenli hale gelmektedir.

10) Üst yapı sönümü arttıkça elde edilen ivme azalım oranı azalmaktadır ve hatta üst yapı sönüm oranlarının belli seviyelerin üzerine çıkması durumunda bazı depremler için ivmelerde artış dahi gözlenebilmektedir. Dolayısıyla kat ivme değerlerinin en aza indirilebilmesi için üst yapı sönüm oranının optimum bir değeri olduğu anlaşılmaktadır.

11) Üst yapı sönümünün arttırılması ile ivmelerdeki en önemli azalmalar en üst katta ve en alt katta meydana gelmektedir. Bu çalışmada, izolasyonlu yapılarda ivmeleri en büyük olan katların en alt ve en üst katlar olduğu belirlendiğinden, üst yapı sönümünün arttırılmasının özellikle bu katların ivme performanslarını arttırıyor olması önemli bir avantaj sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- ALDEMİR, Ü., AYDIN, E., 2005, *Depreme Daynıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar*, Türkiye Mühendislik Haberleri, 435:81-88.
- ALHAN, C., GAVIN, H.P., 2005, Reliability Of Base Isolation For The Protection Of Critical Equipment From Earthquake Hazards, *Engineering Structures*, 27:1435-1449.
- ASHER, J., W., YOUNG, R., P., EWING, R., D., 2001, Seismic Isolation Design Of The Arrowhead Regional Medical Center, *The Structural Design Of Tall Buildings*, 10:321-334.
- ATEŞ, Ş., DUMANOĞLU, A., 1999, *Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi*, Türkiye Deprem Vakfı, Teknik Rapor, Yayın No: TDV/TR 026-42.
- AUGENTI, N., SERINO, G., 1991, Proposal of a Design Methodology For Base Isolated Structures, Int. Meeting on Earthquake Protection of Buildings, Ancona, Italy, 203-214.
- AUSTIN, M., A., LIN, W., 2003, Energy Balance Assessment Of Base-Isolated Structures, *Journal of Engineering Mechanics*, 130:347-358.
- AYDIN, M., 2004, *Taban Yalıtımlı Yapısal Sistemler*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.
- BAŞTUĞ, B.K., 2004, *Yapı Sistemlerinde Depreme Karşı Sismik İzolatör Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı, İstanbul.
- BAYÜLKE, N., 1998, *Depreme Dayanıklı Betonarme Ve Yığma Yapı Tasarımı*, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:27.
- BAYÜLKE, N., 2002, *Yapıların deprem titreşiminden yalıtımı*, Sistem Ofset Yayınları, İstanbul.
- CELEP, Z., KUMBASAR, N., 2004, *Deprem Mühendisliğine Giriş*, Beta Dağıtım, İstanbul, ISBN 975-95405-2-5.
- ÇAĞLAR, M., C., 2002, *Yapılarda Taban İzolasyonu Sistemleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

CHOPRA, A., K., 2001, Dynamics of Structure, Prentice Hall, New Jersey, ISBN 0-13-086973-2.

CONSTANTINOU, M., C., SOONG, T., T., DARGUSH, T., 1998, *Passive Energy Dissipation System For Structural Design and Retrofit*, Multidisciplinary Center For Earthquake Engineering Research, University of New York at Buffalo, New York.

CONSTANTINOU, M., C., SYMANS, M., D., 1993a, Seismic Response Of Structures With Supplemental Damping, *The Structural Design of Tall Buildings*, 2:77-92.

CONSTANTINOU, M., C., SYMANS, M., D., 1993b, Experimental Study Of Seismic Response Of Buildings With Supplemental Fluid Dampers, *The Structural Design of Tall Buildings*, 2:93-132.

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

DE LA LLERA, J., C., LÜDERS, C., LEIGH, P., SADY, H., 2004, Analysis, Testing, And Implementation Of Seismic Isolation Of Buildings In Chile, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33:543-574.

DOLCE M., CARDONE D., 2003, Seismic Protection Of Light Secondary Systems Through Different Base Isolation Systems, *Journal Of Earthquake Engineering*, 7:223-250.

EYYUBOV, C., EYYUBOV, İ., KOÇAK, A., UĞUR, Y., 2006, Bina Ve Mühendislik Yapılarında Sismik Yalıtımın Konstrüktif Düzeninin Hazırlanması Ve İncelenmesi, *Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, İstanbul, 3-6 Ekim, s:11-13.

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

GOEL, R., K., 2000, Seismic Behaviour Of Asymmetric Buildings With Supplemental Damping, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29:461-480.

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

HANSON, R., D., 1993, Supplemental Damping For Improved Seismic Performance, *Earthquake Spectra*, 9:319-334.

HEATON, T., H., HAL, J., F., WALD, D., J., HALLING, M., W., 1995, Response Of High-Rise And Base-Isolated Buildings To A Hypothetical Mw 7.0 Blind Thrust Earthquake, *Science*, 267:206-211.

HOUSNER, G., W., BERGMAN, L., A., CAUGHEY, T., K., CHASSIAKOS, A., G., CLAUS, R., O., MASRİ, S., F., SKELTON, R., E., SOONG, T., T., SPENCER, B., F.,

HOUSNER, G., W., MASRI, S., F., 1994, Performance Of The Base-isolated USC University Hospital Under The 1994 Northridge Earthquake, *Nuclear Engineering and Design*, 148:509-513.

JANGID, R. S., DATTA, T. K., 1995, Seismic Behaviour Of Base-Isolated Building: A State Of Art Review, *Journal of Structures and Buildings, Proc. Inst. Civil Engineers*, 110:186-203.

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

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

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

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

KITAGAWA, Y., MIDORIKAWA, M., 1998, Seismic Isolation And Passive Response-control Buildings In Japan, *Smart Materials and Structures*, 7:581-587.

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

KÖSEDAĞ, S.B., 2002, *Yapılarda Sismik İzolasyon*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.

MCKAY, G.R., CHAPMAN, H.E., KIRKCALDIE, D. K., 1990, Seismic Isolation: New Zeland Applications, *Earthquake Spectra*, 6:203-222.

MIDORIKAWA, M., LIBA, M., KOSHIKA, N., 2004, Seismic Performance Evaluation Of Seismically Isolated Buildings Introduce To The Building Code Of Japan, *Journal of Pressure Vessel Technology*, 126:18-24.

MOKHA, A., S., AMİN, N., CONSTANTINOU, M., C., 1996, Seismic Isolation Retrofit Of Large Historical Building, *Journal of Structural Engineering*, 122:298-308.

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

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

- NAGARAJAIAH, S., REINHORN, A.M., CONTANTINOU, M.C., 1991b, 3D-Basis, *Nonlinear Dynamic Analysis Of Three Dimensional Base Isolated Structures: Part 2*, Technical Report NCEER-91-0005, State University Of New York At Buffalo.
- NAGARAJAIAH, S., XIAOHONG, S., 2000, Response Of Base-isolated USC Hospital Building In Northridge Earthquake, *Journal of Structural Engineering*, 126:1177-1186.
- PALAZZO, B., PETTI, L., 1997, Aspects Of Passive Control Of Structural Vibrations, *Meccanica*, 32:529-544.
- PINARBAŞI, S., AKYÜZ, U., 2005, Sismik İzolasyon ve Elastomerik Yastık Deneyleri, *İMO Teknik Dergi*, 237:1-15
- RAMALLO, J., C., JOHNSON, E., A., SPENCER JR., B., F., 2002, ‘Smart’ Base Isolation Systems, *Journal Of Engineering Mechanics*, 128:1088-1100.
- SAP2000N, Computers and Structures Inc., 2005, Static And Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Version 10.0.1, Berkeley, USA.
- SKINNER, R., I., KELLY, J., M., HEINE, A., J., 1975, Hysteretic Dampers for Earthquake Resistant Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 3:287-296
- SPENCER JR, B., F., SOONG, T., T., 2002, Supplemental Energy Dissipation: State-of-the-art And State-of-the-practice, *Engineering Structures*, 24:243-259.
- STÖBENER, U., 2006, *Active Vibration Isolation For Highly Sensitive Measurement*, Adaptronic Congress, 03-04 May, Göttingen, Germany.
- SUCUOĞLU, H., 1999, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 382:58-62.
- ŞAHİN, N., 2001, *Yapılarda Sismik İyileştirme İçin Sismik İzolasyonun Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.
- TDY, 2007, *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı 14.07.2007 Tarih 26582 Mükerrer Sayılı Resmi Gazete.
- TADJBAKSHI, I.G., MA J. J., 1982, Rigid-Body Response Of Base Isolated Structures, *Journal of Structural Engineering*, 108:1806-1814.
- TEZCAN, S.S., CİMİLLİ, S., 2002, *Seismic Base Isolation*, Yüksek Öğrenim Eğitim Ve Araştırma Vakfı, Yayın No: KT 004/02, Cenkler Matbaacılık, İstanbul.

TEZCAN, S.,S., ERKAL, A., 2002, *Seismic Base Isolation And Energy Absorbing Devices*, Yüksek Öğrenim Eğitim Ve Araştırma Vakfı, Yayın No: KT 005/02, Cenkler Matbaacılık, İstanbul.

UBC, 1994, International Conference of Building Officials, *Uniform Building Code*, USA.

UBC, 1997, International Code Council, *Uniform Building Code, Volume 2: Structural Engineering Desing Provisions*, USA.

UNGAR, E.E., 2007, Vibration Criteria For Healthcare Facility Floors, *Sound and Vibration Magazine*, September Issue.

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

YAO, J., T., P., 1997, Structural Control: Past, Present, And Future, *Journal of Engineering Mechanics*, 123:897-971.

YOUSSEF. N., 2001, Viscous Dampers At Multiple Levels For The Historical Preservation Of Los Angeles City Hall, *The Structural Design Of Tall Buildings*, 10:339-350.

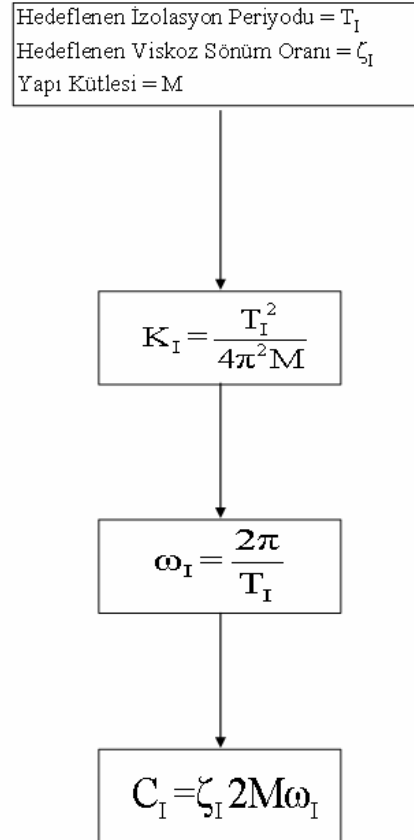
YOZGAT, E., HÜSEM, M., 2005, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Kullanılabilen Yapı Kontrol Sistemleri, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni*, 121(4), 21-26.

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

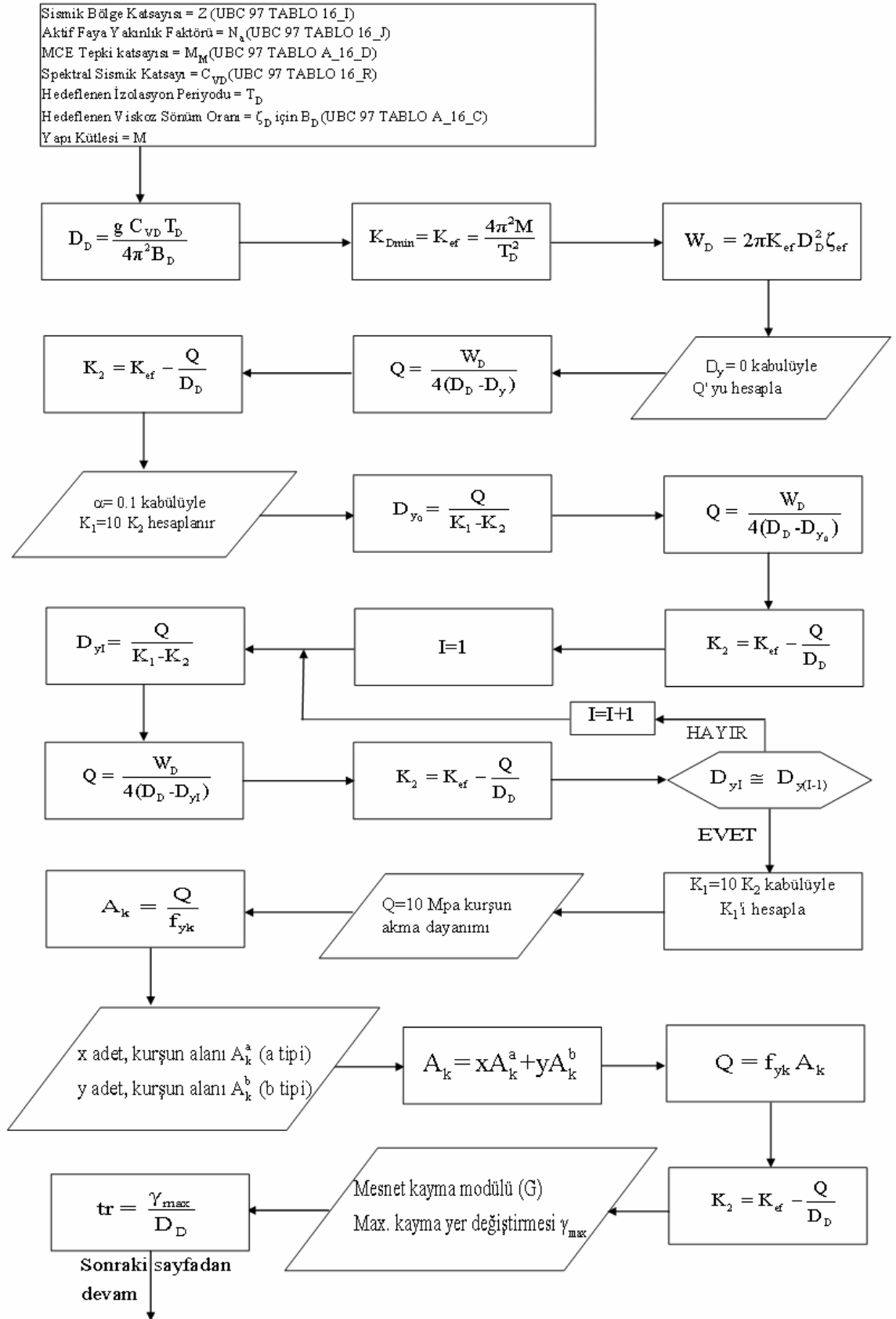
ZAYAS, V., A., LOW, S., S., MAHIN, S., A., 1990, A Simple Pendulum Technique For Achieving Seismic Isolation, *Earthquake Spectra*, 6:317-333.

ZAYAS, V.A., LOW, S., MAHIN, S.A., BOZZO, L., 1989, *Feasibility And Performance Studies On Improving The Eartquake Resistance Of New and Existing Buildings Using the Friction Pendulum System*, Report No. UBC/EERC 89-09, University Of California, Berkeley.

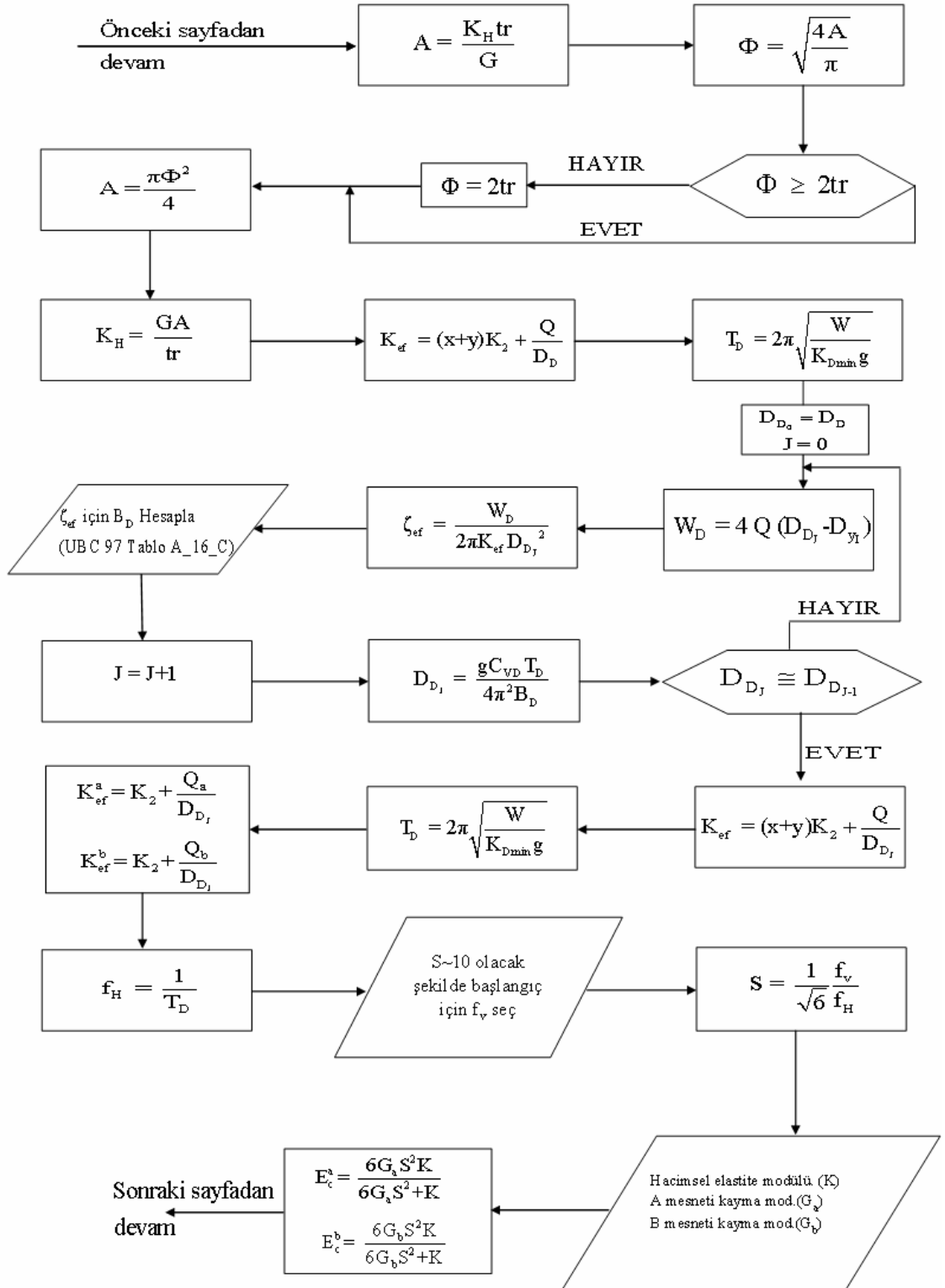
EKLER



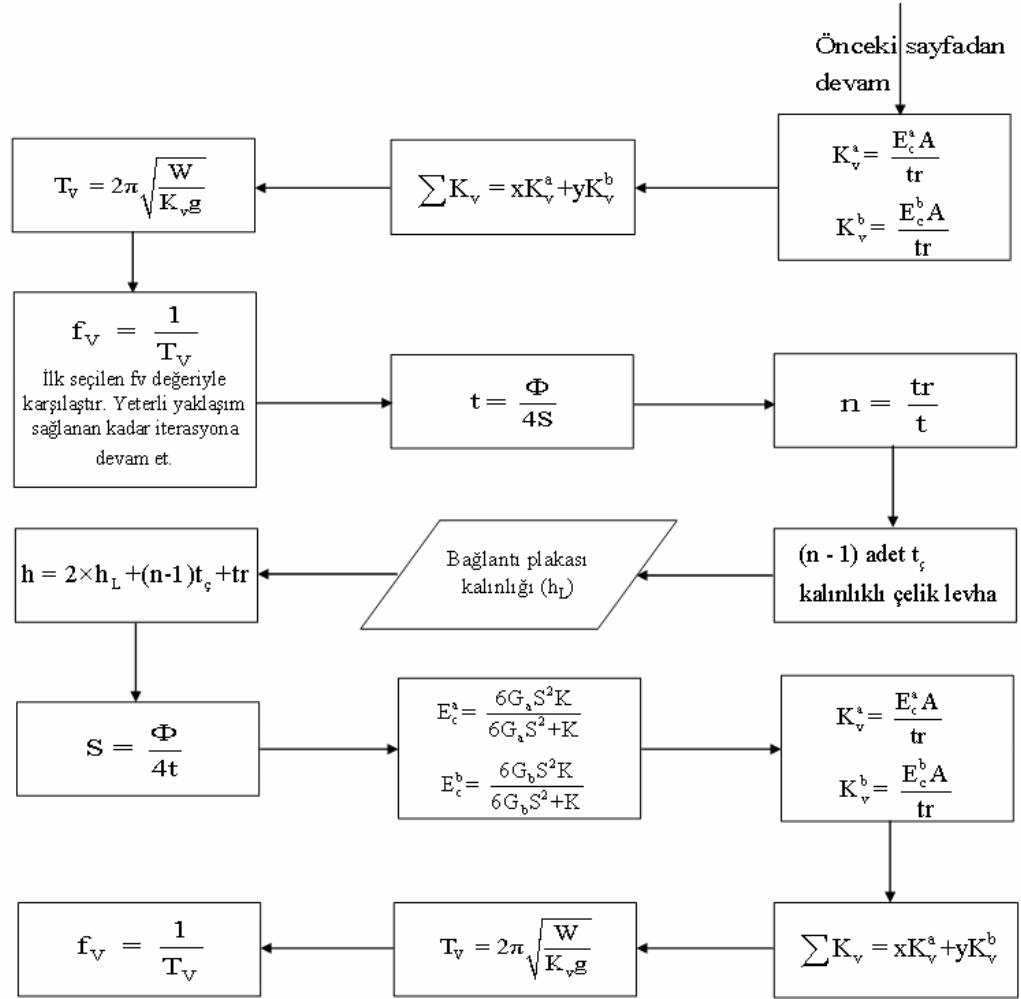
Şekil Ek 1.1 Lineer bir izolasyon sisteminin hesap adımları.



Şekil Ek 1.2a Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sisteminin hesap adımları 1/3.



Şekil Ek 1.2b Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sisteminin hesap adımları 2/3.



Şekil Ek 1.2c Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin kullanıldığı izolasyon sisteminin hesap adımları 3/3.

ÖZGEÇMİŞ

Furkan ŞAHİN, 1977 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğretimi Yenibosna İlköğretim Okulu’nda, ortaöğretimi ise, Necip Fazıl Kısakürek Lisesi’nde 1994 yılında İstanbul’da tamamladı. Lisans öğrenimine 1996 yılında Kocaeli Üniversitesi’nde başladı. 1998 yılında İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne geçiş yaparak lisans öğrenimini 2001 yılında bu Bölüm’de tamamladı. 2001-2004 yılları arasında İngiltere’de dil eğitimi için bulundu. Aynı sene askerlik görevini tamamlayıp, 2004’den 2006’ya kadar çeşitli firmalardaki mesleki deneyimin ardından 2006 yılı sonunda, inşaat işlerinde faaliyet gösteren bir firmanın kuruculuğunu yaptı. 2005 yılında İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.