

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YARIAKTİF TABAN İZOLASYONLARININ
DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Yalçın BULUT

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2005

**YARIKTİF TABAN İZOLASYONLARININ
DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARA
UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Yalçın BULUT
(501021176)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Haziran 2005

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ünal ALDEMİR (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Reha ARTAN (İ.T.Ü.)

Yrd.Doç.Dr. Zafer KÜTÜĞ (Y.T.Ü.)

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Deprem riski olan bütün ülkelerde; yapılar ve buna bağlı olarak inşaat sektörü hızlı bir gelişim göstermektedir. Önceleri askeri ve savunma amacı ile geliştirilen Kontrol Sistemleri; daha sonraları yapılarda depremden dolayı oluşabilecek zararları önlemek, yapıların maliyetlerini çok fazla artırmaya gerek kalmadan yer değiştirmelerini sınırlandırma ve performanslarını artırma amacı ile dünyanın bir çok ülkesinde kullanılmaya başlanmıştır. Çok önemli bir bölümü deprem kuşağında yer alan ülkemizde de Kontrol Sistemleri'nin kullanımının yaygınlaşması ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Yapmış bulunduğum yüksek lisans tez çalışmasında Kontrol Sistemleri ile ilgili genel bilgiler verilmiş, pasif ve yarıaktif kontrol sistemlerinin taban izolasyonlu bir yapı üzerinde, 8 farklı deprem kaydı etkisinde davranışları incelenmiştir.

Tüm hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği Programı öğrenimim süresince fikirleri ile beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Ünal ALDEMİR' e teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2005

Yalçın BULUT

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. KONTROL SİSTEMLERİ	6
3. AKTİF KONTROL	8
3.1 AVDS Sistemi (Active Viscous Damping System)	9
3.2 Aktif Hava Yastığı Kontrol Sistemi (Active Air-Bag Response Control S.)	10
3.3 Aktif Kütle Sönümleyici (AMD)	11
3.4 AVS Aktif Rijitlik Değiştirici Sistem (Active Variable Stiffness System)	14
3.5 ABS Aktif Kuşaklama Sistemi (Active Bracing System)	15
4. PASİF KONTROL	17
4.1 Pasif Kontrol Sistemleri	17
4.1.1 Metal sönümleyiciler	18
4.1.2 Sürtünme sönümleyicileri	18
4.1.3 Visko-Elastik sönümleyiciler	19
4.1.4 Viskoz sönümleyiciler	23
4.1.5 Ayarlanmış kütle sönümleyiciler	25
4.1.6 Ayarlanmış sıvı sönümleyiciler	26
4.2 Pasif Kontrol Sistemlerin Modellenmesi	26
4.3 Taban İzolasyonu Sistemi ve Türleri	27
4.3.1 Kauçuk esaslı taban izolasyon sistemleri	31
4.3.2 Kayma esaslı izolasyon sistemleri	35
4.4 Taban İzolasyonu Sisteminin Teorik Esasları	41

5. KARMA KONTROL	44
5.1 HMD Karma Kütle Sönümleyici (Hybrid Mass Damper)	45
5.2 Karma Taban İzolasyonu	47
6. YARIAKTİF KONTROL	48
6.1 Akıllı Malzemeler	48
6.1.1 Elektoreolojik akışkanlar	48
6.1.2 MR akışkanlar	49
6.2 Kontrol Algoritmaları	50
6.3 Yarıaktif Kontrol Sistemleri	53
6.3.1 Değişken orifis sönümleyiciler	54
6.3.2 Değişken sürtünme sönümleyiciler	54
6.3.3 Darbe etkili yarıaktif sönümleyiciler	54
6.3.4 Yarıaktif hidrolik sönüm sistemi (Semiactive Hydraulic Damper)	55
6.3.5 Akışkan kontrollu sönümleyiciler	57
7. TABAN İZOLASYONLU YAPI İÇİN PASİF VE YARIAKTİF KONTROL UYGULAMASI	61
7.1 Giriş ve Yapı Özellikleri	61
7.2 Pasif Viskoz Sönüm Kontrolü	62
7.3 Yarıaktif Kontrol	62
7.3.1 Kontrol algoritmaları	63
7.3.2 Sistemin dinamik denklemi	64
7.4 Analiz İçin Kullanılan Deprem Kayıtları	64
7.5 Deprem Etkisi Altındaki Çok Katlı Yapılar İçin Lineer Regülatör Probleminin Formülasyonu	67
7.6 Diferansiyel Denklemin Çözümü (Dördüncü Mertebe Runge-Kutta Yöntemi)	70
8. SONUÇLAR	74
KAYNAKLAR	74
EKLER	78
ÖZGEÇMİŞ	98

KISALTMALAR

MR	: Magnetoreolojik
ER	: Elektoreolojik
SK	: Sürekli Kontrol
BBK	: Bang Bang Kontrol
EERC	: Earthquake Engineering Research Center

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. :Kontrol Sistemlerin Sınıflandırılması	1
Tablo 1.2. :Yer değiştirme Azalım Faktörleri	2
Tablo 7.1. :2 serbestlik derecesine sahip yapı modeli için modal karakteristikler	62
Tablo A.1 :Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları.....	79
Tablo A.2 :Rinaldi Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları.....	79
Tablo A.3 :Slymar Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları	80
Tablo A.4 :Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları	80
Tablo A.5 :Kobe Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları.....	81
Tablo A.6 :Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları	81
Tablo A.7 :Elcentro Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları	82
Tablo A.8 :Elcentro Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları....	82

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Aktif hava yastığı sistemi deneysel modeli	11
Şekil 3.2 : Kyobashi Seiwa binası.....	12
Şekil 3.3 : Sendagaya INTES binası ve AMD yerleşimi.....	13
Şekil 3.4 : AVS sistemi ileri besleme kontrol algoritması.....	15
Şekil 4.1 : Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti	19
Şekil 4.2 : Sumitomo sürtünme aygıtının kurulumu.....	19
Şekil 4.3 : Visko – elastik sönümleyici	20
Şekil 4.4 : Visko – elastik sönümleyiciye etkiyen kuvvetler	20
Şekil 4.5 : Visko-elastik sönümleyicinin yerleşimi.....	20
Şekil 4.6 : Visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiği.....	21
Şekil 4.7 : Visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiğine frekansın etkisi.....	22
Şekil 4.8 : Visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiğine kayma şekil değiştirmesinin etkisi.....	22
Şekil 4.9 : Amerikan Hava Kuvvetleri'nde kullanılan viskoz sönümleyici.....	23
Şekil 4.10 : Yer değiştirme ve hız arasındaki faz farkı.....	24
Şekil 4.11 : Ayarlanmış kütle sönümleyicileri.....	25
Şekil 4.12 : Ayarlanmış kütle sönümleyici ile tek serbestlik dereceli sistem...	26
Şekil 4.13 : Hız-bağımlı cihazların ideal kuvvet-yer değiştirme çevrimleri.....	27
Şekil 4.14 : Taban izolasyonlu yapıya taban izolasyonu seviyesinde ek sönüm cihazları uygulaması.....	29
Şekil 4.15 : Taban izolasyonlu yapıya taban izolasyonu seviyesinde ek sönüm cihazları uygulaması.....	29
Şekil 4.16 : Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör sistemi	32
Şekil 4.17 : Kurşun çekirdekli izolatör sistemini.....	33
Şekil 4.18 : Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör sistemi.....	35
Şekil 4.19 : Sürtünmeli sarkaç sistemin kesiti.....	37
Şekil 4.20 : Basit sarkaç hareketi&Kayıcı sarkaç hareketi.....	37
Şekil 4.21 : Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi.....	39
Şekil 4.22 : Electricite-de France Sistemi.....	40
Şekil 4.23 : İzole edilmiş binanın şematik çizimi.....	42
Şekil 5.1 :Yokohoma Landmark Tower binasında kullanılan çoklu sarkaç sönümleyici.....	46
Şekil 5.2 : Shinjuku Park Tower binasında kullanılan V şekilli HMD sönümleyici.....	46
Şekil 5.3 : DUOX sistemi modeli.....	47
Şekil 6.1 : Kontrol Algoritmasının Seçilen Komut İşaretine Göre Değişimi..	53
Şekil 6.2 : Shizuoka'daki ofis binasının anahatları.....	55
Şekil 6.3 : SHD sisteminin binaya yerleşim biçimi.....	55

Şekil 6.4	: MR Sönümleyici Mekanik Modeli	56
Şekil 6.5	:MR Lineer Sönümleyici.....	58
Şekil 6.6	: Sismik Kontrol İçin MR Sönümleyici	60
Şekil 7.1	:2 Serbestlik derecesine sahip idealize edilmiş yapı.....	61
Şekil 7.2	:2 Serbestlik derecesine sahip idealize edilmiş yarıaktif kontrollü yapı.....	63
Şekil 7.3	:Elcentro Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Deprem Kayıtları ivme-zaman grafikleri.....	65
Şekil 7.4	:Kobe Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Deprem Kayıtları ivme-zaman grafikleri.....	66
Şekil 7.5	:Rinaldi Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Deprem Kayıtları ivme-zaman grafikleri.....	66
Şekil 7.6	:Slymar Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Deprem Kayıtları ivme-zaman grafikleri.....	67
Şekil 7.7	: İdealize edilmiş yapı modeli.....	68
Şekil 7.8	: i.nci kata ait serbest cisim diyagramı.....	68
Şekil 7.9	: K, L, M, C matrislerinin açık formu	69
Şekil A.1	:Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait 1.Kat Yerdeğiştirme ve 2.Kat Relatif Yerdeğiştirme Grafikleri.....	83
Şekil A.2	:Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait 2.Kat Mutlak İvme Amaç Fonksiyonu Grafikleri.....	84
Şekil A.3	:Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Sönümleyici Gecikme Değişkeni ve Yarıaktif Kuvvet Grafikleri.....	85
Şekil A.4	:Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet - 1.Kat Yerdeğiştirme ve 1.Kat Hız Grafikleri.....	86
Şekil A.5	:Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet - 1.Kat Mutlak Hız Grafikleri.....	87
Şekil A.6	:Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait 1.Kat Yerdeğiştirme ve 2.Kat Relatif Yerdeğiştirme Grafikleri.....	88
Şekil A.7	:Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait 2.Kat Mutlak İvme Amaç Fonksiyonu Grafikleri.....	89
Şekil A.8	:Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Sönümleyici Gecikme Değişkeni ve Yarıaktif Kuvvet Grafikleri.....	90
Şekil A.9	:Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet -1.Kat . Yerdeğiştirme ve 1.Kat Hız Grafikleri.....	91
Şekil A.10	:Rinaldi Doğu Batı Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet -1.Kat. Mutlak Hız Grafikleri.....	92
Şekil A.11	:Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait 1.Kat Yerdeğiştirme ve 2.Kat Relatif Yerdeğiştirme Grafikleri.....	93
Şekil A.12	:Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait 2.Kat Mutlak İvme Amaç Fonksiyonu Grafikleri.....	94
Şekil A.13	:Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Sönümleyici Gecikme Değişkeni ve Yarıaktif Kuvvet Grafikleri.....	95
Şekil A.14	:Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet - 1.Kat Yerdeğiştirme ve 1.Kat Hız Grafikleri.....	96
Şekil A.15	:Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet - 1.Kat Mutlak Hız Grafikleri.....	97

SEMBOL LİSTESİ

E	: Mutlak Enerji
D	: Plak eğilme rijitliği
Δ	: Yer Değiştirme
C	: Sönüm Katsayısı
T	: Peryot
β	: Sönüm oranı
z	: Zemin Yerdeğiştirmesi
r	: Kat Yerdeğiştirmesi
k	: Eğilme Rijitliği
G	: Kayma Modülü
R	: Yarıçap
J	: Amaç Fonksiyonu
f_0	: Yarıaktif Kuvvet

YARIAKTİF TABAN İZOLASYONLARININ DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARA UYGULANMASI

ÖZET

Bu çalışmada iki serbestlik dereceli taban izolasyonlu bir yapıya pasif kontrol ile yarıaktif kontrol uygulaması yapılmıştır. Pasif kontrol uygulaması, yapıya taban izolasyonu seviyesinde eklenen lineer viskoz sönümleyiciler ile sağlanmıştır. Yarıaktif kontrol uygulaması ise yapıya taban izolasyonu seviyesinde eklenen MR sönümleyiciler ile sağlanmıştır. Yarıaktif kontrol uygulaması için pseudo-skyhook sürekli kontrol ve bang bang kontrol algoritmaları kullanılmıştır. 8 farklı yer hareketi etkisindeki yapı cevabı kullanılarak yarıaktif kontrol pasif kontrol ile karşılaştırılmıştır. Pasif kontrol uygulaması taban izolasyonu seviyesinde yer değiştirmeleri azaltarak izolatörü korurken üst katlardaki mutlak ivme ve relatif yer değiştirmeyi artırarak üst yapıyı olumsuz şekilde etkilemektedir. Yarıaktif kontrol uygulaması izolatör seviyesindeki yer değiştirmeyi azaltmakla birlikte, üst katlardaki relatif yer değiştirme ve mutlak ivmeyi azaltarak pasif kontrolden daha iyi performans göstermektedir.

APPLICATION OF SEMI-ACTIVE BASE ISOLATIONS TO EARTHQUAKE-EXCITED STRUCTURES

SUMMARY

In this study passive and semi-active control techniques are applied to two-degree-of-freedom base isolated structure. Linear viscous damper has been added to structure at base isolation level for passive control technique. Semi-active control technique is applied by implementing MR fluid dampers at base isolation level of the structure. Pseudo-skyhook continues and bang bang control algorithms are used to semi-active control technique. Semi-active control technique is compared with passive control technique using the response of structure under eight different ground motions. Passive control technique protects isolator decreasing the displacement at base isolation floor and affects the structure negatively increasing the relative displacement and absolute acceleration of upper floor. Semi-active control technique protects the isolator decreasing the displacement at base isolation floor while it affects the structure positively decreasing also the relative displacement and the absolute acceleration of upper floor and semi-active control performs better than the passive control.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

1990 yılında Soğuk Savaş' ın sona ermesi ile politik ve ekonomik değişim, gelişmiş ülkelerin askeri ve savunma amaçlı kullandığı teknolojinin toplum yararına kullanılmasına imkan sağladı. Bunlardan en bilineni Internet olmakla birlikte İnşaat Mühendisliği alanında yüksek kapasiteli sönümleyici ve enerji yutucu aletlerin başta geldiği "Kontrol Sistemleri", rüzgar ve depreme maruz yapılar ve köprülerde kullanılan ticari uygulamalara dönüştü. Soğuk Savaş sırasındaki güvenilirlikleri nedeni ile özellikle sıvı sönümleyiciler inşaat sektöründeki yerlerini hızla almaya başladı. Yapılarda kullanılan yeni kavramlar "Kontrol Sistemleri" olarak sınıflandırılmış ve Tablo 1.1 'de gösterilmiştir [2].

Tablo1.1 Kontrol Sistemlerin Sınıflandırılması

Kontrol Sistemleri			
Aktif Kontrol	Pasif Kontrol		Yarıaktif Kontrol
	Sismik Yalıtım	Pasif Enerji Sönümleyiciler	
Bağ Sistemleri	Elastomerik Mesnetler	Metal Sönümleyiciler	Değişken Boşluklu Sönümleyiciler
Kütle Sistemleri	Kurşun-Kauçuk Mesnetler	Sürtünme Sönümleyicileri	
Değişken Rijitlik ve Kütle Sistemleri	Elastomerik Mesnetler ve Enerji Yutucu Cihazlar	Viskoelastik Sönümleyiciler	Değişken Sürtünme Sönümleyiciler
Şok Sistemler	Yassı Kayıcı Mesnetler ve Yük Veren Cihazlar	Ayarlanmış Kütle Sönümleyiciler	Kontrol edilebilir Akışkan Sönümleyiciler
Aerodinamik Sistemler		Sürtünme Sarkacı Mesnetleri	
	Yağlanmış Kayan Mesnetler ve Enerji Yutucu Sistemler		
			Viskoz Sönümleyiciler

Kontrol sisteminin özellikleri gelen yüklemeye bağlı olarak değiştirilebiliyorsa Aktif Kontrol Sistemi, değiştirilemiyorsa Pasif Kontrol Sistemi adını alır. Pasif Kontrol Sistemleri'nden, Sismik Taban İzolasyon Sistemleri ile Pasif Enerji Sönümleyiciler benzer sistemler olmalarına karşın, aralarında çalışma prensipleri yönünden farklar

vardır. Taban izolasyon sistemleri genelde temel seviyesine yerleştirilir ve gelen deprem enerjisini yapı içinde dağılmadan, yapının hakim periyodunu uzatarak sönümlerken, enerji sönümleyiciler yapının içinde çeşitli yerlerde ve deprem enerjisi yapıya ulaştıktan sonra kinetik ve şekil değiştirme enerjisi olarak sönümler.

Kontrol Sistemleri yapının depreme verdiği tepkiyi ve buna bağlantılı olarak hasarı azaltırlar. Sistemin ana hedefi içerisindeki tüm araç ve ekipmanlarla birlikte en elverişsiz yer sarsıntısı ve rüzgar yüklerine rağmen yapının servis süresini uzatmaktır.

Geleneksel yaklaşımlar yapının depreme dayanımı olarak, şekil değiştirebilme ve enerji sönümleyebilme özelliklerinin bir kombinasyonu olarak pasif şekilde deprem etkilerine dayanmasını öngörür. Yapıların sönüm derecesi çok düşük olduğu için elastik davranış sırasında enerji yutma kapasiteleri de çok düşüktür. Güçlü depremler sırasında yapılar elastik davranışın ötesine geçerek, plastik mafsalların oluşması gibi elastik olmayan şekil değiştirmeler yaparak ayakta kalabilirler.

Deprem hasarlarını azaltmada başka bir yaklaşım olan Pasif Enerji Sönümleyici Sistemleri anlamak için yapı içindeki enerji dağılımını düşünmek gereklidir. Deprem hareketi sırasında sonlu miktarda bir enerji yapıya aktarılır ve bu enerji kinetik ve potansiyel enerjiye dönüşür. Sistemde sönüm olmasaydı bu enerjinin yarattığı titreşimin sonsuza kadar devam etmesi gerekirdi. Ama yapıda her zaman belli bir değerde doğal sönüm bulunduğu için hareket bir süre sonra durur. Yapılara eklenen ek sönüm aygıtlarının sönümlediği enerjiyi, enerjinin korunumu denklemine yerleştirebiliriz.

$$E=E_k+E_s+E_h+E_d \quad (1.1)$$

E deprem hareketinden binaya gelen mutlak enerji, E_k mutlak kinetik enerji, E_s geri dönebilen elastik yay enerjisi, E_h yapısal sistem tarafından sönümlenen elastik olmayan geri dönüşümsüz enerji, E_d ek sönüm aygıtları tarafından yutulan enerjidir. E mutlak giren enerji toplam taban kesme kuvvetinin temeldeki zemin yer değiştirmesinde yaptığı işe eşittir [3].

Geleneksel yaklaşımda kabul edilir yapısal performans elastik olmayan şekil değiştirmelerin varlığı ile başarıya ulaşır. Elastik olmayan şekil değiştirmelerin varlığı E_h 'nin artmasına sebep olur. Ama dolaylı olarak da sistemde bir yumuşama meydana gelir. Sisteme verilecek esneklik deprem enerjisinin bir kısmını süzerek yapıya etkimesini sağlar. Taban izolasyonu sistemleri de bu mantık doğrultusunda esneklik ve enerji yutabilme yeteneği sağlar. Bu esneklik sayesinde 2 sn

mertebeğinde periyotlar sağlayarak yapının elastik olmayan hareketler yapmasına engel olur. Ayrıca yer değiştirmeleri sınırlar ve yapıyı rezonanstan korur. Fakat yüksek periyotlu depremlerde depremden gelen enerjiyi yansıtacak yeterli esnekliğe ulaşmakta problemler yaşanır. Ayrıca büyük yatay deplasmanlardan dolayı bir kısım taban izolasyon sistemlerinde depremlerden sonra kalıcı deformasyonlar oluşmakta ve bunlar zamanla birikerek sistem devre dışı kalmaktadır. Yine büyük deplasmanlardan dolayı yapıyı devirmeye yönelik (overturning) büyük momentler oluşabilmektedir. Tüm bu olumsuz etkilerin azaltılması için taban izolasyonlu yapılara taban izolasyonu seviyesinde ek sönüm cihazları yerleştirilir ve enerji sönümleme kapasitesi artırılır [22].

Tablo1.2 Yer değiştirme Azalım Faktörleri

Kritik Sönüm Yüzdesi	Yerdeğiştirme Azalım Faktörleri
5	1,0
10	1,2
15	1,4
20	1,6
30	1,9

Taban izolasyonu sistemlerinin uygulanmasında zemine ankastre bağlı bir yapıya göre yapının ve izolatörün özelliklerine de bağlı olmak üzere kuvvetler ve yer değiştirmeler önemli mertebelerde azaltılabilir. Benzer bir azalım önemli rijitlikleri olmadığı için pasif enerji sönümleyiciler açısından geçerli değildir. Eğer enerji sönümleyicilerin rijitlikleri nedeni ile yer değiştirme azalmasına yaptığı katkı ihmal edilirse sönümlerinden dolayı sağladıkları yer değiştirme azalımı Tablo 1.2 'de gösterilmiştir.

Tablo 1.2 'den görüldüğü gibi enerji yutucu aygıtlar tarafından sağlanan %20-%30 sönüm, sistemin tepkisinin %30 ile %50 oranında azalmasına sebep olur. Yapının elastik sınırlar içinde davranması öngörüldüğü durumlarda, ek sönüm aygıtlarının eleman davranışlarının %50 oranından fazla azaltılmasına izin verilmez [4].

Pasif sistemler içinde, taban izolasyon sistemlerinden başka ayarlı kütleli veya viskoelastik sönümleyicileri ve sürtünme yoluyla sönümleme yapan sistemleri sayabiliriz. Bu sönümleyicilerin en önemli özellikleri depremde oluşan sismik enerjinin bir kısmını üzerine alıp sönümleyerek, yapıya ulaşan sismik enerji, miktarını azaltmalarıdır. Fakat bu sönümleyiciler de taban izolasyon sistemi gibi belirli sınırlar içinde etkilidirler. Mesela New York'taki Citicorp Center binasına

yerleştirilen kütleli sönümleyici, sadece birinci modal frekansa ayarlı olduğu için, daha yüksek modlardaki titreşimlerde etkili olamamaktadır [21].

Depremi karakteri gereği, oluşabilecek çok şiddetli dış etkileri karşılayabilmek için gerekli kontrol kuvvetlerini üretecek enerji sistemde olmadığından, bu gibi durumlarda pasif sistemler etkisiz kalmaktadır. Yeni yapı malzemelerinin mukavemetinin artması, fakat buna karşılık elastisite modülünün o oranda artmaması nedeniyle yeni yapılar daha sağlam , fakat aynı zamanda daha esnek olmaktadır. İşte böyle yapıların şiddetli depremlerde gösterecekleri büyük deplasmanları kontrol edebilmek ve aynı zamanda konforu sağlamak, klasik tasarım ve pasif sistemlerle mümkün görülmemektedir.

Diğer yandan bilindiği gibi depremin en önemli özelliği daha önceden ne zaman, nasıl ve ne şiddette olacağının bilinmemesidir. Sadece istatistiki hesaplara dayalı birtakım tahminlerde bulunabilmekteyiz. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ise, belirli bir sürede o bölgede olması olası depremlere göre yapılmaktadır. Dolayısıyla tahminlerin ötesinde olabilecek çok daha şiddetli depremlere karşı bu tasarımların fazla bir garantisi yoktur. Nitekim, deprem yönetmeliklerinde yapılan bütün düzenlemelere rağmen 1994 Norridge ve 1996 Kobe depremleri tahmin edilenden çok daha şiddetli olduğu için çok büyük zararlara neden olmuştur.

Pasif kontrol uygulaması yapılan yapılarda, binanın rezonansa gelmesi durumunda tamamen çökmemesi veya rezonanstan korunması hususunda hiçbir garantisi yoktur. Dolayısıyla binalar ve köprüler, sürekli değişen ortamın dinamik karakterine kendini adapte edebilme özelliğinden mahrum olarak, dış kuvvetlere karşı koymada sadece kütleleri ve rijitlikleri esas alınarak pasif yapılar .olarak inşa edildiler. Hatta rijitlik ve ağırlık yapının emniyeti ile aynı manada kullanıldı. Yani yapı ne kadar rijit ve ağır ise o kadar emniyetlidir gibi . Fakat artık emniyet kavramı yapıların üstlendiği fonksiyonlara göre değişmektedir. Mesela, klasik tasarımda emniyet sınırları içinde kalmak üzere yapının belirli miktar deplasmanına müsaade edilir. Hatta gerekiyorsa lokal hasarlar bile kabul edilebilir. Fakat bu görüşü mesela bir nükleer güç reaktörünün dizaynında kullanmamız mümkün değildir, çünkü yapının üstlendiği çok kritik işlev buna müsaade etmez. Deplasman kontrolünün, konforun, emniyetin çok önemli olduğu ve çok yüksek maliyetle yapılan yüksek yapılar, okyanustaki petrol platformları ve nükleer güç reaktörleri gibi karmaşık ve çok kritik fonksiyonlar üstlenen yapıların, belirsizliği ve önceden bilinmemesi asıl karakteri olan ve tasarımda kabul edilen olası şiddet değerinden her zaman için daha büyük bir şiddette meydana gelmesi muhtemel olan deprem ve rüzgar gibi sürekli değişen dinamik etkilere karşı tasarımında ve rezonanstan korunmalarında, klasik tasarım

görüşü ve pasif sistemler yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla böyle yapıların, normal ömürleri boyunca sürekli değişen dış yüklere ve değişik kullanım maksatlarına göre kendilerini adapte edebilme özelliğinin bulunması gerektiği, son yıllarda herkesin kabul ettiği bir görüş olmuştur [22].

Aktif yapı kontrol sistemi, klasik tasarım görüşü ve pasif sistemlerinin yetersiz kaldığı noktaları fazlası ile kapatmaktadır. Kullandığı dış güç kaynağı ile aktüatörleri (kontrol kuvvetini harekete geçiren mekanizma) harekete geçiren ve yapının kurallara göre, önceden tayin edilen davranışı göstermesini sağlayan karşı koyucu kuvvetler üreten bir sistemdir. Üretilen karşı koyucu kuvvetler yapıya hem enerji eklemek hem de enerjiyi dağıtmak amacıyla kullanılabilir. Aktif kontrol kuvvetleri yapının belli noktalarına konulan sensörler tarafından ölçülen bilgilerin kullanılan özel kontrol algoritması aracılığıyla değerlendirilmesinden sonra ayarlanır. Aktif kontrol kuvvetleri yapısal karakteristikleri değiştirerek yapısal titreşimin azaltılmasını sağlar. Aktif kontrol çektiği ilgiye rağmen beraberinde birçok zorluğu getirmektedir. Zaman gecikmesi, kontrol araçlarının yapıya en uygun biçimde yerleştirilmesi, yüksek fiyat bunlardan bazılarıdır [5].

Yarıaktif kontrol sistemlerinin özellikleri yukarıda belirtilen, pasif ve aktif sistemlerin tek başlarına kullanıldığı durumlarda karşılaşılabilecek sorunlara çözüm sunmaktadır. Yarıaktif kontrol sistemleri aktif kontrol sistemlerinin bir başka uygulamasıdır. Yapının ihtiyaç duyduğu dışardan sisteme etkileyecek kuvvetin büyüklüğü aktif kontrole göre daha küçüktür. Yarıaktif kontrol cihazları yapıya mekanik bir enerji eklemediklerinden yapıda bir stabilite sorunu oluşma durumu söz konusu değildir. Yarıaktif kontrol cihazları kontrol edilebilen pasif cihazlar olarak bilinir. Yarıaktif sistemlerin en önemli özelliği aktif sisteme göre dışardan ihtiyaç duyulan enerji büyüklüğünün küçük olmasıdır. Yapılan deneyler ve test çalışmaları yarıaktif kontrol sistemlerinin pasif ve aktif sistemlere göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur [1].

Bu çalışmada Kontrol Sistemleri açıklanacak ve tek açıklıklı taban izolasyonlu bir yapı üzerinde, taban izolasyonlu sistemlerde izolatörün korunması amacı ile zemin seviyesinde yapıya eklenen sönüm cihazlarının yapı davranışı üzerinde meydana getirdiği etkiler Pasif ve Yarıaktif Kontrol uygulamaları ile araştırılacaktır.

2. KONTROL SİSTEMLERİ

Yapı tasarımı tarihi üç ana bölümden oluşmaktadır. Klasik dönemde mühendislik yapıları için sadece statik yükler dikkate alınarak tasarım yapılırdı. Modern dönemde yapı tasarımına sönümü ve mod şekillerini dikkate alan dinamik yük standartları eklendi. Bugün mühendislik yapıları özel durumları, zemin yapı etkileşimini dikkate alan statik ve dinamik etkileri gözönünde bulunduran standartlara göre tasarlanmaktadır.

Postmodern dönem ise dinamik etkileri dikkate alan standartlara yapıdaki tüm değişimleri rijitlik, dayanım ve sönüm noktasında her an takip edebilecek geri dönüşüm kontrolü eklemektedir. Geri dönüşüm cihazları sayesinde yapı hakkında elde edilebilecek en son ve en yeni bilgiler sayesinde yapının davranışı dışardan istenilen şekilde kontrol edilebilecektir. Tüm bunlar disiplinlerarası bir araştırmanın ürünü olacaktır. Postmodern dönemin tasarımdaki ana hedefi yapının servis süresini, içerisindeki tüm araç ve ekipmanlarla birlikte en elverişsiz yer sarsıntısı ve rüzgar yüklerine rağmen uzatmaktır.

Yapılarda kullanılan yeni kavramlar "Kontrol Sistemleri" olarak sınıflandırılmış ve Tablo 1.1 'de gösterilmiştir [2]. Kontrol sisteminin özellikleri gelen yüklemeye bağlı olarak değiştirilebiliyorsa Aktif Kontrol Sistemi adını alır. Aktif kontrol sistemlerinde yapıdan bağımsız bir güç kaynağı tarafından yapıya bir kuvvet uygulanır. Bu kuvvet yapıya enerji verici veya enerji sönümleyici şekilde olabilir. Aktif kontrol sistemlerinde çeşitli sensör sistemleri ile yapının verdiği cevap fonksiyonu güç kaynağına aktarılır.

Pasif kontrol sistemlerinde yapıdan bağımsız bir güç kaynağı sistemine ihtiyaç yoktur. Pasif kontrol cihazları sayesinde yapı sisteminin davranışı kontrol edilebilir. Pasif enerji sönümleyen sistemler, sönümü ve rijitliği artıran, dinamik zorlamalara karşı hasarın azaltılmasını sağlayan, ayrıca ekonomik ömrünü tamamlamış yaşlı ve eksik binaların iyileştirilmesine yönelik birçok malzeme ve cihaz sınıfını içeren sistemlerdir.

Karma Kontrol Sistemleri, aktif ve pasif kontrol sistemlerinin birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Örnek olarak viskoelastik sönümleyicilerin yapı üstünde aktif bir kütle

ile kullanıldığı veya taban izolasyonu sistemlerinin yapı performansını kontrol eden bir güç kaynağı ile birlikte kullanıldığı durumlar verilebilir.

Yarıaktif kontrol sistemleri aktif kontrol sistemlerinin bir başka uygulamasıdır. Yapının ihtiyaç duyduğu dışardan sisteme etkiletilecek kuvvetin büyüklüğü aktif kontrole göre daha küçüktür. Yarıaktif kontrol cihazları yapıya mekanik bir enerji eklemediklerinden yapıda bir stabilite sorunu oluşma durumu söz konusu değildir. Yarıaktif kontrol cihazları kontrol edilebilen pasif cihazlar olarak bilinir.

3. AKTİF KONTROL

Aktif yapı kontrol sistemi, kullandığı dış güç kaynağı ile aktüatörleri (kontrol kuvvetini harekete geçiren mekanizma) harekete geçiren ve yapının kurallara göre, önceden tayin edilen davranışı göstermesini sağlayan karşı koyucu kuvvetler üreten bir sistemdir. Üretilen karşı koyucu kuvvetler yapıya hem enerji eklemek hem de enerjiyi dağıtmak amacıyla kullanılabilir. Aktif kontrol sisteminde, kontrol aktüatörlerine yollanan sinyaller sistemin sensörler (optik, mekanik, elektrik, kimyasal ve benzerleri) yardımı ile ölçülen tepkisinin fonksiyonudur.

Aktif kontrol sistemi, yapıların iç veya dış zorlamaların etkisiyle oluşan tepkilerinin kontrol edilmesi için kullanılır. Bu zorlamalar, güvenlik ve konfor seviyesinin düşünülmesini gerektiren makine ve trafik titreşimleri, deprem ve rüzgar yükleri gibi çok geniş bir sınıfı içine alabilir. Aktif kontrol, hidrolik, pnömatik, elektromanyetik veya motorlu cihazların kullanıldığı aktif kütle sönümleyici, karma kütle sönümleyici, aktif tendon sistemi gibi aktüatör çeşitlerinin kullanımını gerektirir. Aktif kontrol sisteminin önemli bir özelliği kontrol mekanizmasının harekete geçirilebilmesi için dış güç kaynağına ihtiyaç duyulmasıdır. Bu da sistemi büyük depremlerde her zaman mümkün olan güç kesintilerinde zayıf kılmaktadır [1].

Son 20 ile 30 yılda pasif ve aktif birçok kontrol aracı geliştirilmiştir. Yapıların aktif kontrolü için; AMD (Active mass damper-Aktif kütle sönümleyici) [Chang ve Soong 1980; Kobori 1991; Chang ve Yang 1995; Ankireddi ve Yang 1996], aktif tendon sistemleri [Abdel-Rohman ve Leipholz 1979, 1983 ; Yang ve Akparbour 1987] ve aktif kuşaklama sistemleri (active bracing systems) [Reinhom 1993] geniş olarak incelenmiştir. AMD bazı yüksek yapıların rüzgar titreşimlerini kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır [Xu 1995; Ankireddi ve Yang 1996]. Daha sonraları AMDlerin deprem ve ciddi rüzgar yüklerine karşı yüksek yapılarda kullanımının etkinliğini gösteren çalışmalar yapılmıştır. Daha önceden Yao (1972) ve Mc Namara'nın (1977) yaptığı çalışmalar yapılara aktif kontrol teorisinin uygulanabilmesi için iyi bir zemin hazırlamıştır [2].

Aktif kontrol kuvvetleri yapının belli noktalarına konulan sensörler tarafından ölçülen bilgilerin kullanılan özel kontrol algoritması aracılığıyla değerlendirilmesinden sonra ayarlanır. Aktif kontrol kuvvetleri yapısal karakteristikleri değiştirerek yapısal titreşimin azaltılmasını sağlar. Aktif kontrol

çektiği ilgiye rağmen beraberinde birçok zorluğu getirmektedir. Zaman gecikmesi, kontrol araçlarının yapıya en uygun biçimde yerleştirilmesi, yüksek fiyat bunlardan bazılarıdır. Aktif kontrol araçlarının kullanım ve yapıya yerleştirilmesiyle ilgili olan problemler Abdel-Rohman (1987), Yamada (1989), Rofooei ve Tadjbaksh (1993) tarafından geniş şekilde incelenmiştir [5].

Son yıllarda, kontrol sistemleri içinde aktif kontrol daha fazla ilgi çekmektedir. Aktif kontrolün en büyük avantajlarından biri sadece tek bir aktif cihazla, örneğin aktif kütle sönümleyici ile, birçok titreşim moduna müdahale edilebilecek tasarımlar yapılabilmesidir. Aktif kontrol sistemleri Japonya'da birçok binaya uygulanmıştır. Ancak bu sistemlerin çoğu rüzgar ve orta ölçekli depremlere karşı tasarlanmıştır. Aktif kontrolün daha büyük depremlere karşı koymak için kullanılması birçok sebepten dolayı tartışma konusu olmuştur. Büyük ölçekli depremlerde, buna dayanabilecek karşı koyucu kontrol kuvveti de çok büyük olmaktadır ve elde edilmesi zordur. Ayrıca bu kontrol kuvveti elde edilse bile yapının stabilitesi ve taşıyıcı sistemi üzerinde en az deprem kuvveti kadar zorlayıcı etki oluşturmaktadır. Bu yüzden bir yapının kullanım ömrü boyunca güvenilir bir aktif kontrol sistemi ile denetlenmesi oldukça zor bir görevdir [6].

3.1 AVDS Sistemi (Active Viscous Damping System)

Sönüm kuvvetlerinin kontrol edilmesi amacıyla önerilen sistemlerden biri AVDS'dir. AVDS sistemi büyük miktarda güç ve enerji gerektirmez. Bu sistem bir yapının gücünü ve rijitliğini arttırmadan sönümünü etkili bir şekilde arttıran bir araçtır. Sönüm kuvvetleri geniş bir aralıkta istenilen büyüklükte elde edilebilir. Yapılan araştırmalara göre sistem pasif viskoz sönümleyicilerden ve elektoreolojik sönümleyici cihazlardan daha başarılı sonuçlar vermiştir.

AVDS sistemi, kuşaklamalar ve rijit kat diyaframı arasında olmak üzere yapının çeşitli bölgelerine yerleştirilir. Sönüm kuvveti, deplasmandan bağımsızdır (elektoreolojik sönümleyicilerdeki gibi) ve hızın işaret değiştirdiği durumlarda aniden değişmez (sürtünmeli sönümleyicilerdeki gibi). Sistem yeni yapılarda ve eski yapıların geliştirilmesinde kolaylıkla uygulanabilir.

AVDS, bir silindir, bir aktivasyon çubuğu, iki tane bağımsız destek elemanı, iki viskoz sönümleyici ve kontrol aracından oluşur. Viskoz sönümleyiciler bağlantı elemanları vasıtasıyla bir uçundan destek elemanına diğer uçundan da aktivasyon çubuğuna bağlıdır. Kontrol aracı olarak viskoz sönümleyiciler ve aktivasyon çubuğuna dik düzlem arasındaki θ açısını değiştirebilen hidrolik piston

kullanılmıştır. Bu şekilde sönüm kuvveti istenilen her zaman aralığında istenilen bir değerde tutulabilir.

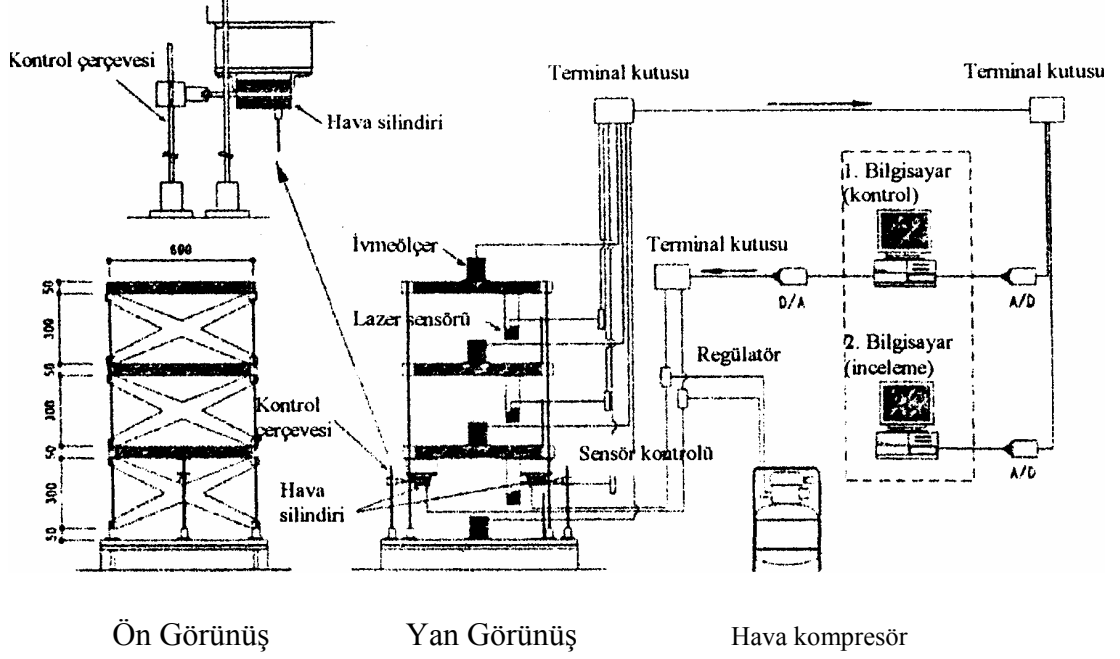
Yapılan araştırmalara göre AVDS ile donatılan bir yapıda deplasmanın maksimum değerlerindeki azalmalar kontrol edilmeyen bir yapıya göre %39 ile %73 değerleri arasında değişmektedir. Pasif kontrollü ve elektoreolojik sönümleyicili aktif kontrollü bir yapıda ise tepki azalmaları %13 ile %56 ve %17 ile %65 civarlarında olmaktadır. Elektoreolojik sıvılar kullanıldığında taban kesme kuvvetinde önemli değişiklikler olmaz. AVDS kullanıldığında ise bazı deprem kayıtlarında (El-Centro 1949 ve Taft 1952) taban kesme kuvvetinde azalma olurken bazıları (Loma-Prieta 1989 ve Eilat 1995) değişiklik gözlenmemiştir. Orta şiddetten biraz büyük ölçekli düşük hızlı depremlerde ise (Loma-Prieta 1989) AVDS, elektoreolojik aktif sönümleyici ve pasif viskoz sönümleyicilerden daha etkilidir. Sonuç olarak, AVDS cihazında üretilen karşı koyucu kontrol kuvveti deplasmandan ve hızdaki değişimden bağımsızdır. Genel olarak deplasmanlarda azalma görülürken taban kesme kuvvetlerinde önemli bir düşüş gözlenmemiştir. AVDS'nin isleyebilmesi için az bir güç ve enerji girişi yeterli olmakta bu da sistemi pratik uygulamalar için uygun kılmaktadır [7].

3.2 Aktif Hava Yastığı Kontrol Sistemi (Active Air-Bag Response Control S.)

Çeşitli tiplerde dış zorlamaların sebep olduğu yapısal titreşimlerin kontrolü için geliştirilen aktif hava yastığı kontrol sisteminde kavram olarak, güvenlik amacıyla otomobillerde kullanılan hava yastıklarından esinlenilmiştir. Bina tipi yapılarda şok hareketleri sonucu oluşan maksimum katlar arası deplasmanların kontrolü amaçlanmıştır. Sistemde, ilave çerçevelere bağlı hava silindirleri yapının ana çerçevesi için aktif kontrol kuvvetleri üretir.

Aktif hava yastığı kontrol sistemi genel olarak depremlerin sebep olduğu şok hareketlerinden dolayı oluşan yapısal tepkinin kontrolünü ve azaltılmasını amaçlar. Sistemin, bina tipi yapılarda gerçekleştirilebilmesi için havanın sıkıştırılabilmesinden yararlanılmıştır. Alt ve üst katlar arasında yeralan ilave kontrol çerçevelerine yerleştirilen hava silindirleri sistemin aktüatörleri olarak görev yapar. Sistemin etkinliğinin denetlenmesi için kurulan modelde üç serbestlik dereceli yapı iki kontrol cihazı ve alt kata yerleştirilmiş aktif hava yastığıyla birlikte benimsenmiştir. Aktif hava yastığı sistemi üst kata ve en alt kata bağlı ilave kontrol çerçevelerine bağlanan hava silindirleriyle monte edilmiştir. Hava silindirleri güçlü tahrikler altında havanın sıkıştırılabilirliğinden yararlanan şok emme özelliğine sahip araçlardır ve bu silindirler ayarlanarak istenilen aktif kontrol kuvveti üretilebilir. Bu kuvvet de hava

basıncını ayarlayabilen regülatörler tarafından kontrol edilir. Modelin tepkisi her kata konulan lazer sensörler ve ivme ölçerler tarafından ölçülür [8].



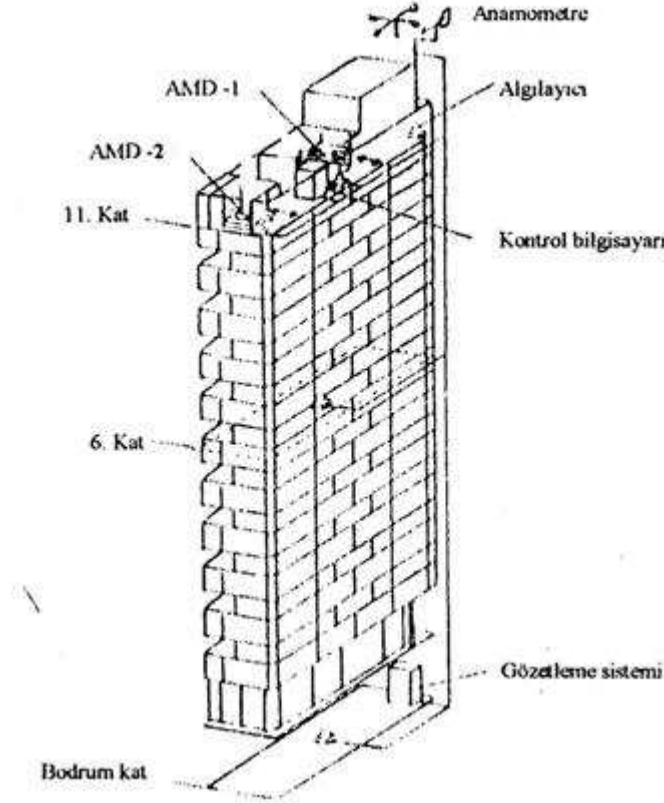
Şekil 3.1 Aktif hava yastığı sistemi deneysel modeli

3.3 Aktif Kütle Sönümleyici (AMD)

Bir binaya ilk tam ölçekli aktif kontrol uygulaması 1989 yılında Kajima şirketi tarafından yapılmıştır (Kobori 1990, 1994; Sakamoto 1994). Kyobashi Seiwa isimli bina 11 katlıdır ve toplam kat alanı 423m²'dir. Bina 2 adet AMD bulundurmaktadır. 1. AMD 4 ton ağırlığa sahiptir ve büyük şiddetteki titreşimleri kontrol etmek amacıyla en üst katta yapının merkezine yerleştirilmiştir, 1 ton ağırlığındaki 2. AMD binanın narin şeklinden dolayı meydana gelebilecek burulma titreşimlerini azaltmak için kullanılmaktadır. Sistemin amacı güçlü rüzgar ve depremlerde titreşimi azaltarak konforu arttırmaktır [1].

Güçlü depremlerle mücadele söz konusu olduğunda genelde iki büyük sorunla karşılaşılmaktadır. Birincisi böyle büyük depremlerin kontrol edilebilmesi için gerekli kontrol sistemi sistemin boyutundan da büyük olmaktadır. Ayrıca bugüne kadar yapılan hiçbir çalışmada titreşimi azaltan hareketli kütlenin ağırlığını ve bu ağırlığı harekete geçiren aktüatörün boyutlarını minimize edecek bir yaklaşım yapılmamıştır. Bu yüzden AMD sistemleri rüzgar ve küçük ölçekli depremlerin sebep olduğu titreşimlerin sönümlenmesi üzerinde odaklanmıştır. İkinci sorun ise yapısal güvenlik sorunudur. Aktif kontrol elektrikli kontrol üniteleri ve elektrikle çalışan aktüatörler içerir. Bugüne kadar, bu cihazların, inşaat mühendisliği

uygulamalarının gereksinimlerinin tümünü yerine getirebileni üretilmemiştir. Büyük depremler yüzyıl veya daha fazla zaman aralıklarında meydana gelir. Böyle uzun aralıklarla meydana gelebilecek büyüklükte depremleri düşünerek tasarım yapmak pek ekonomik olmaz, işte bu iki sorun sebebiyle, başta AMD sistemiyle güçlü depremlerle de mücadele amaçlanmışsa da, bugün bu sistemle ancak şiddetli rüzgar ve küçük çaplı depremlerde konforun ve güvenliğin artırılması üzerinde yoğunlaşmıştır.



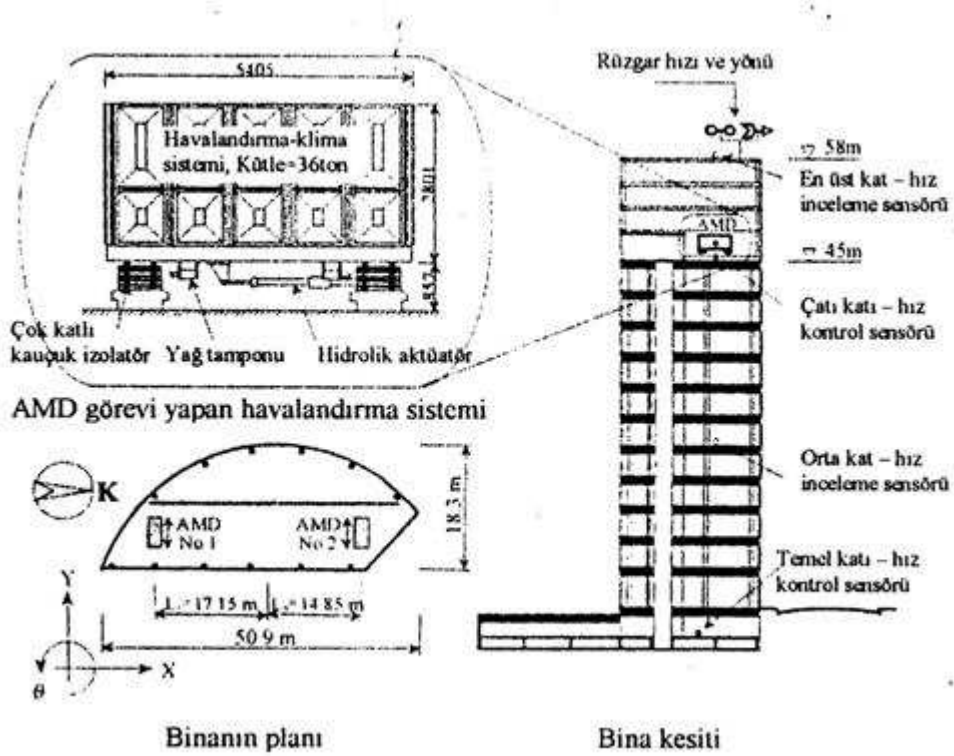
Şekil 3.2 Kyobashi Seiwa binası

Rüzgarlı bölgelerde yüksek bina inşaatı söz konusu olduğunda, binada oturanların konforunun geliştirilmesi gerçekten büyük bir sorun olmaktadır. Böyle bir problemi çözmenin geleneksel yolu yapıyı netleştirmek ve yapısal karakteristikleri, yapının frekansını rüzgarın frekansından uzaklaştıracak şekilde değiştirmektir. Ancak bu yaklaşım çok daha fazla malzeme kullanımını gerektirdiği için özellikle çelik yapılarda ekonomiklik sınırını zorlamaktadır. Yapısal elemanların rijitliğini arttırmak yerine yapıya ekstra sönüm özelliği kazandıran kütle sönümleyiciler kullanmak yapısal karakterleri değiştirmek için çok daha uygun ve ekonomik bir çözümdür.

İki çeşit kütle sönümleyici vardır. Bunlar TMD ve AMD'dir. TMD pasif bir sistemdir ve frekansını yapının kontrol edilmesi amaçlanan tek bir doğal frekansına

ayarlayarak çalışır. Bu temel teori bize yapının tüm doğal frekanslarından sadece birini seçme zorunluluğu getirir. Oysa bir yapıda genelde kontrol edilmesi gereken frekans sayısı iki öteleme ve bir dönme olmak üzere üç tanedir. AMD sistemi ise farklı modlarda tek bir sistemle ilave sönüm sağlar. Yani birden fazla frekansa müdahale etmek mümkündür.

1991 yılında Tokyo'nun merkezinde tamamlanan "Sendagaya INTES" binası AMD uygulamasının kullanıldığı yapılardan biridir. Bölgede güçlü rüzgarlar kuzey-güney doğrultusunda esmektedir ve binada enine titreşimlere sebep olmaktadır. AMD sistemi binaya bu titreşimleri azaltmak için iki ayn hareketli kütle halinde, plana göre enine doğrultuda yerleştirilmiştir. Kütle olarak binanın havalandırma ve klima kontrol sistemi kullanılmıştır. Böylece kontrol amacıyla ekstra kütle kullanımına ihtiyaç kalmamıştır.



Şekil 3.3 Sendagaya INTES binası ve AMD yerleşimi

27 Ağustos 1993 günü meydana gelen güçlü rüzgardan oluşan titreşimlerde AMD sisteminin binaya %3-4 arası ekstra sönüm kazandırdığı görülmüştür. 21 Mayıs 1993 günü gerçekleşen depremde de kontrollü durumda kontrolsüz duruma göre deplasmanlarda önemli azalmalar tespit edilmiştir.

1992 yılında Japonya'da Osaka'da tamamlanan "Appiause Tower" binasında acil durumlarda kullanılmak için bina üzerinde inşa edilen helikopter pisti AMD sisteminin kütlesi olarak kullanılmıştır. Pistin ağırlığı 480 ton'dur ve yaklaşık %3 ekstra sönüm sağlar. Binanın 26. katına kadar olan kısmı otel olarak kullanıldığı için konfor seviyesinin yüksek olması amaçlanmıştır. 26 Temmuz 1996'da meydana gelen tayfunda ölçülen kayıtlara göre sistem binanın sönümünü %3-5 arası arttırmıştır. Bu sonuçlara göre binanın titreşimleri kontrolsüz duruma göre yarı yarıya azalmıştır. Bir diğer AMD kontrollü bina 1994 yılında tamamlanan, Japon denizi kıyısındaki Kanazawa şehrindeki "PORTE Kanazawa" binasıdır. AMD kütlesi beton bir bloktan oluşmaktadır ve yaz aylarında karşılaşılan güçlü rüzgarlara karşı koruma sağlamaktadır [9].

3.4 AVS Aktif Rijitlik Değiştirici Sistem (Active Variable Stiffness System)

Yardımcı bir kütlenin ataletini kullanarak kontrol kuvveti üreten AMD sistemi ve aktüatör kullanarak direkt kontrol kuvvetinin uygulandığı aktif tendon sistemi diğer aktif kontrol sistemlerine göre basit ve işletilmesi kolay olan sistemlerdir. Ancak yapı büyüdükçe ve deprem şiddeti arttıkça bu sistemlerin işletilmesi için çok daha fazla enerji gerekmektedir. Bunun gibi durumlarda, bu sistemlere alternatif olarak sismik tepki kontrolünün amaçlandığı AVS sistemi önerilmiştir. Sistem depremler sırasında binada titreşimsiz durumun sağlanmasını amaçlamaktadır. Bu durum zamana bağlı olarak sürekli değişim gösteren deprem hareketine göre yapının rijitliğini ayarlayarak sağlanır. Sistemin amacı potansiyel olarak yıkıcı deprem kuvvetlerini azaltıp insan hayatını korumanın yanında yapısal emniyetin, yapı fonksiyon ve olanaklarının artırılmasıdır. Yapısal rijitliğin mekanik sistem vasıtasıyla değiştirilip ayarlanması için az miktarda enerji yeterli olmaktadır. Böylece çok büyük depremlerde bile etkili bir kontrolün avantajları kullanılabilir. AVS sistemi iki parçadan oluşan bir binaya uygulanmıştır. Binanın birinci kısmı deneysel çalışmalarda kullanmak için inşa edilen betonarme sarsma tablası binasıdır. Diğer kısım ise üç katlı çelik konstrüksiyon kontrol binasıdır. Bu iki bina aynı temel üzerine oturmakta olup temel üstünden itibaren yapısal olarak birbirlerinden bağımsız binalardır. Rijitlik değiştirici cihazlar (VSD) kuşaklamaların üstü ile kirişler arasına kontrol binasının kısa doğrultusunda (enine) yerleştirilmiştir. VSD, kuşaklamalar ve kiriş arasındaki bağlantıyı kilitli veya açık konuma getiren iki ana biçimde bulunabilir. Kilitli durumda kuşaklamalar aktif hale geçerken, açık durumda etkisiz kalmaktadır. Bina, tüm katlardaki VSDler kilitli konumdayken doğal titreşim frekansı 2,5Hz, tümü açıkken 1Hz olacak şekilde tasarlanmıştır. Kontrol edilmesi amaçlanmayan boyuna doğrultuda ise yapısal rijitliği arttırıcı güçlendirme amaçlı

kuşaklamalar yerleştirilmiştir. Böylece enine doğrultuda burulma hareketi minimum düzeye indirilmiştir.

Sistemin işleyişi ivme ölçerler tarafından ölçülen deprem ivmelerinin binanın birinci katına yerleştirilen hareket analizleyicinin bu ivmeleri girdi olarak almasıyla başlar. Hareket analizleyici girdiye göre bina için uygun olan rijitlik tipini seçer. Kontrol binası için kilitli ve açık olmak üzere iki durum mümkün olduğu için toplamda 8 rijitlik tipi seçilebilir. Ancak bunlardan en önemli üç tanesi seçilerek kontrol etkisi azaltılmadan, meydana gelebilecek komplikasyonlardan kaçınılmış olur. Daha sonra kontrol bilgisayar binada en az tepki oluşmasını sağlayan rijitlik tipini seçer ve kontrol sinyalleri VSD'ye yollanarak gerekli rijitlik ayarlanır.

VSD cihazı iki taraflı kapalı hidrolik silindir ve silindir uçlarındaki odacıkları birleştiren bir sübaptan oluşur. Hidrolik silindirin içindeki yağın hareketiyle sistemin kilitli veya açık olma durumu belirlenir. Her kontrol sübabını harekete geçirmek için 20 Watt kadar elektrik gücü yeterlidir. Böylesi az bir enerji tüketimi ile elektrik kesintisi olması halinde sistemi en az 30 dakika besleyecek bir kesintisiz güç kaynağı binaya yerleştirilmiştir.



Şekil 3.4 AVS sistemi ileri besleme kontrol algoritması

AVS herhangi bir aktüatör içermediği için, AMD sisteminde kullanılan hidrolik yağ pompasına gerek kalmaz. Böylece enerji ihtiyacı da daha az olur. Sismik yüklere karşı etkinlik, güvenlik, az enerji tüketimi ve uzun ömürlülük gibi özelliklerinden dolayı AVS sistemi AMD sistemine göre daha avantajlıdır [10].

3.5 ABS Aktif Kuşaklama Sistemi (Active Bracing System)

Yapıların aktif kontrolü için önerilen bir diğer sistem de ABS sistemidir. 1990 yılında Tokyo'da Amerikalı araştırmacılar tarafından gerçek zemin hareketlerinde test edilmek üzere tam ölçekli bir binaya ABS sistemi uygulanmıştır. Bina iki simetrik açıklıklı 6 katlı bir binadır. Çelik çerçeveli sistem, dikdörtgen tüp kolonlar,

W profil kirişler ve betonarme döşemelerden oluşmaktadır. 600 ton ağırlığındaki bina tipik bir yüksek bina davranışını görebilmek için güçlü yönde 1,1 sn., zayıf yönde 1,5sn.'lik doğal titreşim periyotları elde edilecek biçimde tasarlanmıştır. Hakim modlarda bina %0,5-1 arası düşük sönüme sahiptir.

ABS sistemi binanın birinci katma çapraz olarak yerleştirilen tüp şekilli kuşaklamalar içerir. Kontrol sistemi, kuşaklamalar doğrultusunda çalışan hidrolik servo-kontrollü aktüatörler sayesinde kuşaklamaların boyuna uzama ve kısılmasını sağlar. Kontrol sistemi ayrıca bir hidrolik güç kaynağı, bir analog ve dijital kontrol işlemcisi ve analog sensörler içerir.

Yapının maruz kaldığı depremlerde, kontrollü durumdaki tepki otomatik olarak aktif hale geçen kontrol sistemi tarafından kaydedilmiştir. Yer hareketi anlık olarak ölçülerek kaydedilmiş ve kontrolsüz durumda oluşabilecek olası tepki bu verilerden yararlanılarak kurulan analitik model vasıtasıyla tahmin edilmiştir.

ABS sistemi eski binaların güçlendirilmesi için pratik bir çözüm yoludur. Nitekim, yukarıda bahsedilen deneysel amaçlı binanın kuşaklamalarının binanın inşaatı tamamlandıktan sonra kurulduğuna dikkat etmek gerekir [11].

4. PASİF KONTROL

Bütün yapılar yapıya aktarılan enerjiyi plastik deformasyonlar çatlaklar dayesinde sönümler. Büyük enerji sönümleme kapasitesi ve küçük genlikli titreşimler beklenen en iyi durumdur. Bazı yapılar kritik sönümün %1'i mertebesinde sönüm oranına sahiptir ve bunun sonucu olarak büyük depremlerde büyük genlikleri olan titreşimler yaparlar. Enerji sönümleme kapasitesini artırmak yapıdaki titreşim genliklerini küçültmekle mümkün olur. Sönüm oranını artırmanın birçok yolu mevcuttur. Pasif enerji sönümleyici sistemler birçok çeşit malzeme kullanılarak, sönüm rijitlik ve dayanım iyileştirmesine ihtiyaç duyulan birçok yapıda kullanılmaktadır. Son yıllarda pasif kontrol sistemleri ve cihazları ile ilgili birçok araştırma yapılmış ve birçok yapıda uygulaması gerçekleştirilmiştir [2]. Genel olarak yapılan uygulamalarda bu cihazlar yapının enerji sönümleme kapasitesini artıracak özelliklerde seçilmiştir. Bunun sağlanmasında kinetik enerjinin ısıya veya titreşim modları üzerinde transfer edilmesi ile olmuştur. İlk metod sürtünmeli kayma, metallerin akması, metalde faz transformasyonu, viskoelastik malzeme ve sıvıların deformasyonu ile sağlanır. İkinci metod ise titreşimi sönümleyen bir osilator ile sağlanır.

4.1 Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif Kontrol Sistemleri yapıya ek sönüm bazen de ek rijitlik sağlayan ve yapının performansını artıran sistemlerdir. Pasif Kontrol Sistemleri'nin birincil kullanım amacı depremden dolayı oluşan yer değiştirmeleri azaltmaktır. Ayrıca yapının elastik davranması koşulu ile yapı içindeki kuvvetlerin azaltılmasını sağlar. Fakat yapının elastik ötesi davranışlarında yapı içindeki kuvvetleri azaltması beklenmemelidir.

Akademik ve endüstriyel alanlarda yapılan araştırmalar sonucu ek sönüm sağlayan değişik histeretik özelliklere sahip enerji yutucu donanımlar geliştirilmiştir. Hangi aygıtın kullanılacağı, uygulanacak yapıya ve tasarımcının isteklerine bağlıdır.

Deprem sonucu oluşan kuvvetlerin yapıdaki elemanlara hangi oranlarda aktarılması istendiği, beklenen yer değiştirme değerleri, yutulacak enerji miktarı bu tasarım sırasında göz önüne alınacak ölçütlerdir. Bu amaçla değişik enerji yutucuların özellikleri ve davranışları bu bölümde açıklanacaktır.

4.1.1 Metal sönümleyiciler

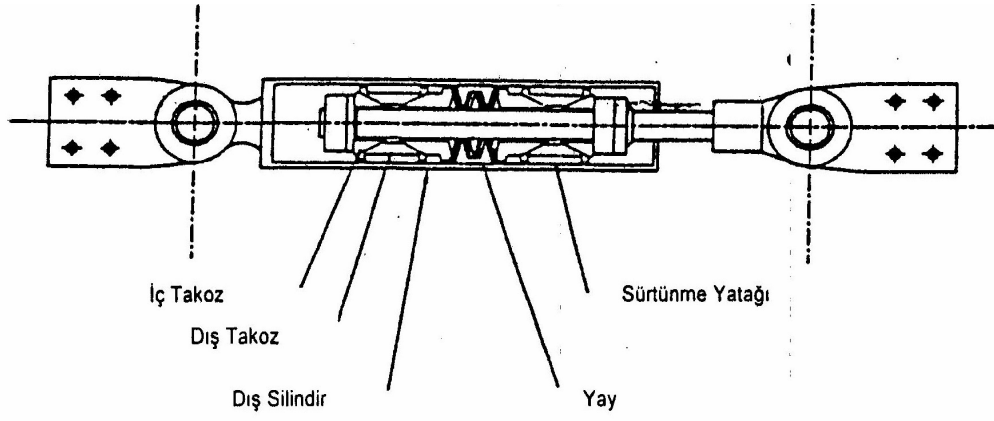
Bu tür enerji yutucular metallerin histeretik davranışlarından faydalanılarak, genellikle çelik malzeme ve sismik kat ötelemeleri sonucu oluşan eğilme, kesme veya eksenel yükleri alacak şekilde tasarlanmıştır. Tercih edilmelerindeki en önemli sebepler; uzun süreli çalışma güvenilirlikleri, çevre ve sıcaklık değişimlerine dayanıklı olmalarıdır. Eksenel metal sönümleyiciler genelde çapraz bağlantı şeklinde yerleştirilir. Kesme ve eğilmeye çalışan sönümleyiciler duvarın üst noktası ile üst katın kirişinin alt noktası arasına yerleştirilir. Bir diğer kesme ve eğilmeye çalışan sönümleyici tipi çelik bir kafes üzerine monte edilmiş haldir.

İki önemli sönümleyici özelliği rijitlik ve akma dayanımı yapı rijitliğine ve elastik kuvvet dayanımına bağlı olarak normalize edilmiştir. Tek katlı bir yapı için hesabı basit fakat çok katlı yapılar için yapı yüksekliği boyunca yapı rijitliğinin ve elastik kuvvetlerin hesaplanması gerekir. Ayrıca elastik kuvvetler deprem yüklemesinin bir fonksiyonu şeklindedir. Çoğu sönümleyici gerektiren sistem, elastik sınırlar içinde davranış göstermez ve bu nedenle enerji yapısal elemanlar tarafından emilir. Bunların dışında metal sönümleyicilerin etkili olabilmesi için yüksek rijitlik ve yüksek akma dayanımına ihtiyaç vardır. Yüksek rijitlik ve akma dayanımı sebebi ile yapının dinamik özelliklerinde önemli değişikliklere sebep olurlar. Bu sayede yapının periyodu düşer taban kesme kuvveti büyür. Uygulamada karşılaşılan bir diğer zorluk ise metal sönümleyicilerin eklenen rijitlik ve sönüm özelliklerinin ikisinin birden yapıdaki yer değiştirmeleri azaltmaya yönelik olması nedeni ile hangi oranda katkılarının olduğunun ayırımında yaşanan zorluktur.

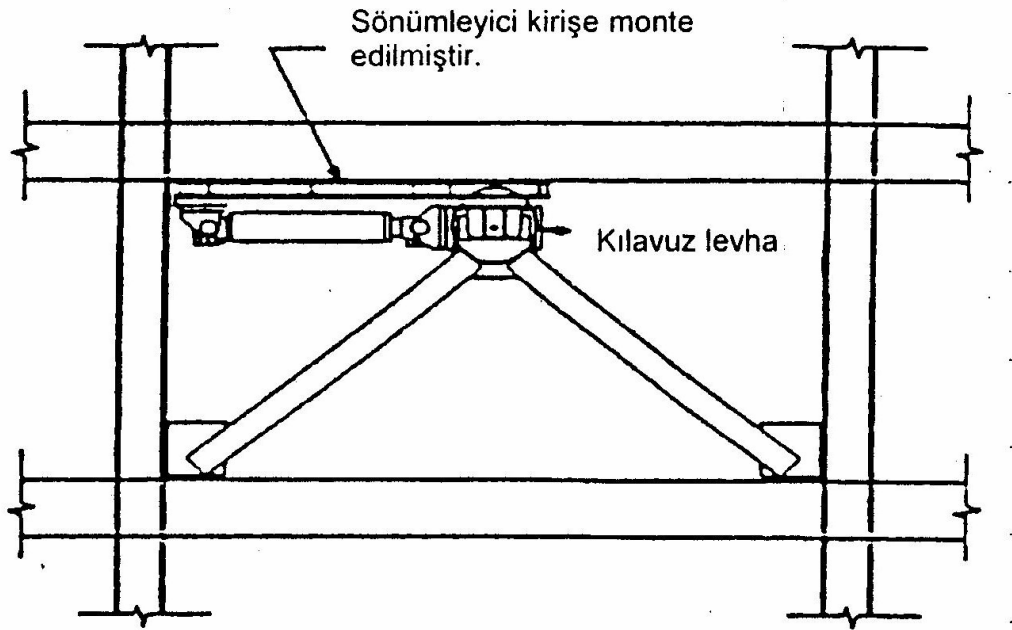
4.1.2 Sürtünme sönümleyicileri

Birçok değişik malzeme kullanılarak üretilen kayan yüzeylere sahip sürtünme sönümleyicileri vardır. Genelde çelik alaşımları ve metaller çapraz bağlantı şeklinde kullanılır. Sürtünme cihazlarının genel olarak iyi performans özellikleri bulunmaktadır. Davranışları yükleme genliğinden, frekansından ve yük çevrimi sayısından belirgin bir biçimde etkilenmez.

Şekil 4.1 'de Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti görülmektedir. Kurşun tozu emdirilmiş bakır yastıklar çelik kaplanmış cihaz ile temas halindedir. Değişik takozlarla yükün alındığı sürtünme yüzeyi geliştirilmiştir. Bu cihazlar her zaman çapraz bağlantı şeklinde kullanılmayabilirler. Şekil 4.2 'de görüldüğü gibi bir kafese bağlantılı olarak kat kirişlerine de uygulanabilir [12].



Şekil 4.1 Sumitomo sürtünme aygıtının boyuna kesiti

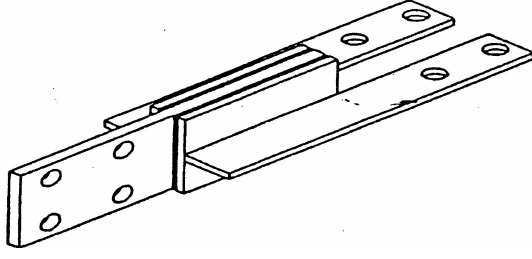


Şekil 4.2 Sumitomo sürtünme aygıtının kurulumu.

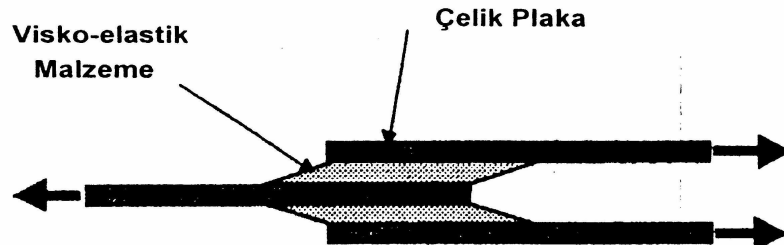
Sürtünme sönümleyici aygıtlar da metal sönümleyiciler gibi yer değiştirmeye bağlıdır. Metal sönümleyiciler için uygulamada yaşanan sorunların çoğu sürtünme sönümleyicilerinde de yaşanmaktadır.

4.1.3 Visko-elastik sönümleyiciler

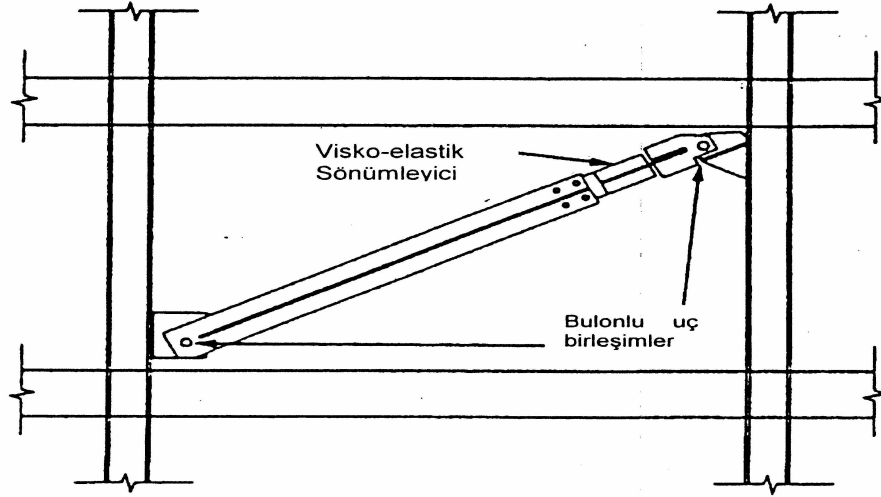
Visko-elastik sönümleyiciler hız bağımlı bir sönüm kuvveti üretirler ve buna ek olarak da elastik rijitliğe sahiptirler. En yaygın tipi merkezde bir çelik tabaka ve etrafında dıştaki iki çelik tabakaya bağlayan akrilik polimer tabakalar bulunan şeklidir.



Şekil 4.3 Visko – elastik sönümleyici

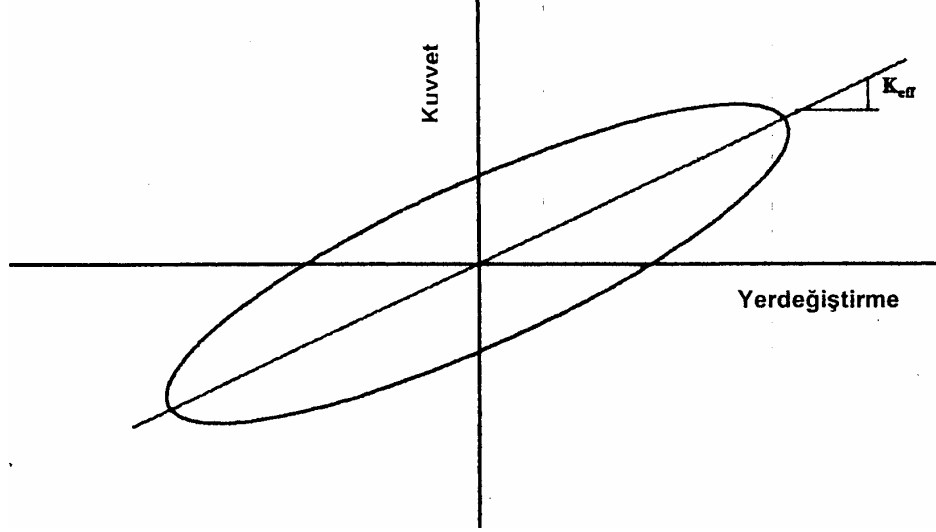


Şekil 4.4 Visko – elastik sönümleyiciye etkiyen kuvvetler



Şekil 4.5 Visko-elastik sönümleyicinin yerleşimi

Visko-elastik sönümleyiciler elastik bir yay ve viskoz sönümleyici özelliklerinin kombinasyonu şeklinde özellik göstermişlerdir. Şekil 4.6 'da kuvvet-yer değiştirme grafiği görülmektedir.



Şekil 4.6 Visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiği.

Visko-elastik Sönümleyicilerin karşıladığı kuvvet şu şekilde hesaplanabilir.

$$F_D = k_{eff}\Delta + C u \quad (4.1)$$

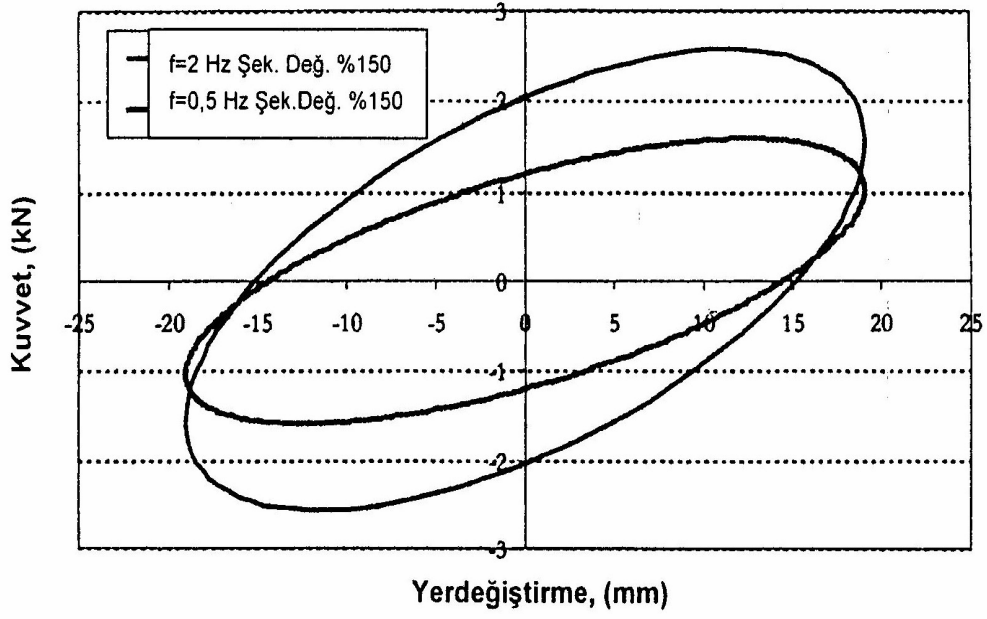
k_{eff} sönümleyicinin etkili rijitliği, Δ yaptığı yer değiştirme, C sönüm katsayısı, u ise hızıdır. Viskoz sönümleyicilerden farklı olarak hız bağımlı sönümün üstel değeri 1 alınan lineer bir fonksiyondur. Etkili rijitlik ise;

$$k_{eff} = G' A b / t \quad (4.2)$$

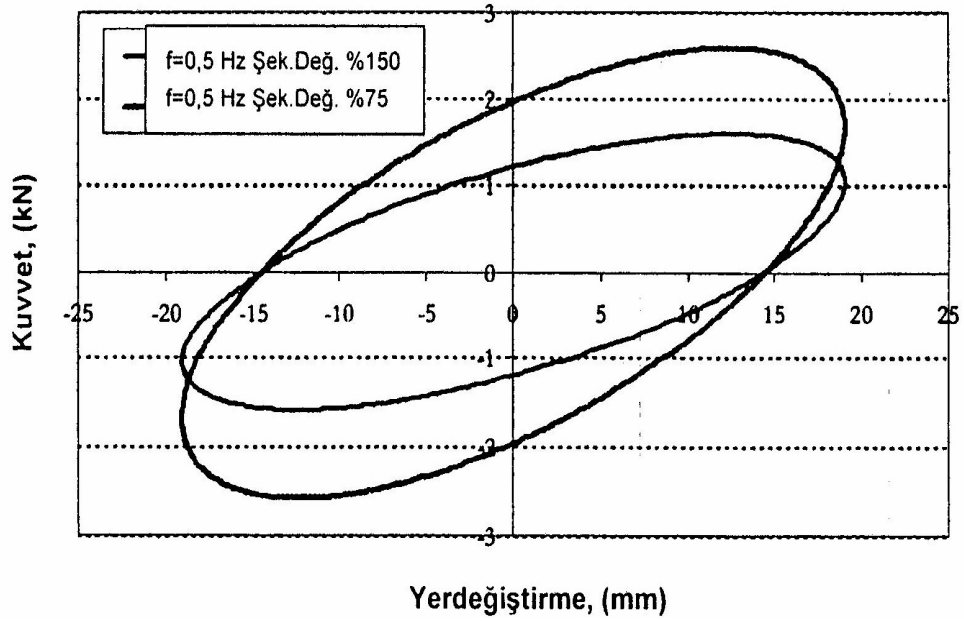
şeklinde hesaplanır. Burada G' depolanan kayma modülü, Ab cihazın toplam bölümlerinin alanı, t visko-elastik malzemenin toplam kalınlığıdır. Sönüm katsayısı C ;

$$C = G'' Ab / \omega t \quad (4.3)$$

şeklinde hesaplanır. G'' kayıp kayma modülü, ω frekanstır. Sönüm özellikleri G' ve G'' frekans, sıcaklık ve şekil değiştirme kapasitesine, kullanılan malzemenin özellikleri doğrultusuna bağlıdır. Deprem sırasında sönümleyicilerde meydana gelecek sıcaklık değişimi çok fazla olmamasına karşın, hava sıcaklığındaki bir değişim sönümleyici özelliklerini farklılaştırmaktadır [13].



Şekil 4.7 Visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiğine frekansın etkisi.



Şekil 4.8 Visko-elastik sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme grafiğine kayma şekil değiştirmesinin etkisi.

Şekil 4.7 'de frekanstaki değişim histeresis eğrisini nasıl etkilediğini görüyoruz.

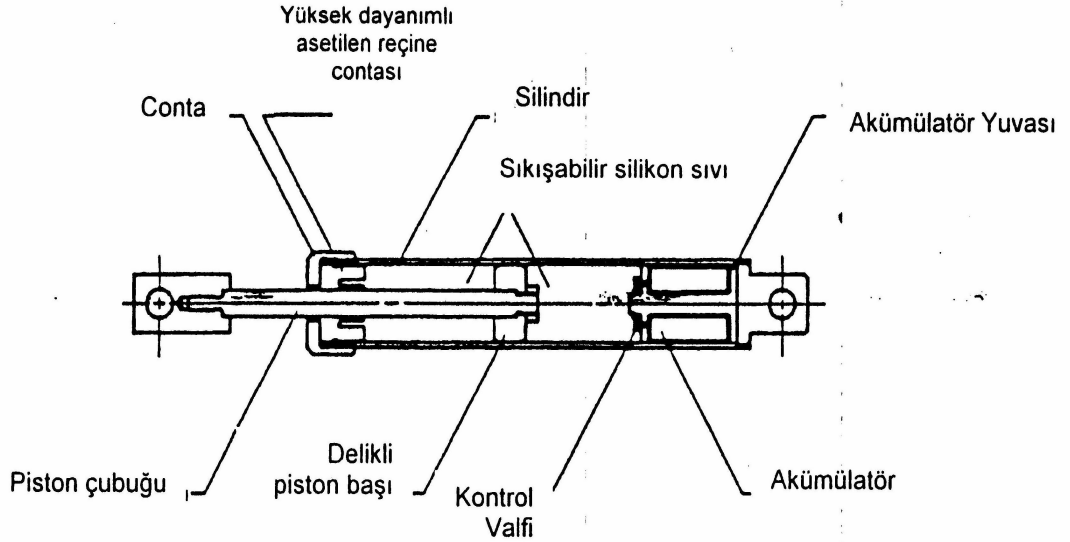
Şekil 4.8’de ise Visko-elastik sönümleyicilerin şekil değiştirme kapasitesinin histeresis eğrisini nasıl değiştirdiğini görüyoruz.

Visko-elastik sönümleyiciler şekil değiştirmeye, sıcaklığa ve frekansa bağlı özellikler gösterdikleri için tasarım sırasında karışık ve tekrarlanması gereken hesaplar yapılması gerekir. Çoğu yapının da periyodu dolayısı ile frekansı bilinmektedir.

Sönümün frekans üzerinde çok ufak bir değişiklik yaptığı kabul edilebilir. Kat ötelemeleri için de sönüm oranının tahminine göre elastik ötelemeleri kullanarak bir azalma düşünülebilir. Bu iki basitleştirme ile sönümleyicinin ön tasarım özellikleri seçilebilir.

4.1.4 Viskoz sönümleyiciler

Viskoz sönümleyiciler visko-elastik sönümleyiciler gibi hız bağımlı sönüm kuvveti oluşturan cihazlardır fakat yapıya sadece ek sönüm sağlarlar. Çoğu viskoz sönümleyici, sıvı viskoz sönümleyicidir ve arabalardaki şok emici amortisörlere benzer. Bu tür aygıtların üretildiği sıvılar yük yavaş etkidiğinde düşük, hızlı etkidiğinde yüksek dayanım özelliğine sahiptir.

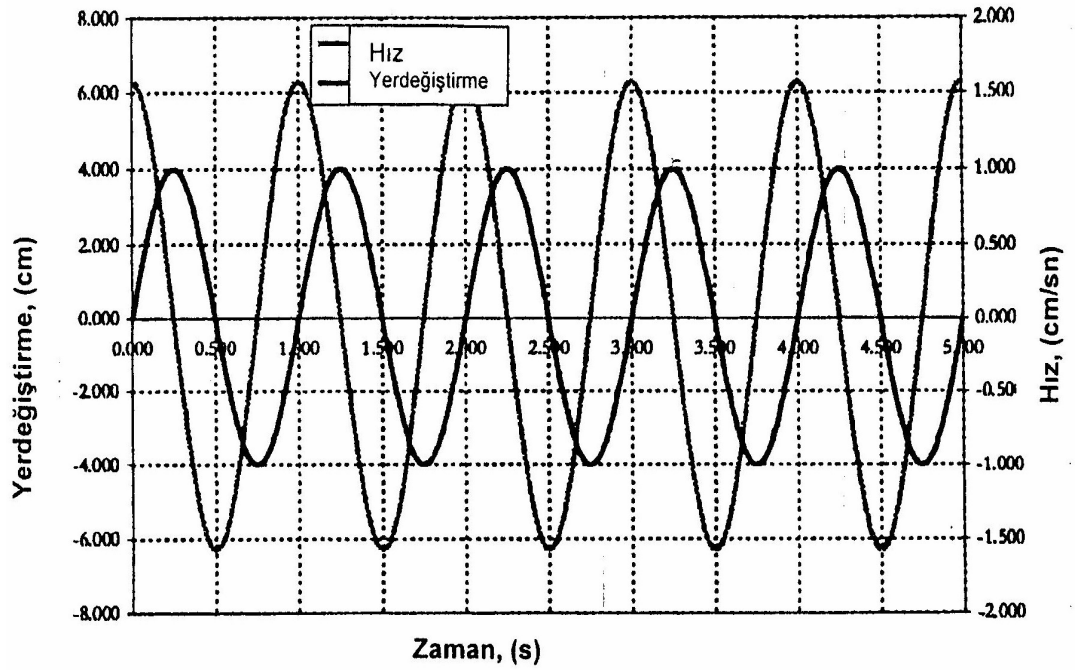


Şekil 4.9 Amerikan Hava Kuvvetleri'nde kullanılan viskoz sönümleyici.

Şekil 4.9 'da bir viskoz sönümleyicinin yapısı görülmektedir. Delikleri olan bronz başlıklı paslanmaz çelik bir piston ve bir akümülatör vasıtası ile çalışır, içine silikon yağ konmuştur. Delik akışı -40°C ile 70°C arasında çalışmaya izin verecek şekilde pasif bir termostat ile yerine doldurur. Sönümleyicinin basınç kuvveti aldığını varsayarsak piston soldan sağa hareket eder, ve sıvı ikinci odadan birinci odaya

doğru harekete geçer. Sönüm kuvveti bu odalardaki basınç diferansiyeli ile orantılıdır. Ama hareket ve piston çubuğunun alanı sonucu ile sıvı hacmi azalır. Sıvı sıkışabilir olduğundan bu hacimdeki azalma yerine konabilen kuvvetin gelişmesi ile oluşmuştur. Bu durum ise akümülatörün kullanımı ile önlenmiş olur. Cihazlar üzerinde yapılan testlerde 4 Hz 'den az frekanslı piston hareketlerinde ölçülebilen bir rijitliğe rastlanmamıştır. Bu kritik frekans akümülatörün tasarımına bağlıdır ve istenen bir durumdur. Bu cihazlar yapının birinci modunda ek viskoz tipi sönüm, yüksek modlarında da ek sönüm ve ek rijitlik sağlar. Çünkü genel olarak yapıların temel frekansları kritik frekanstan daha düşüktür.

Şekil 4.10 'da 1 sn periyotlu bir sinüs yer değiştirme dalgasının karşılığı olan hız fonksiyonu görülmektedir. Yer değiştirmenin maksimum olduğu anda hız sıfır, hızın maksimum olduğu anda yer değiştirme sıfırdır. Teoride viskoz sönümleyiciler yapının elastik yüklerine bir katkıda bulunmaz çünkü maksimum sönüm kuvveti elastik kuvvetler yani yer değiştirmeler küçükken meydana gelir. Pratikte ise sönüm kuvvetleri ve yer değiştirme kuvvetleri birleştirilmek zorundadır.



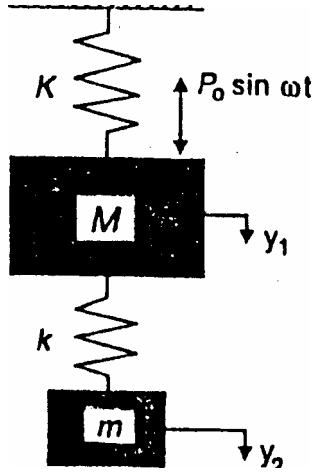
Şekil 4.10 Yer değiştirme ve hız arasındaki faz farkı.

Viskoz sönümleyiciler, hız bağımlı oldukları için yer değiştirmelerle faz farklı olarak sönüm kuvvetleri üretirler. Bu yüzden sönüm kuvvetlerinin, yapısal kuvvetlere katkısı yoktur.

Sönümleyici özelliklerinden C istenilen sönüm oranına göre herhangi bir değer seçilebilir. Hızın üstel değeri a , sönümleyici üreten firmaya göre 0.5 ile 2.0 arasında veya 0.2 ile 1.0 değeri arasında alınabilir. Eğer bu değer en sık kullanılan 1.0 olarak seçilirse viskoz sönümleyicinin lineer hareket ettiği kabulü yapılmış olur.

4.1.5 Ayarlanmış kütle sönümleyiciler

Önceleri makine mühendisliği açısından geliştirilen bu tür dinamik yük emiciler, kütlesi M ve rijitliği K olan yaya bağlanan, küçük kütle m ve rijitliği k olan yay Şekil 4.11 'deki gibi tanımlanır. Harmonik bir hareket altında M kütlesi, m kütlelerinin doğal frekansının, zorlayıcı frekansa eşit tutulması ile sabit halde bırakılabilir.



Şekil 4.11 Ayarlanmış kütle sönümleyicileri.

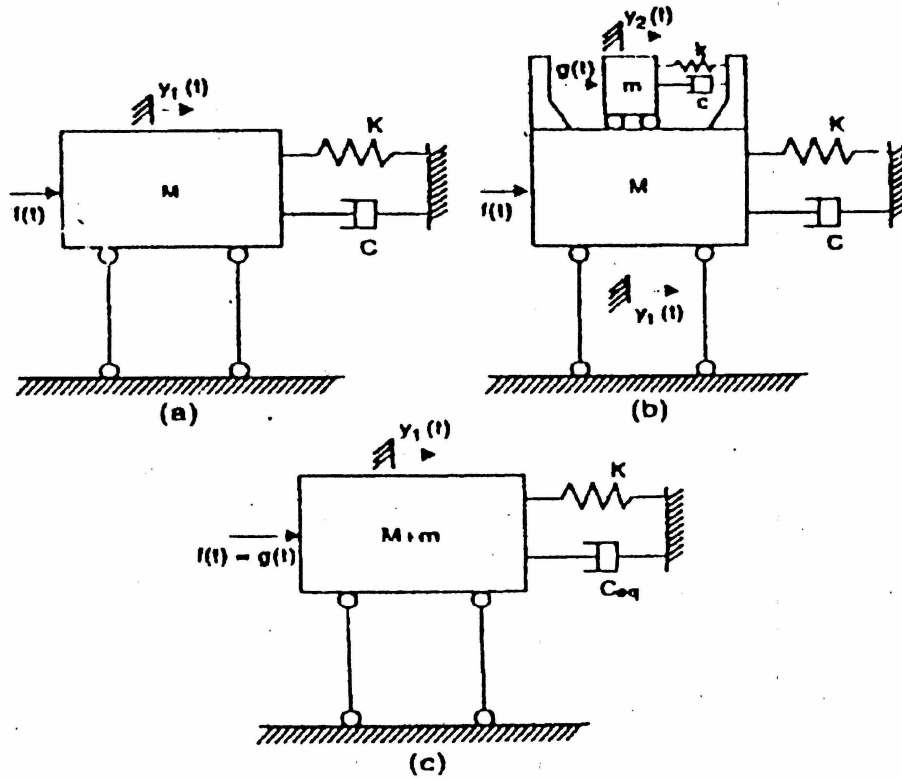
İlk olarak tek serbestlik dereceli Şekil 4.12a 'da ki gibi bir sisteme $f(t)$ titreşim kuvveti verilmektedir. Yapının tepkisi bazı şartlar sağlanarak ikinci bir kütle veya ayarlanmış kütle Sönümleyici konarak azaltılabilir (Şekil 4.12b)

Yapı ve ayarlanmış kütleli sönümleyici için hareket denklemleri;

$$M y_1''(t) + C y_1'(t) + K y_1(t) = c z'(t) + k z(t) + f(t) \quad (4.4)$$

$$m z''(t) + c z'(t) + k z(t) = - m y_1''(t) + g(t) \quad (4.5)$$

Denklem (4.4) ve (4.5) 'te $y(t)$ yapısal sistemin yer değiştirme fonksiyonu, $z(t)$ eklenen kütle için göreli yer değiştirmesidir. Eklenen kütle için sönüm c , rijitlik k , yapı için sönüm C ve rijitlik K 'dır. Yapıdaki dış kuvvetler $f(t)$ ve $g(t)$ ile ifade edilir. Rüzgar yükleri için $g(t)$ sıfıra, deprem için $p(t)$ 'ye eşittir.



Şekil 4.12 Ayarlanmış kütle sönümleyici ile tek serbestlik dereceli sistem.

Denklem (4.4) ve (4.5) 'i toplarsak;

$$(M+m) y_1''(t) + C y_1'(t) + K y_1(t) = f(t) + g(t) - m z''(t) \quad (4.6)$$

Küçük kütle m 'i sisteme eklemenin sistemin doğal frekansında ufak bir artışa ve dış yüklerin $f(t)$ 'den $f(t)+g(t)$ 'ye artmasına rağmen hareketi azaltan kuvvet ek olarak gelen $[m \cdot z''(t)]$ 'dir [14].

4.1.6 Ayarlanmış sıvı sönümleyiciler

Ayarlanmış sıvı sönümleyiciler, ayarlanmış kütle sönümleyicilere benzerler fakat burada hareketi engelleyen sıvının yüksek derecede lineer olmayan davranışdır. Bu yüzden ayarlanmış sıvı sönümleyicilerin özellikleri fiziksel deneylere dayanmaktadır.

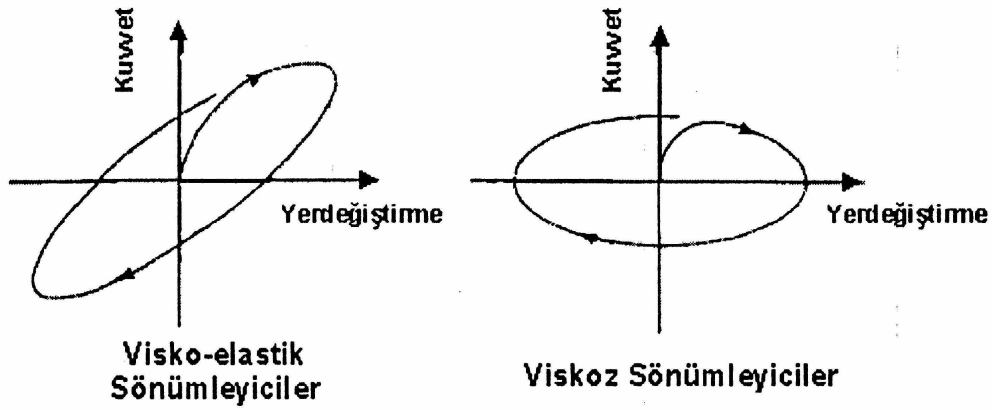
4.2 Pasif Kontrol Sistemlerin Modellenmesi

Yer değiştirme-bağımlı cihazlar rijit-plastik (sürtünme türü sönümleyiciler), bi-lineer (metal sönümleyiciler) veya tri-lineer histeretik davranış sağlayan sönümleyiciler

olmak üzere, hareketin hızından ve frekansından bağımsızdır. Katı ve sıvı visko-elastik sönümleyiciler, sıvı viskoz sönümleyiciler hız bağımlı cihazlar olarak tanımlanmıştır.

Enerji yutucu sistemlerin modeli; yapısal elemanların rijitliğini, enerji yutucu sistemlerin performansını etkileyen zemin özelliklerini ve yapının esnekliğini, enerji yutucular ile birlikte çalışan kararlılık bağlantılarını ve kararlılık bağları ile enerji yutucular arasındaki bileşimleri kapsamalıdır.

Şekil 4.13 'te ise hız-bağımlı cihazların idealleştirilmiş kuvvet-yer değiştirme grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.13 Hız-bağımlı cihazların ideal kuvvet-yer değiştirme çevrimleri

4.3 Taban İzolasyonu Sistemi ve Türleri

Taban izolasyonu kavramı oldukça basittir. Taban izolasyon sistemi; yapı ile temeli arasına düşük yatay rijitliği olan yapı elemanlarını ekleyerek yapıyı, yer hareketinin yatay bileşenlerinden ayırmaktadır. Bu yöntem, yapıya; hem ankastre mesnetli sistemin frekansından hem de yer hareketinin hakim periyotlarından çok daha küçük olan bir asal frekans vermektedir. Taban izolasyonlu yapının birinci dinamik modu sırasında yer değiştirme sadece izolasyon sisteminde olur. Üstyapı neredeyse tamamen rijit davranış gösterir. Yapıda yer değiştirme üreten üst modlar, birinci moda ve dolayısıyla yer hareketine ortogonaldirler. Bu üst modların harekete katılımı düşüktür. Böylelikle, yüksek frekanslardaki yer hareketinin büyük enerjisi yapıya aktarılmamaktadır. İzolasyon sistemi, deprem enerjisini sönümleyememekte ancak ondan ziyade sistemin dinamikleri vasıtasıyla yönünü değiştirmektedir. Bu etki sönüme bağlı değildir.

Taban izolasyonu uygulaması; yapı mühendislerince kullanılan geleneksel yaklaşımlara nazaran, depreme karşı dayanıklılık sağlamak üzere köklü ve radikal bir yaklaşımdır. Geleneksel yöntem olan ankastre temelli yapı tasarımında, yapıya üstün nitelikli bir sismik performans kazandırmak üzere yapı sistemini sağlamlaştırmak; yapının daha rijit olmasına yol açmakta, bu durum yapının ve ona bağlı diğer taşıyıcı elemanların daha fazla kuvvet almasına neden olmaktadır.

Taban izolasyonu, yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmaktan daha ziyade, yapının depreme karşı tepkisini azaltma esasına dayanan bir tür depreme dayanıklı yapı tasarımı yaklaşımıdır. Bu teknolojinin düzgün ve doğru bir şekilde uygulanması, yapıların şiddetli depremler sırasında rijit davranış göstermesine ve zorlanmanın elastik sınırlar içinde kalmasına yol açmaktadır. Taban izolasyonunun, teorik altyapısı ve teknolojisi; özellikle son otuz yıl içerisinde yürütülen kapsamlı deneysel çalışmalar yardımıyla oluşturulmuş ve geliştirilmiştir.

Taban izolasyonu; mühendisin düşük fiyatlı yapı sistemleri kullanarak orta ve büyük şiddetli depremlerde, hem binadaki hem de bina içindeki eşyalarda meydana gelebilecek hasarı kontrol etmesini yani sınırlandırmasını sağlar. Özellikle içinde hassas eşyalar barındıran önemli binalarda, taban izolasyonu uygulamasına gidilmesi hiç şaşırtıcı değildir. Bir binaya; depreme karşı üstün bir dayanım kazandırmakla sorumlu olan yapı mühendisinin karşılaşacağı temel ikilem, görelî kat ötelemesini ve kat ivmelerini minimize etmektir. Büyük görelî kat ötelemeleri, yapısal olmayan elemanlarda ve katları birbirine bağlayan yapı elemanlarında hasara neden olmaktadır. Yapıyı daha rijit hale getirerek, görelî kat ötelemeleri minimize edilebilir. Ancak bu yöntem, yer hareketi etkisinin büyümesine ve hassas eşyalara zarar gelmesine neden olabilecek yüksek kat ivmelerinin meydana gelmesine yol açacaktır. Kat ivmeleri ise, sistemi daha esnek yaparak azaltılabilir. Fakat bu durum da büyük görelî kat ötelemelerine yol açacaktır. Görelî kat ötelemesini ve kat ivmelerini eş zamanlı olarak azaltmanın tek uygulanabilir yolu, taban izolasyon yöntemini kullanmaktır. İzolasyon sistemi gerekli esnekliği, izolasyon seviyesinde toplanan yer değiştirmeler vasıtasıyla sağlamaktadır.

Taban izolasyonlu sistemlerin pratikte çok başarılı uygulamalar olmakla birlikte, birtakım sınırlamalarda söz konusudur. Herşeyden önce taban izolasyon sistemleri, değişen deprem kuvvetlerine karşı kendini adapte edebilme kabiliyetinden mahrum olduğundan, genel olarak aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılan ve yapıları deprem gibi sürekli değişen dinamik etkilere karşı korumak için geliştirilen sistemler içinde pasif sistemlere girmektedir.



Şekil 4.14 Taban izolasyonlu yapıya taban izolasyonu seviyesinde ek sönüm cihazları uygulaması



Şekil 4.15 Taban izolasyonlu yapıya taban izolasyonu seviyesinde ek sönüm cihazları uygulaması

Taban izolasyonu sistemleri efektif olarak alçak yapılara uygulanabilmektedir. Çünkü yüksek binalarda taban izolasyon sisteminde oluşan kuvvetler yapının stabilitesini bozabilmektedir. Ayrıca büyük yatay deplasmanlardan dolayı bir kısım taban izolasyon sistemlerinde depremlerden sonra kalıcı deformasyonlar oluşmakta ve bunlar zamanla birikerek sistem devre dışı kalmaktadır. Yine büyük deplasmanlardan dolayı yapıyı devirmeye yönelik (overturning) büyük momentler oluşabilmektedir. Tüm bu olumsuz etkilerin azaltılması için taban izolasyonlu yapılara taban izolasyonu seviyesinde ek sönüm cihazları eklenmektedir. Şekil 4.14’te taban izolasyonlu yapılara eklenen ek sönüm cihazları görülmektedir.

Taban izolasyon sistemleri, esas olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi kauçuk esaslı izolasyon sistemleri, bir diğeri ise kayma esaslı taban izolasyon sistemleridir. Kauçuk esaslı izolatörlerde ya doğal kauçuk ya da suni kauçuk (neopren) malzemeli elastomer malzeme bulunmaktadır. Kayıcı mesnetlerin, 3 kayıcı yüzeyi çoğu zaman Teflon ve paslanmaz çelik olmakla birlikte başka kayıcı yüzeyler de kullanılmıştır. Kauçuk ve kayma esaslı izolatör tiplerinin kombinasyonu olarak önerilmiş, başka izolasyon sistemlerine ait uygulamalar da görülmüştür.

Taban izolasyon sistemlerini tümü ile kategorize etmek gerekirse aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapılabilir:

a) Kauçuk Esaslı Sistemler

- Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk izolatörler (LDRB)
- Kurşun Çekirdekli İzolatörler (LRB)
- Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk izolatörler (HDRB)

b) Kayma Esaslı Sistemler

- Sürtünmeli Sarkaç Sistemler (FPS)
- Geri Şekillenen Sürtünmeli Taban izolasyon Sistemi (RFBI)
- Electricite-de-France Sistemi (EDF)
- EERC Birleşik Sistemi
- TASS Sistemi

4.3.1 Kauçuk esaslı taban izolasyon sistemleri

Tabakalı kauçuk esaslı sistemler, taban izolasyonunda en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Bu sistemin temel elemanları, tabakalar halinde kullanılmakta olan çelik ve kauçuk plakalardır. Ayrıca bu sistemin en önemli özelliği; sönümün ve rijitliğin bu sistemlerde paralel etkilere sahip olmasıdır. Genellikle kauçuk esaslı sistemler, yatayda esneklik ve düşeyde rijitlik özelliği ile yüksek sönüm kapasitesi gösterir. Bu sistemin ayrıca iki karakteristik özelliği daha vardır ki bunlar sırasıyla doğal frekans ve sönüm sabitidir. Sistemin sönüm sabiti izolatörün şekil değiştirmesine bağlıdır. Kauçuk izolasyon sisteminin bir binayı depremlerden korumak üzere ilk kullanımı, 1969 yılında Makedonya'nın başkenti Üsküp'teki bir ilkokul binasında olmuştur. Pestalozzi ilkokulu; üç katlı betonarme bir bina olup, İsviçreli mühendisler tarafından inşa edilmiştir [15].

4.3.1.1 Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler (LDRB)

Düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatörler, viskoz sönümleyiciler, çelik çubuklar, sürtünmeli aletler vb. gibi birtakım ek sönüm aletleri ile birlikte, Japonya'da yaygın olarak kullanılmıştır. Japonya'da kullanılan elastomer malzeme, doğal kauçuktan imal edilmektedir. Buna karşın Fransa'daki birkaç projede suni kauçuk (neopren) kullanılmıştır. İzolatörlerin Şekil 4.16a'da gösterildiği gibi, iki adet kalın çelikten uç levhası ve bununla birlikte bu levhaların arasında da çok sayıda ince çelikten ara sac levhaları bulunmaktadır. Kauçuk malzeme, bir kalıp içinde uygulanan sıcaklık ve basınç altında tek bir işlem dahilinde, vulkanize edilmiş ve çeliğe bağlanmıştır. Çelik ara saclar, kauçuk malzemenin iki yanından şişmesini yani yanıl deformasyon yapmasını önlemekte ve yüksek bir düşey rijitlik sağlamaktadır.

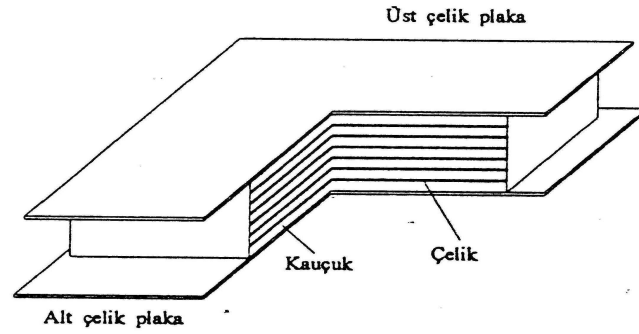
Ancak bununla birlikte çelik ara sacların, yatay rijitlik üzerinde hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Yatay rijitlik, kauçuk tabakaların kalınlığına ve sayısına bağlıdır. Genellikle istenilen rijitlik; tabaka kalınlığı sabit tutularak, kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesi ile sağlanır. Kayma durumunda malzemenin davranışı, % 100'ün üzerindeki kayma şekil değiştirmelerine kadar oldukça lineerdir. Aynı zamanda kritik sönüm miktarı % 2-3 arasında değişmektedir, izolatörlerin yüksekliğinin artması mekanizmada burkulmaya yol açtığından, yükseklik çapın yarısıyla sınırlandırılmıştır, izolatör çapının 1m'den fazla ve taşıma kapasitesinin 500 ton civarında alınması genellikle uygundur.

Düşük sönümlü doğal kauçuk taban izolatör sistemlerinde, yer değiştirme ve kuvvet birbirine bağlı olarak, lineer değişmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.16b ve Şekil 4.16c'de

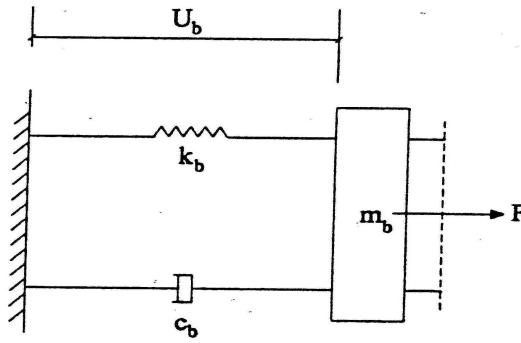
düşük sönümlü doğal ve sentetik kauçuk izolatör sistemlerinin sırasıyla şematik modeli ve kuvvet-yer değiştirme davranışı gösterilmektedir.

Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörlerin pek çok avantajı bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla şöyledir:

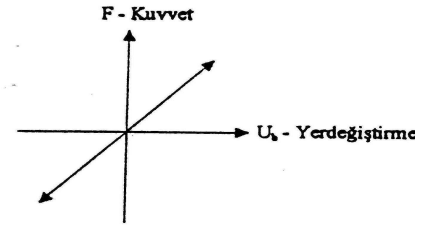
- İmal edilmesi basittir.
- Modellenmesi kolaydır.
- Mesnetlerin mekanik davranışı; hız, sıcaklık ve zamanla eskime gibi faktörlerden etkilenmemektedir.



(a)



(b)



(c)

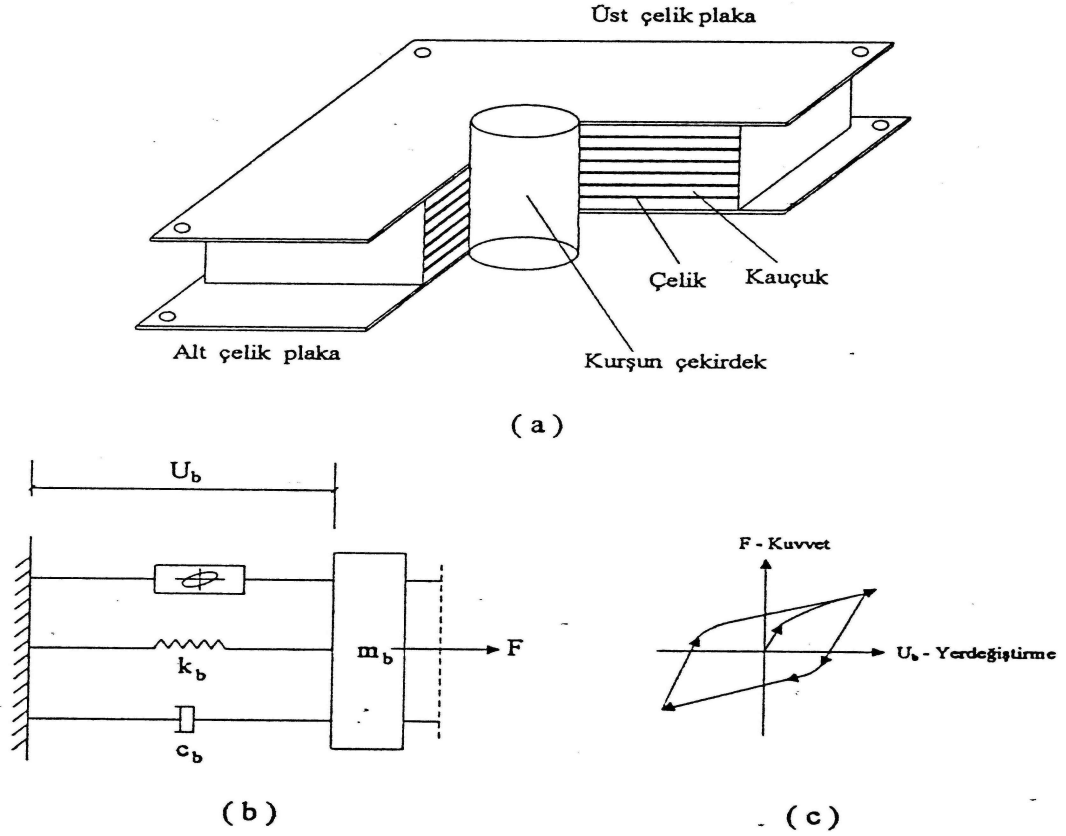
Şekil 4.16 Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) şematik modeli, c) kuvvet-yer değiştirme davranışı

Tek bir dezavantajları bulunmaktadır. O da ek bir sönüm sistemine ihtiyaçları olmasıdır. Bu ek sistemler; çok karmaşık ve girift bağlantılar gerektirmekte, metalik sönümleyiciler durumunda ise kısa sürede yıpranmaktadır. Japonya'da bu tip sistemin pek çok uygulamaları kullanılmıştır. Enerji yutan elemanlar bir tür çelik akma aletlerinden meydana gelmektedir. Bu yaklaşımın bir başka şekli de kurşun

çekirdekli izolatörlerdir. Söz konusu izolatörler, ilk olarak 1970'li yıllarda Yeni Zelanda'da geliştirilmiştir. Kurşun çekirdekli izolatör türü şu anda en yaygın kullanılan taban izolasyon sistemidir [15].

4.3.1.2 Kurşun çekirdekli izolatörler

Kurşun çekirdekli izolatör, 1975 yılında Yeni Zelanda'da icat edilmiş ve bu olayı takiben Yeni Zelanda, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde yaygın olarak kullanılmıştır. Kurşun çekirdekli izolatörler; düşük sönümlü kauçuk izolatörlere benzer olarak, ince tabakalara ayrılmış kauçuk izolatörlerdir. Ancak bu izolatörlerin düşük sönümlü kauçuk izolatörlerden farkı Şekil 4.17a'da gösterildiği gibi, deliklerin arasına sokulmuş bir tane ya da daha fazla sayıda kurşun çekirdeklerin kullanılmasıdır.



Şekil 4.17 Kurşun çekirdekli izolatör sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) şematik modeli, c) kuvvet-yerdeğiştirme davranışı

İzolatörün içindeki çelik levhalar, kurşun çekirdeği kayma sırasında şekil değiştirmeye zorlamaktadır, izolatörün içindeki kurşun, 10 Mpa civarındaki bir akış gerilmesinde fiziksel olarak şekil değiştirmektedir. Böylelikle izolatörün bilineer bir davranış göstermesi sağlanmaktadır. Kurşun çekirdeğin enerji yutma kapasitesi

izolatörün yatay yer değiştirmesini azaltır. Bu sistem prensip olarak histeretik sönümleyici aletler gibi davranmaktadır. Bu nedenle kurşun çekirdekli isolatörlerin kuvvet-yer değiştirme karakteristik özelliği, lineer olmayan diferansiyel denklemler kurularak modellenebilmektedir. Bu isolatör sisteminin en önemli sakıncası; şiddetli yer hareketinden sonra kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin dışarıdan tespit edilememesidir.

Kurşun çekirdekli isolatörler Yeni Zelanda'da kapsamlı bir şekilde test edilmişlerdir. Bu tür isolatörlerin tasarımı ve modellenmesi konusu üzerinde hazırlanmış ve tamamlanmış, tasarım ana hatları bulunmaktadır. Bu isolatörlerle taban izolasyonu yapılan binalar, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde iyi bir performans sergilemişlerdir [15].

Şekil 4.17b ve Şekil 4.17c'de kurşun çekirdekli mesnet sistemlerinin, sırasıyla şematik modeli ve kuvvet-yer değiştirme davranışı gösterilmektedir.

4.3.1.3 Yüksek sönümlü doğal kauçuk isolatörler (HDNR)

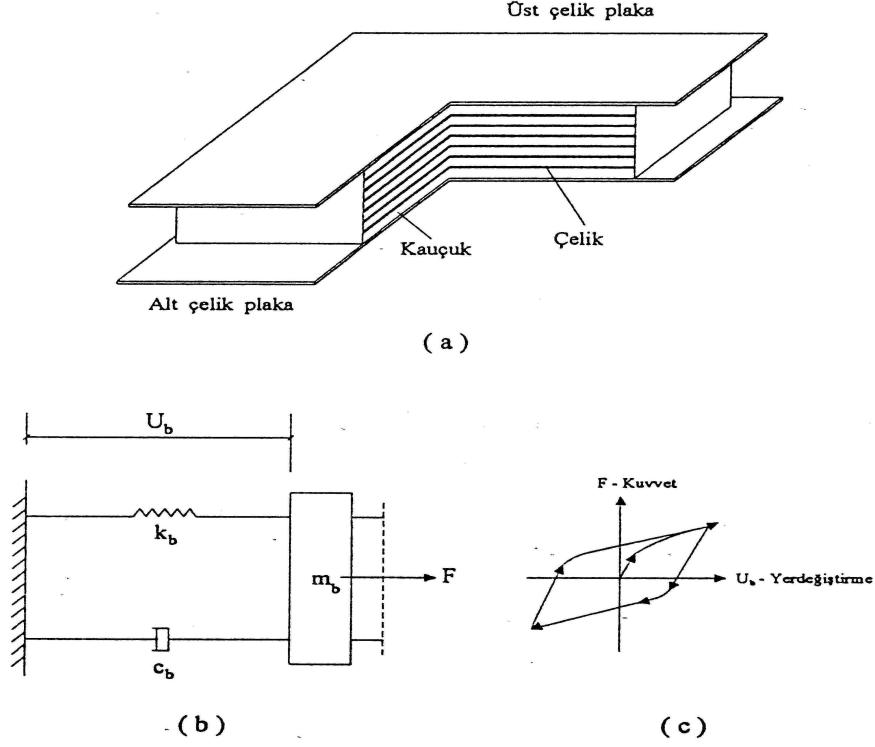
İngiltere'ye bağlı "Malaysian Rubber Producers Research Association (MRPA)" kurumu tarafından 1982 yılında; ek sönüm elemanlarına olan ihtiyacı gidermek üzere, yeterli içsel sönümü olan doğal kauçuk bir bileşimin geliştirilmesi başarılmıştır. Sönüm miktarı; aşın saf karbon blok, yağlar veya reçineler ve diğer patentli katkı maddeleri eklenilmesi suretiyle arttırılmaktadır. % 100 oranındaki kayma şekil değiştirmelerinde, sönüm % 10 ve % 20 arasındaki mertebelere çıkarılmıştır. Sönümün; düşük sertliğe karşı gelen (50-55 durometer) küçük değerlerinde kayma modülü 0.34 Mpa civarında olmaktadır. Bununla birlikte, sönümün yüksek katılığa karşı gelen (70-75 durometer) büyük değerlerinde ise kayma modülü de yükselmekte ve 1.40 Mpa değerine ulaşmaktadır.

Malzeme % 20'den az orandaki kayma şekil değiştirmelerinde nonlineer davranmaktadır. Bununla birlikte; rüzgar yükü ve düşük düzeyli deprem yüklemesi altındaki davranışının minimize edilmesine yol açacak şekilde, daha yüksek rijitlik ve daha yüksek sönüm vasıtasıyla karakterize edilmektedir. % 20 ila % 120 arasındaki kayma şekil değiştirme oranlarının ötesinde, kayma modülü düşük ve sabit olmaktadır. Büyük şekil değiştirmelerde, bir şekil değiştirme kristalizasyonu işlemine bağlı olarak kayma modülü artmaktadır. Bununla beraber enerji yutulmasında da bir artış meydana gelmektedir.

İsolatörlerdeki sönüm ne viskoz ne de histeretik karakterlidir. Ancak ikisinin arasındadır. Tamamıyla lineer viskoz bir elemandaki enerji yutulması, yer değiştirme

durumunda kuadratikdir. Histeretik sistemde ise enerji yutulması, yer değiştirme durumunda lineer olma eğilimindedir.

Aşağıdaki şekil 4.18a, şekil 4.18b ve şekil 4.18c'de yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet sistemlerinin, sırasıyla kesiti, şematik modeli ve kuvvet-yer değiştirme davranışı gösterilmektedir.



şekil 4.18 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) şematik modeli, c) kuvvet-yer değiştirme davranışı

Yüksek sönümlü doğal kauçuk sistemin bir diğer avantajı çevresel titreşimin azaltılmasında bir aşama sağlamasıdır. İzolatörler; trafik ya da yakınında bulunan bir metro hattı nedeniyle meydana gelebilecek yüksek frekanslı düşey titreşimleri dışarı süzmek için harekete geçmektedir. Bu sonuç, 1985 yılında Earthquake Engineering Research Center (EERC)'da uygulanan bir sarsma masası test programında gösterilmiştir [15].

4.3.2 Kayma esaslı izolasyon sistemleri

Tamamı ile kayıcı bir sistem, önerilen en eski ve en basit taban izolasyon sistemidir. Yalnızca kaymayı kullanan bir sistem; Johannes Avetican Calantarients adında, İngiltere'de yaşayan bir tıp doktoru tarafından, 1909 yılında önerilmiştir. Johannes, talktan bir tabaka yardımı ile yapıyı temelden ayırmayı önermiştir. Bina ile temeli

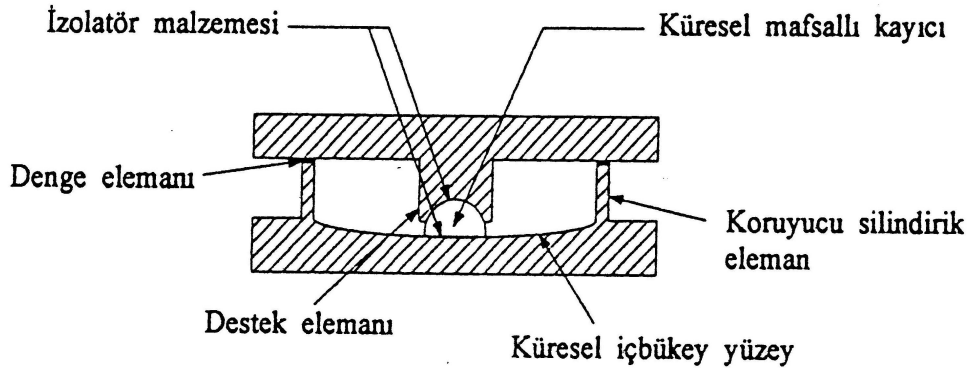
arasında oluşabilecek büyük yer değiştirmeler pahasına da olsa, izolasyon sisteminin taban izolasyonlu binadaki ivmeleri azalttığını açık bir şekilde anlamıştır.

Harmonik yükleme ya da deprem yüklemesine maruz kalmış kayıcı sistemler üzerindeki yapıların dinamiği konusu hakkında çok miktarda teorik analiz yapılmıştır. Örneğin, taban izolasyonlu bir binanın tasviri olarak ifade edilmesi için Westermo ve Udwadia, Coulomb sürtünmesi kayıcı ara yüzey üzerindeki bir lineer osilatörün periyodik davranışı üzerinde çalışmışlardır. Sürtünmenin daima tepkiyi azaltacağı şeklindeki genel anlayışın aksine, bu kişiler tepkinin aynı binanın ankastre temelli modelinde ortaya çıkan tepkiden çok daha büyük olabileceğini ve tek serbestlik dereceli modelin kayıcı ara yüzey tarafından üretilen harmonik altı rezonans frekanslarına sahip olduğunu bulmuşlardır. Benzer bir modelin, deprem yüklemesi altındaki davranışı konusunda da, Mostaghel çalışmıştır. Coulomb sürtünmesi varsayımı, bu teorik analizlerde genellikle kullanılmış olmakla birlikte gerçek davranışı tam olarak doğru bir şekilde temsil edebileceği de olası değildir.

Kayıcı mesnetler için en çok kullanılan malzemeler, paslanmaz çelik üzerine kaplanan doldurulmamış ya da doldurulmuş “politetrafloraetilen” dir (PTFE ya da Teflon). Bu sistemin sürtünme karakteristikleri, sıcaklığa, ara yüzey hareketinin hızına, aşınma derecesine, ve yüzeyin temizliğine bağlıdır. Buna benzer kayıcı elemanların mekanik davranışının söz konusu yönleri üzerinde kapsamlı test çalışmaları yapılmıştır [15].

4.3.2.1 Sürtünmeli sarkaç sistemler (FPS)

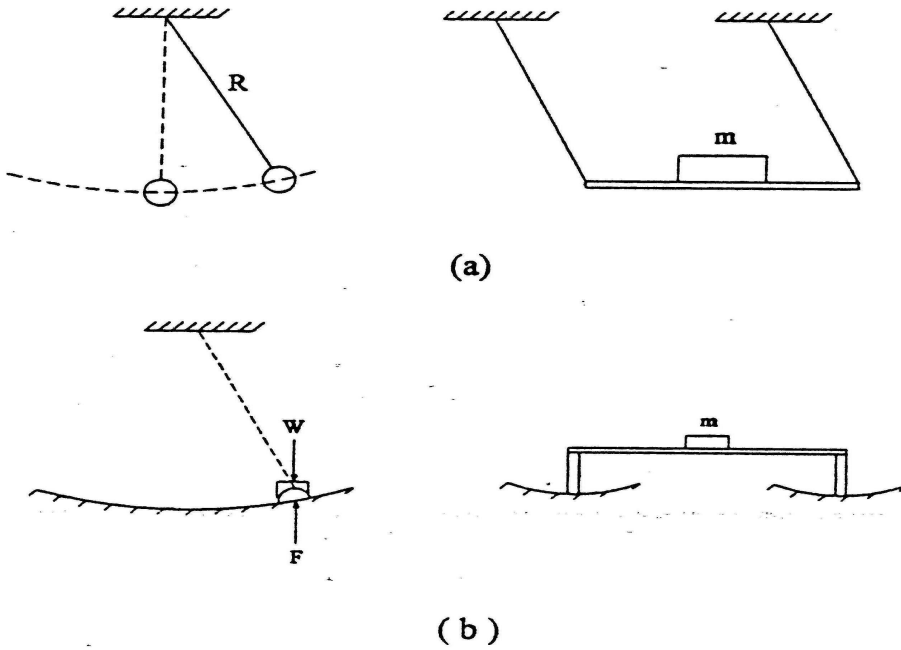
Sürtünmeli sarkaç sistemi, bir kayma hareketini ve bir geri dönüş kuvvetini geometrisi yardımıyla birleştiren, sürtünmeli bir izolasyon sistemidir. Şekil 4.19’ da şematik olarak gösterilen FPS izolatörü; paslanmaz çelikten küresel bir yüzey üzerinde hareket eden, mafsallı kayıcıya sahiptir. Mafsallı kayıcının kenarı, düşük sürtünmeli kompozit bir malzeme ile kaplanmıştır. Kayıcının diğer kenarı da tam küresel olup, paslanmaz çelik ile kaplıdır ve yine düşük Sürtünmeli kompozit malzeme ile kaplanmış küresel bir oyuk içinde oturmaktadır. Kayıcı, küresel yüzey üzerinde hareket ettikçe taşınan kütlenin yükselmesine yol açmakta ve sistem için geri dönüş kuvveti sağlamaktadır. Mafsallı kayıcı ve küresel yüzey arasındaki sürtünme, izolatörlerde sönüm meydana getirmektedir.



Şekil 4.19 Sürtünmeli sarkaç sistemin kesiti

Sürtünmeli sarkaç sistemlerin geometrisi ve taşıdıkları ağırlık, önemli parametrelerdir. Çünkü, bu sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin temel prensiplerine dayanır. Bu durum aşağıdaki Şekil 4.20a ve Şekil 4.20b' de gösterilmiştir.

Sürtünmeli sarkaç tipteki izolatör ile mesnetlenen yapı, deprem hareketine karşı, küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki verebilmektedir. Sürtünmeli sarkaç sistemin bir mesnede dönüştürülebilen safhaları aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Mesnedin küresel yüzeyi aşağı ve yukarıya yönelik olabilir. Her iki tür de aynı davranışı göstermektedir.



Şekil 4.20 a) Basit sarkaç hareketi b) Kayıcı sarkaç hareketi

Sürtünmeli sarkaç sistemlerde bulunan koruyucu silindir, yatay yer değiştirmelerin engellenmesinde etkili olmaktadır. Ayrıca, iç elemanların çevresel kirlilikten korunmasını engellemektedir. Koruyucu silindir tarafından sağlanan yer değiştirme sınırlandırması, deprem yüklerinin hesap yüklerini büyük miktarda aşması halinde, çok önemli bir emniyet sağlamaktadır. İzolatörün efektif rijitliği ve yapının izolasyon periyodu, içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapı vasıtasıyla kontrol edilmektedir.

İzolatörün titreşim periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (4.7)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada;

R : Küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı,

g : Yerçekimi ivmesini

ifade etmektedir.

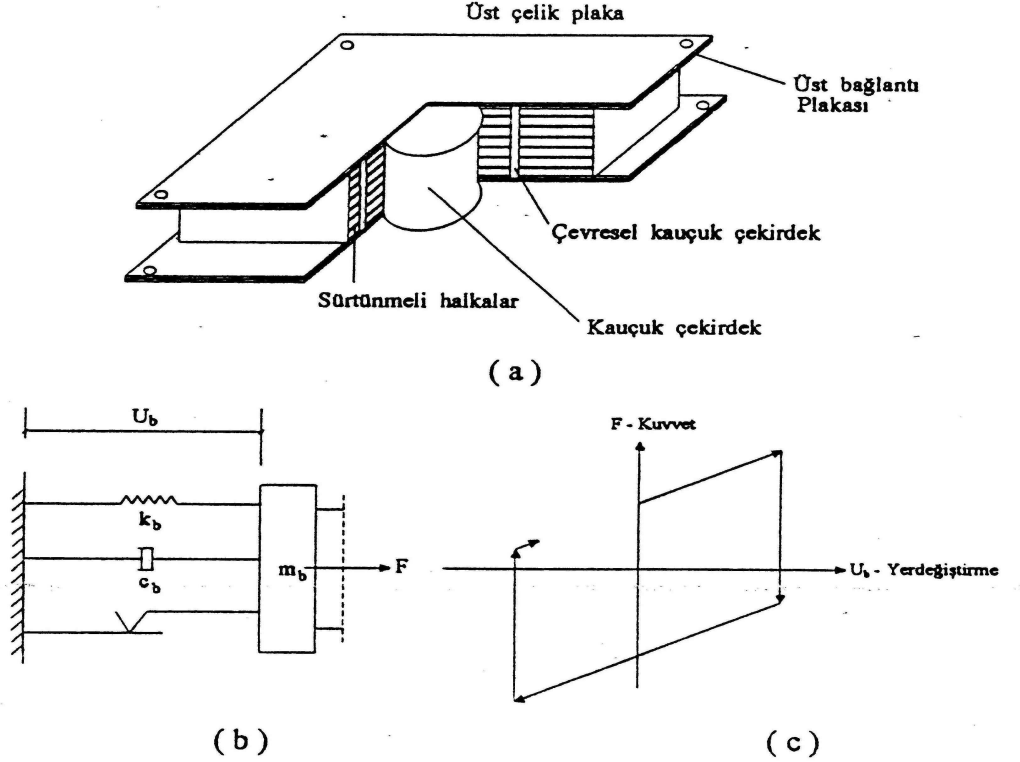
Yukarıda ki ifadede görüldüğü üzere titreşim periyodu, kütleden bağımsız ancak iç bükey yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Böylelikle yapının izolasyon periyodu tek parametreye bağlı olduğundan, değiştirilmesi kolaydır. İzolatörlerin sürtünme kuvveti aşıldığında, izolasyonlu periyot aktif hale gelmektedir. Kayma hareketi başladığında aktif olan sürtünme kuvveti, mesnet malzemesinin seçimi ile kontrol edilir. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetinden az olduğu sürece, sarkaç sistemlerle mesnetlenen yapı, titreşimin izolasyonsuz periyoduna karşılık gelen bir tepki gösterecektir [15].

4.3.2.2 Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi (R-FBI)

Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sistemi, yüksek kayma hızlarında paslanmaz çelik üzerindeki teflonun yüksek sürtünme katsayısı probleminin üstesinden gelmeye çalışmaktadır. Bunun için, tek bir izolatör içinde çok sayıda kayıcı ara yüzeyler kullanma yöntemine gidilmektedir. Böylece izolatörün üst ve alt yüzleri arasındaki hız, tabakaların sayısına bölünmektedir. Bu sayede düşük bir sürtünme katsayısı korunarak, her bir yüzdeki hız değeri küçük olmaktadır. Kayıcı elemanlara ek olarak, hiç düşey yük taşımayan ancak geri dönüş kuvveti sağlayan merkezi bir kauçuk çekirdek bulunmaktadır. Bu sistem üzerinde yapılan testlerde kauçuk çekirdeğin, yer değiştirmenin tek bir ara yüzeyde toplanmasını önleyemediği görülmüştür. Bu nedenle kauçuk çekirdeğin içine, kayıcı tabakalar arasındaki yer

değiştirme dağılımını düzelteren, merkezi bir çelik çubuk koyulmuştur. 1988 yılında EERC’de yapılan bir deneysel çalışma dahilinde, beş katlı ve 40 ton ağırlığındaki bir çelik çerçeve modelinde geri şekillenen sürtünmeli taban izolatörleri kullanılmış ve bu model sarsma masası deneyi ile test edilmiştir [15].

Aşağıdaki Şekil 4.21a, Şekil 4.21b ve Şekil 4.21c’de geri şekillenen taban izolasyon sisteminin, sırasıyla kesit ve elemanları, şematik modeli ve kuvvet-yer değiştirme davranışı gösterilmektedir.



Şekil 4.21 Geri şekillenen sürtünmeli taban izolasyon sisteminin; a) kesiti ve elemanları, b) şematik modeli, c) kuvvet-yer değiştirme davranışı

4.3.2.3 Electricite-de France sistemi (EDF)

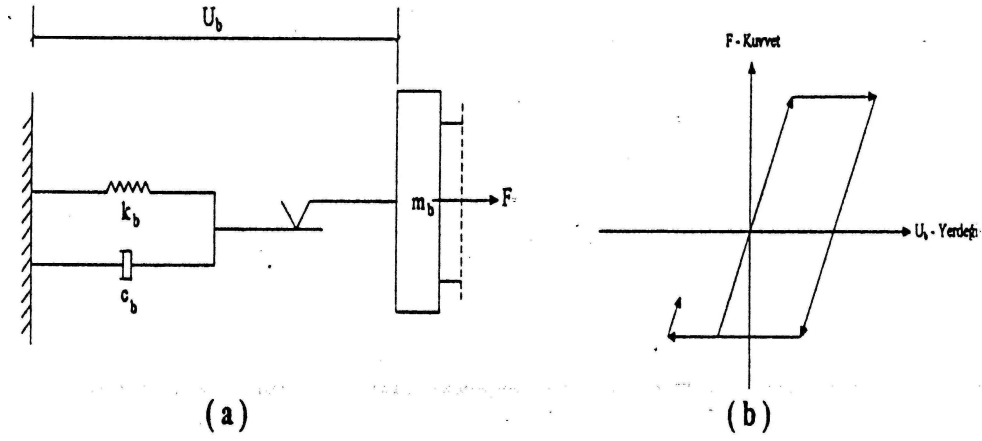
Bu sistem, nükleer elektrik santrali tesislerine yapılacak uygulama için, 1970’li yılların başlarında geliştirilmiştir. Söz konusu yapı, içinde güvenliğinin sağlanması gereken donanımına sahip ve 0.2 g’lık ivmeye dayanacak nitelikte, standart bir nükleer elektrik santrali geliştirmişti. Santral, daha yüksek deprenselliği olan yerlere yerleştirilmek üzereyken, donanımın ivme mertebelerini binanın sahip olduğu sınır değerinin altında tutmak için izole edilmiştir.

Sistem, tabakalı suni kauçuk (neopren) izolatörleri, paslanmaz çelikte temas halinde olan kurşun-bronz alaşımı ile birleştirmektedir. Sistemin kayıcı yüzeyi ise, elastomerik izolatörün üstüne oturtulmaktadır. Kayıcı yüzeyin sürtünme katsayısının,

izolatörün servis ömrü gözönüne alınarak, 0.2 olması gerekmektedir. Suni kauçuk tampon, çok düşük yer değiştirme kapasitesine sahip olup, yaklaşık ± 5 cm'den fazla değildir. Meydana gelen yer değiştirmelerin bu sınır değeri aşması halinde, kayıcı eleman öngörülen yeterli hareketi sağlamaktadır. Sistem, mesneti düzeltici yani merkeze geri çeken herhangi bir mekanizmaya sahip değildir. Bu nedenle sistemde kalıcı yer değiştirmeler meydana gelebilir. Sistem şimdiye kadar sadece bir kez, Güney Afrika Cumhuriyeti'ne bağlı Koeberg şehrinde inşa edilen büyük bir nükleer elektrik santralinde uygulanmıştır [15].

EDF sisteminin şematik modeli Şekil 4.20a' da ve kuvvet-yer değiştirme davranışı

Şekil 4.22b' de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 Electricite-de France Sistemi (EDF)'nin; (a) şematik modeli, (b) kuvvet- yer değiştirme davranışı

4.3.2.4 EERC birleşik sistemi

Kauçuk esaslı ve kayıcı sistemlerin birleştirilmiş bir modeli geliştirilmiş ve EERC'deki sarsma masası üzerinde test edilmiştir. Bu sistemde yapının iç kolonları, teflon malzeme ile kaplı paslanmaz çelikten yapılmış kayıcı elemanlar ile taşıtılmıştır. Binanın dış kolonları ise, düşük sönümlü doğal kauçuk izolatörler ile taşıtılmıştır. Kauçuk izolatörler, yapının yeniden merkezlenmesi yeteneğini sağlamakta ve yapının burulma davranışını kontrol etmektedir. Buna karşın kayıcı elemanlar ise sönümü sağlamaktadır. Bu sistemin bir başka şekli, hem Nevada Üniversitesi Maden Fakültesi binası, hem de Kaliforniya'da inşa edilen M.L. King Travma Teşhis ve Tanı Merkezi Hastanesi binasının, güçlendirilmeleri için kullanılmıştır. Her iki yapıda, yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler (HDNR) kullanılmıştır. Üniversite binasında, teflon yüzeyli paslanmaz çelikten kayıcı

elemanlar kullanılırken, hastane binası için ise paslanmaz çelik üzerinde kurşun-bronz alaşımlı levhalar kullanılmıştır [15].

4.3.2.5 TASS sistemi

TASS Sistemi, Japonya'daki TAISEI firması tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde düşey yükün tamamı teflon - paslanmaz çelik elemanların üzerinde taşınmaktadır. Buna ilave olarak, hiç yük taşımayan tabakalı suni kauçuk (neopren) izolatörler, yapıyı yeniden merkezleştirecek kuvvetleri sağlamak için kullanılmaktadır. Teflon kayıcı yüzey, 10 MPa civarında bir basınca sahiptir ve sürtünme katsayısı; düşük kayma hızlarında 0.05, daha yüksek hızlarda ise 0.15 aralığındaki değerler arasında değişmektedir [15]. Bu sistemin dezavantajları şunlardır:

- Kauçuk izolatörler, düşey yük taşımamakta ve yalnızca çekmeye çalışmaktadırlar.
- Kayıcı yüzeyin kayma hızına karşı duyarlılığı, sistemin modellenmesini oldukça zor hale getirmektedir.

4.4 Taban İzolasyonu Sisteminin Teorik Esasları

Taban izolasyonlu yapılarda yapı iki kısımdan oluşmaktadır. 1.kısım taban izolasyonu sistemidir. Burada kullanılan malzemenin esas özelliği dikey yönde oldukça rijit, yatay yönde ise oldukça esnek olmasıdır. 2.kısım ise taban izolasyon sistemine göre oldukça rijit olan üst yapıdır. Taban izolasyon sistemi kullanıldığında görülmektedir ki, taban izolasyon sistemi dahil bütün yapının temel frekansı azalmakta, yani yapı depreme karşı daha uzun bir periyodla mukabelede bulunmaktadır. Daha uzun periyod daha fazla yatay deplasmanı netice verdiğiinden, deplasmanın büyük kısmı üst yapıya göre yatay yönde daha esnek olan taban izolasyon sistemine iletilmektedir. Yani taban izolasyonlu yapılarda, taban izolasyon sisteminde büyük deplasmanlar, üst yapıda ise taban izolasyon sistemine göre oldukça küçük deplasmanlar oluşmakta. Yani üst yapıda katlararası deplasman çok küçük olduğundan üst yapı, esnek taban izolasyonu sistemi üzerinde hemen hemen rijit bir yapı olarak davranmaktadır. Taban izolasyonlu çok katlı bir düzlem çerçeve sistem iki serbestlik derecesine sahip bir sistem olarak bu sayede modellenebilmektedir [19].

Taban izolasyonuna ait lineer teori konusu, Kelly tarafından detaylı olarak açıklanmıştır. Lineer Teori Şekil 4.23'te gösterildiği gibi iki kütleli bir yapı modeline dayanmaktadır, “m” ile Şekil 4.23'te gösterilen kütle, binanın üst yapısını temsil

etmek üzere planlanmıştır, “ m_b ” ile ifade edilen kütle ise, izolasyon sistemi üzerindeki temel katının kütlelerini göstermektedir. Yapı rijitliği ve sönüm değerleri sırasıyla k_s , ve c_s ile gösterilmiştir, izolasyona ait rijitlik ve sönüm değerleri ise k_b ve c_b ile gösterilmiştir, iki kütlein mutlak deplasmanları “ u_s ” ve “ u_b ” sembolleri ile gösterilmektedir. Ancak, relatif deplasmanları kullanarak tarif etmek daha elverişli olacaktır.

$$v_b = u_b - u_g \quad v_s = u_s - u_b \quad (4.8)$$

burada u_g , zemin deplasmanıdır. Relatif deplasmanların bu şekilde tercih edilerek kullanılması, özellikle bu analiz için çok elverişli olmaktadır. Çünkü bulunacak iki önemli sonuç şunlar olacaktır:

v_b : İzolasyon sisteminin deplasmanı, ve

v_s : Göreli kat ötelemesidir.

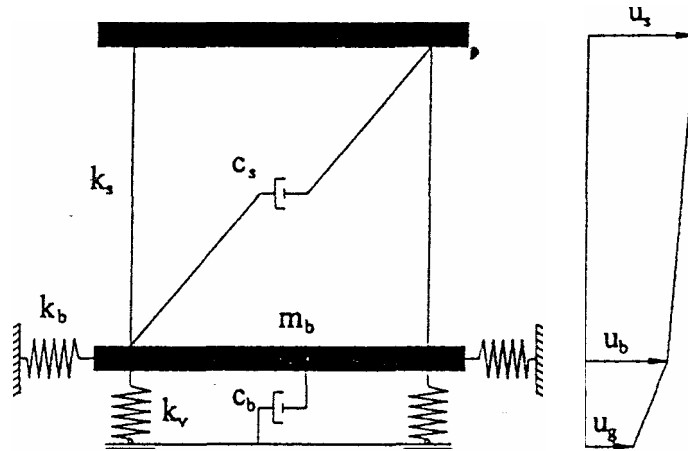
Bu nicelikler açısından iki serbestlik dereceli modelin temel hareket denklemleri

$$(m + m_b) \ddot{v}_g + m \ddot{v}_s + c_b \dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b) \ddot{u}_g \quad (4.9)$$

$$m \ddot{v}_b + m \ddot{v}_s + c_s \dot{v}_s + k_s v_s = -m \ddot{u}_g \quad (4.10)$$

yukarıdaki denklem takımını matris notasyonu içinde aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (4.11)$$



Şekil 4.23 İzole edilmiş binanın şematik çizimi

Burada $M = m + m_b$ ifadesi yukarıdaki matris notasyonunda kullanılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -Mr\ddot{u}_g \quad (4.12)$$

γ sembolü ile gösterilen bir kütle oranı tanımlarsak

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M} \quad (4.13)$$

ve nominal frekans değerleri olan ω_b ve ω_s aşağıdaki gibi verilirse

$$\left\{ \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \right\} \quad \left\{ \beta = \frac{c}{2m\omega} \right\} \quad (4.14)$$

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b} \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m} \quad (4.15)$$

ve aşağıdaki gibi bir kabul yaparak

$$\frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} = \varepsilon \quad \varepsilon = O(10^{-2}) \quad (4.17)$$

[$O(10^{-2})$ merteye olarak yüzde virgülden sonra iki basamak anlamına gelmektedir. 0,01 örneğinde olduğu gibi]

Sönüm faktörleri β_b ve β_s , aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$2\omega_b\beta_b = \frac{c_b}{m + m_b} \quad 2\omega_s\beta_s = \frac{c_s}{m} \quad (4.18)$$

Bu nicelikler cinsinden temel hareket denklemleri aşağıdaki şekle dönüştürülerek yeniden yazılabilir.

$$\gamma v_s + v_b + 2\omega_b\beta_b \dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = \ddot{u}_g \quad (4.19a)$$

$$v_s + v_b + 2\omega_s\beta_s \dot{v}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g \quad (4.19b)$$

5. KARMA KONTROL

Aktif ve pasif yapı kontrolünün yapılarda kullanımının sağladığı başarı beraberinde çözülmesi gereken birçok yeni sorunu getirmektedir. Bunlardan bazıları:

- Kontrol aktüatörlerinin büyük depremler için kuvvet üretebilecek şekilde geliştirilmesi.
- Kontrol sistemlerinin üretilmesi ve yerleştirilmesi için gereken masrafin azaltılması.
- Aktif sistemlerde dış güç kaynağına bağımlılığın azaltılması.
- Sistemlerin güvenilirliğinin artırılması.
- Geleneksel olmayan bu teknolojiye uzun vadede en fazla yararın sağlanması.

Karma ve yarıaktif kontrol sistemlerinin özellikleri yukarıda belirtilen, pasif ve aktif sistemlerin tek başlarına kullanıldığı durumlarda karşılaşılabilecek sorunlara çözüm sunmaktadır.

Karma kontrol sistemleri pasif kontrol sisteminin performansını artırabilmek için aktif kontrol cihazlarının kullanılması ile oluşturulur. Bu duruma alternatif olarak pasif kontrol sistemi aktif kontrolün ihtiyaç duyduğu enerjinin küçültülmesinde kullanılarak bir karma kontrol sistemi oluşturulur. Karma kontrol ile aktif kontrol arasındaki en büyük fark sisteme dışardan etkitilen kuvvetin büyüklüğü ile ilgilidir. Karma kontrol sistemleri çoğu zaman aktif ve pasif kontrol sistemlerinin yalnız uygulandıklarında varolan sınırlandırmaları azaltarak iyi bir sonuç elde edilmesini sağlar. Karma kontrol sistemlerinin diğer bir faydası, yalnız aktif kontrol sistemlerinin uygulandığı duruma göre güç kesilmesi durumunda pasif kontrol bileşenlerinin devam etmesidir.

Karma kontrol sistemleri kontrol edilen yapının güvenlik ve yeterliliğini artırma potansiyelleri nedeniyle birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Tipik bir karma kontrol sistemi pasif ve aktif kontrol cihazlarının etkili bir kombinasyonu olarak düşünülebilir. Birden fazla kontrol sistemi işlediği için, karma kontrol sistemleri her sistemin (aktif veya pasif) tek başına işlediği durumda varolan bazı kısıtlamaların azaltılmasında etkili olmaktadır. Böylece, çok daha yüksek performans elde etmek mümkün olmaktadır.

Karma kontrol sistemleri genel olarak karma kütle sönümleyici sistemler ve karma taban izolasyonu sistemleri olarak iki sınıfa ayrılır.

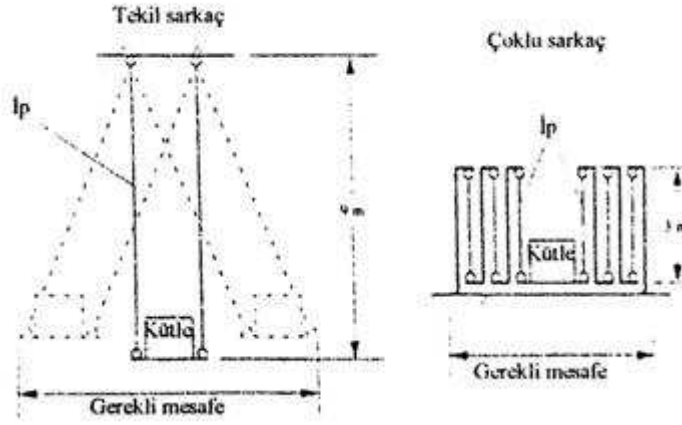
ABD'de karma kontrolle ilgili yapılan çalışmaların çoğu taban izolasyon sistemlerinin bazı aktif kontrol sistemleriyle birleştirilerek aşırı deplasmanların sınırlandırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Taban izolasyon sisteminde lineer yayların kullanıldığı durumda aktif kontrolcülerin tasarımı için klasik lineer optimum kontrol teorisi kullanılır. Çoğu taban izolasyon sistemi lineer olmayan davranış gösterir ve bu durumlar için robust kontrol kanunları geliştirilmiş, birçok karma kontrol testleri yapılmıştır.

5.1 HMD Karma Kütle Sönümleyici (Hybrid Mass Damper)

HMD, tam ölçekli inşaat mühendisliği uygulamalarında en sık rastlanan karma kontrol sistemidir. HMD, TMD ve bir aktif kontrol aktüatörünün birlikte çalışmasıyla işler. Bu aracın yapısal tepkiyi azaltma kabiliyeti, TMD'nin doğal titreşimine dayanır. Kontrol aktüatörünün ürettiği kuvvetler HMD'nin etkinliğinin artırılması ve yapının dinamik karakterlerinin sağlıklı bir biçimde değiştirilebilmesi için kullanılır. Tipik bir HMD'nin işletilmesi için gerekli enerji ve kuvvetler aynı performansa sahip bir AMD'ye (aktif kütle sönümleyici) göre çok azdır.

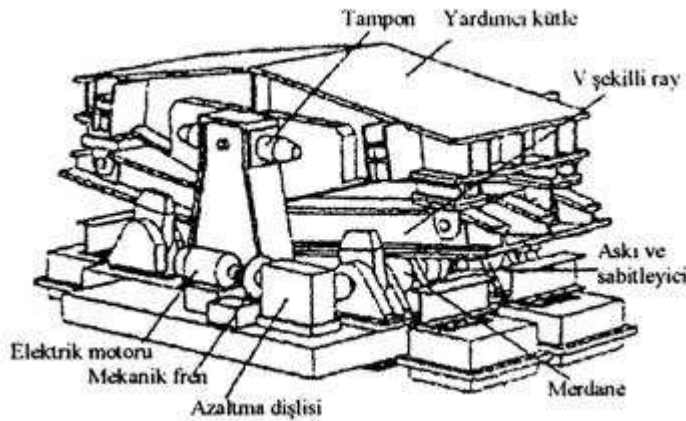
Oldukça etkili ve yerleştirme açısından pratik olan HMD'lerin geliştirilmesinde birçok araştırmacının katkısı olmuştur. Birçok uzun periyotlu yenilik getiren cihaz geliştirilmiştir. Örneğin Tanida'nın (1991) geliştirdiği ark şekilli HMD, köprü kulelerinde ve binalarda tepkinin azaltılmasında ve bunlara benzer amaçlarla birçok uygulamada kullanılmıştır. Bu ark şekilli karma kütle sönümleyici Tokyo'daki Rainbow asma köprüsünün 119m yüksekliğindeki kulesinin 7m/sn hızlı rüzgarda meydana gelen Vortex etkili yüksek genlikli titreşimlerinin azaltılması için köprü'nün inşaatı sırasında kullanılmıştır. Rainbow köprüsünün kulesi için kullanılan HMD'nin kütlesi birinci modda etkili olan yapı kütlelerinin %0,14'üdür. Oysa benzer TMD sistemi tek basma kullanılsaydı aynı performansın elde edilebilmesi için %1'lik kütle oranı gerekecekti.

Bir başka HMD ise kolaylıkla ayarlanabilen doğal periyoda sahip V şekilli HMD aracıdır. Bunlardan üç tanesi Japonya'nın en geniş binası olan "Shinjuku Park Tower" binasına yerleştirilmiştir. Her birinin ağırlığı 170 ton olan çok aşamalı sarkaçlı HMD'ler (Yamazaki 1992 ve 1995) Japonya'nın en yüksek binası olan "Yokohama Landmark Tower" binasında kullanılmıştır. Ayrıca, küçük bir aktüatör kuvveti ile yüksek kontrol özelliği sağlayan DUOX HMD sistemi (Kobori 1994, Ohru 1994) iki binada kullanılmıştır.

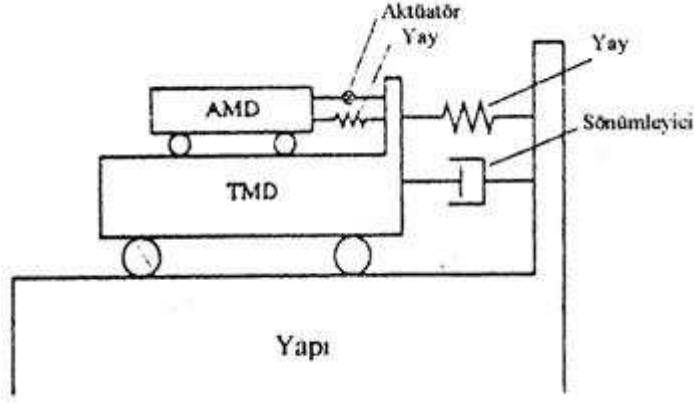


Şekil 5.1 Yokohoma Landmark Tower binasında kullanılan çoklu sarkaç sönümleyici

Cheng 1994 yılında Çin’de Nanjind’deki ‘Nanjing Tower’ için rüzgar titreşimlerinin azaltılmasını amaçlayan, pasif ayarlı sıvı sönümleyiciyi kontrol aktüatörü olarak kullanan HMD sistemini önerdi. Bunların yanında kütle sönümleyici fikrini içeren pek çok kavram önerilmiştir. 1994 yılında Seto iki komşu yapı arasında etkili olan aktif veya pasif kuvvetlerin her iki yapının da sismik tepkisinin azaltılmasında kullanılması olasılığını sorguladı. Modern yapılar bağlantı elemanlarıyla iki veya daha fazla şekilde ayrılabilir. Mita (1994) ise yüksek bina için mega alt yapı kontrol sistemini önermiştir. Bu yaklaşıma göre binanın alt yapısı bir titreşim sönümleyici işlevi görür. Böylece ekstra bir kütleye ihtiyaç duyulmaz.



Şekil 5.2 Shinjuku Park Tower binasında kullanılan V şekilli HMD sönümleyici



Şekil 5.3 DUOX sistemi modeli

5.2 Karma Taban İzolasyonu

Pasif taban izolasyon sistemi ile kontrol aktüatörünün birleşiminden oluşan sistem taban izolasyon sistemlerinin eksikliklerini tamamlamak için geliştirilmiştir. Taban izolasyon sistemleri basitlik, güvenilirlik ve etkinlikleri sayesinde dünyanın birçok yerinde birçok inşaat uygulamalarında yıllardır kullanılmaktadır. Ancak, taban izolasyon sistemleri pasif sistemlerdir ve yapısal tepkinin azaltılmasında değişen taleplere uyum sağlama kapasiteleri sınırlıdır. Taban izolasyonlu bir yapıya aktif kontrol cihazı ilave ederek maliyette çok büyük artışlar olmadan daha yüksek performans elde edilebilmektedir. Taban izolasyonu kendi başına katlar arası ötelemeleri ve ivmeyi izolasyon sisteminde meydana gelen büyük deplasmanlarla azalttığı için, aktif kontrol ile birlikte hem katlar arası ötelemeleri hem de maksimum taban deplasmanım tek bir kontrol kuvveti grubu ile daha etkili biçimde sınırlayabilir.

Bu sistemin yapısal tepkinin azaltılmasındaki etkinliğini göstermek için pek çok küçük ölçekli deney yapılmıştır. Reinhom ve Riley'in 1994'te yaptığı küçük ölçekli köprü modelinin deneysel çalışmalarında kayıcı karma izolasyon sistemi kullanılmıştır. Kayıcı yüzey ve zemin arasına yerleştirilen kontrol aktüatörü vasıtasıyla taban izolasyon sisteminin performansı arttırılmıştır. Taban izolasyon sistemleri lineer olmayan davranış özelliği gösterdiği için araştırmacılar fuzzy kontrol, yapay sinir ağı kontrol gibi lineer olmayan kontrol stratejileri geliştirmişlerdir.

6. YARIAKTİF KONTROL

Yarıaktif kontrol sistemleri aktif kontrol sistemlerinin bir başka uygulamasıdır. Yapının ihtiyaç duyduğu, dışardan sisteme etkiletilecek kuvvetin büyüklüğü aktif kontrole göre daha küçüktür. Yarıaktif kontrol cihazları yapıya mekanik bir enerji eklemediklerinden yapıda bir stabilite sorunu oluşma durumu söz konusu değildir. Yarıaktif kontrol cihazları kontrol edilebilen pasif cihazlar olarak bilinir.

Yarıaktif sistemlerin en önemli özelliği aktif sisteme göre dışardan ihtiyaç duyulan enerji büyüklüğünün küçük olmasıdır. Yapılan deneyler ve test çalışmaları yarıaktif kontrol sistemlerinin pasif ve aktif sistemlere göre çok daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur [1].

6.1 Akıllı Malzemeler

Sıra dışı fiziksel özelliklere sahip malzemeler literatürde ortak bir isimle, akıllı malzemeler olarak adlandırılır. Yapılan araştırmalarla doğanın kendisinden veya biyolojik analogilerden alınan bilimsel verilerle tasarımda ihtiyaç duyulan özelliklere sahip, yeni, yüksek performansa sahip malzemeler oluşturulmaktadır. Kontrol edilebilen akışkanlar akıllı malzemeler sınıfına girebilecek özelliklere sahiptir.

Kontrol edilebilen akışkanlar yapısal kontrol sistemlerinde yeni imkanlar oluşturmaktadır. Bu akışkanlar elektrik veya magnetik alana maruz bırakıldıklarında rheological davranışlarında büyük değişiklikler oluşmaktadır. Maruz bırakıldıkları alan türü dolayısı ile iki tip olarak adlandırılmaktadırlar. Elektrik alanda aktive olanlar elektrorlogical (ER) akışkanlar, magnetik alanda aktive olanlar magnethorlogical (MR) akışkanlar olarak isimlendirilir.

Bu akışkanlar elektronik ve mekanik kontrol sistemleri arasında çok hızlı ve kesin çözümler vermektedir. Bu özelliklerinden dolayı hareketli bir parçası olmayan yarıaktif sistemlerde çok önemli yer tutmaktadırlar.

6.1.1 Elektroeolojik akışkanlar

Elektroeolojik etki 1948 yılında Winslow tarafından keşfedilmiştir. Winslow, çalışmasında değişik tiplerde yağ içinde dağıtılmış alçıtaşı ve kola gibi katı

parçacıklar kullanmıştı. Günümüzde ise her yıl ER sıvıların kullanıldığı 20 civarında cihazın patenti onaylanmaktadır [1].

ER malzemeler temel olarak bir akışkan, (genel olarak düşük viskoziteli yalıtılmış sıvı) ve bunun içinde çözünen 1-10 mikrometre çapında karma parçacıklar içerir. Elektrik alan uygulandığında bu parçacıklar kutuplaşır ve malzeme karışımını katılaştırır. Statik yükler için 10kPa mertebelerinde gerilme elde edilirken bu değer dinamik yükler için 5kPa değerine düşmektedir. Elektoreolojik akışkan kullanılan ERF (electrorheological fluid) sönüm sisteminde yüksek dielektrik sabiti olan katı mikro parçacıklar düşük dielektrik sabiti olan yalıtım amaçlı yağ içinde çözünerek bir çeşit süspansiyon (katı parçacıkların askıda bulunduğu katı sıvı karışımı) elde edilmiştir. Herhangi bir elektrik alan uygulanmadıkça bu süspansiyon akışkan özelliği göstermektedir. Elektrik alan uygulandığı takdirde ise mikro parçacıklarda kutuplaşma oluşur veya parçacıklar elektrik alan yönünde hareket eder. Böylece akışkanın viskozitesi büyük ölçüde değişirken katı davranışına yaklaşılr. ERF sisteminde kullanılan akışkanda meydana gelen τ_y kayma gerilmesi elde edilen sönüm kuvvetini etkileyen en önemli parametredir. Kayma gerilmesi ne kadar büyük olursa ERF'nin etkinliği o kadar fazla olur. τ_y , elektrik alana doğrudan bağlıdır ve kritik elektrik alan değeri E_0 aşıldığı zaman τ_y de artmaya başlar. ERF'nin elektrik alan etkisi altında tüm bu değişimleri göstermesi tersinir bir işlemdir. Yani elektrik alan kaldırıldığında akışkan tekrar eski haline döner ve bu iki işlemin olması için milisaniye mertebelerinde anlık zaman dilimleri yeterli olmaktadır [16,29,32-34].

6.1.2 MR akışkanlar

MR akışkanlar ER akışkanlara göre çok daha az bilinir. MR akışkanlar mikron ölçekli paramagnetik partiküllerin nonkoloidal ortamda askıda kalması ile elde edilir. MR akışkanlar içerisindeki partikülleri MR akışkanlara göre 1000 kat daha küçük olan koloidal ferro akışkanlar ile karıştırmamalıdır. MR ve ER akışkanlar 1940'lı yıllarda keşfedildi ve araştırmaların çoğu ER akışkanlar üzerinde devam etti. MR akışkanlar ise Carlson (1994) , Carlson ve Weiss (1994) tarafından yapılan çalışmalarla yarıaktif titreşim kontrol sistemlerinde kullanılabilmesi ile yeniden gündeme geldi.

ER ve MR akışkanlar arasındaki farklılıklar;

- MR akışkanların magnetik alan altındaki akma dayanımları ER akışkanların elektrik alan altındaki akma dayanımlarından 20-50 kat daha büyüktür.

- MR akışkanlar için düşük voltajlı güç kaynağı yeterlidir.
- MR akışkanlar katkı maddelerine ve sıcaklığa çok daha az duyarlıdır.
- ER akışkanların dinamik akma dayanımları 2-5 kpa dır. (Elektrik alanı 3-5 kV/mm, plastik viskozite oranı 0,20-0,30 pa-s , sıcaklık 250 C). MR akışkanlar 50-100 kpa akma dayanımı gösterir. (Magnetik alan 150-250 kA/m, plastik viskozite oranı 0,20-0,30 pa-s , sıcaklık 250 C).(Weiss et al.1993, Carlson ve Weiss 1994)
- MR akışkanların maksimum akma dayanımı magnetik doygunlukla sınırlıdır. -50 C ile +150 C arasında aktive olabilirler. Katkı maddelerinde kir ve pisliklerden etkilenmezler.Tüm bu özelliklerinden uygulamada tercih edilmektedirler.

Kontrol edilebilir akışkan sönümleyici cihazların akışkan parametreleri η_p ve τ_y ile tanımlanır.

6.2 Kontrol Algoritmaları

Deprem yükleri altında n adet MR sönümleyici ile kontrol edilen bir yapının, kontrol kuvvetlerinin yapının davranışını lineer bölgede koruyabildiği gözönüne alınarak hareket denklemleri;

$$M_s \ddot{x} + C_s \dot{x} + K_s x = \Lambda f - M_x \Gamma \ddot{x}_g \quad (6.1)$$

şeklinde yazılabilir [31].

x : kat seviyesindeki relatif yer değiştirmeler

$\ddot{x}_g$: yer hareketine ait ivme

$f = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$ (ölçülen kontrol kuvvetleri)

Γ : birim kolon vektörü

Λ : MR sönümleyicilerin yapıda yerleştirildiği yerleri ifade eden yer vektörü

Denklem 6.1 durum uzayında,

$$\dot{z} = Az + Bf + E \ddot{x}_g \quad (6.2)$$

$$y = Cz + Df + v \quad (6.3)$$

şeklinde ifade edilir.

z : durum vektörü

y : ölçülen çıkış vektörü

v : ölçülen gürültü vektörü

MR sönümleyici kontrolü için, sönümleyicinin bulunduğu noktaya ait yer değiştirme, mutlak ivme ve kontrol kuvvetlerinin bilinmesi gereklidir [31].

Lyapunov Stabilite Teorisi

Bazı uygulamalarda Lyapunov Stabilite Teorisi ile yapının geri dönüşüm kontrolü sağlanmıştır. Bu uygulamalarda z durum vektörünün pozitif fonksiyonu olarak Lyapunov fonksiyonu $V(z)$ tanımlanmıştır [31].

Leitmann (1994) tarafından yapılan çalışmada yarıaktif kontrol Lyapunov fonksiyonu ile sağlanmıştır. Lyapunov fonksiyonu olarak;

$$V(z) = \frac{1}{2} \|z\|_p^2 \quad (6.4)$$

seçilmiştir.

$$\|z\|_p = [z^T P z]^{1/2} \quad (6.5)$$

Lineer sistem durumunda P , Lyapunov eşitliği ile ;

$$A^T P + P A = -Q_P \quad (6.6)$$

bulunur.

Pozitif yarı tanımlı negatif Q_P matrisi için, 6 denkleminin çözümü için Lyapunov eşitliğinin türevi ile;

$$\dot{V} = -\frac{1}{2} z^T Q_P z + z^T P B f + z^T P E \ddot{x}_g \quad (6.7)$$

Kontrol voltajı ile kontrol kuvveti ayarlanabilir. Bu durumda minimum $\dot{V}$ için kontrol kuralı;

$$v_i = V_{\max} H((-z)^T P B_i f_i) \quad (6.8)$$

olarak bulunur.

H = Birim basamak fonksiyonu

f_i = i nci MR sönümleyiciye ait ölçülen kontrol kuvveti

B_i = Denklem 6.2 de verilen B matrisinin i nci kolonu

Bang Bang Kontrolü

McClamroch ve Gavin (1995) tarafından ER sönümleyici ile kullanılmış bir kontrol algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışmada Lyapunov fonksiyonu, yapıdaki titreşim enerjisini kinetik ve potansiyel enerjinin toplamı olarak ifade edilecek şekilde;

$$V = \frac{1}{2} \dot{x}^T K_s x + \frac{1}{2} (\dot{x} + \Gamma \dot{x}_g)^T M_s (\dot{x} + \Gamma \dot{x}_g) \quad (6.9)$$

ile verilmiştir [31] .

Denklem 6.1 ile Lyapunov fonksiyonu;

$$\dot{V} = \frac{1}{2} \dot{x}^T K_s x + (\dot{x} + \Gamma \dot{x}_g)^T (-\dot{C}_s \dot{x} - K_s x + \Lambda f) \quad (6.10)$$

ile ifade edilir

$\dot{V}$ direkt olarak f kuvvet vektörü ile kontrol edilir. Sönüm enerjisinin maksimum olması $\dot{V}$ 'nin mümkün olduğunca büyük ve negatif olabilmesi ile sağlanır. Bunun için kontrol kuralı;

$$v_i = V_{\max} H(-(\dot{x} + \Gamma \dot{x}_g)^T \Lambda_i f_i) \quad (6.11)$$

olarak seçilir.

Λ_i = Λ matrisinin i nci kolonu

Clipped Optimal Kontrol

Dyke (1996) tarafından MR sönümleyiciler için bir Clipped Optimal Kontrol algoritması geliştirilmiştir. 'y' yapının ölçülen cevabını ve f yapıya uygulanan kontrol kuvvetini ifade etmek üzere; kontrol kuvvetlerinden oluşan $f_c = [f_{c1}, f_{c2}, \dots, f_{cn}]^T$ kontrol kuvvet vektörünü hesaplayan lineer optimal bir kontrolcü $K_c(s)$ için clipped optimal kontrol,

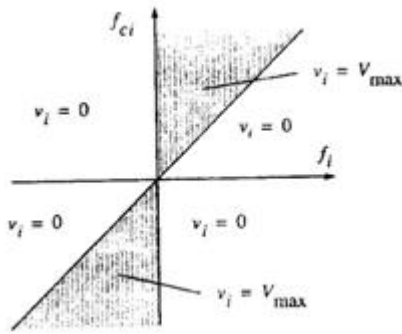
$$f_c = L^{-1} \left\{ -K_c(s) L \begin{bmatrix} y \\ f \end{bmatrix} \right\} \quad (6.12)$$

ile ifade edilir [31].

L : Laplace Transform

MR sönümleyici tarafından üretilen kuvvet, yapısal sisteminin yerel özelliklerine bağlı olduğu için istenilen kuvvet her zaman MR sönümleyici tarafından üretilmeyebilir. Kontrol kuvveti yalnızca voltaj değişikliği ile ayarlanmaktadır. İstenilen kuvvetin üretilmesi için bir kontrol kuvvet geri dönüşüm döngüsü oluşturulur. MR sönümleyici istenilen kuvveti ürettiği durumda sönümleyiciye uygulanan voltaj başlangıçtaki durumunda korunur. Üretilen kuvvet, üretilmesi istenen kuvvetten küçükse ve iki kuvvet aynı işaretli ise sönümleyiciye uygulanan voltaj maksimum seviyeye getirilir. Aksi durumda kumanda edilen voltaj sıfıra ayarlanır. i nci MR sönümleyici için seçilen komut işareti Şekil 6.1 de ve denklem 6.13 te ifade edilmiştir [31].

$$v_i = V_{\max} H(\{f_{ci} - f_i\} f_i) \quad (6.13)$$



Şekil 6.1 Kontrol Algoritmasının Seçilen Komut İşaretine Göre Değişimi

6.3 Yarıaktif Kontrol Sistemleri

Yarıaktif kontrol cihazları son yıllarda büyük güç kaynakları gerektirmeyen aktif kontrol cihazları olarak uyarlanabilmesi ile dikkat çekmektedir. Yarıaktif kontrol cihazları mekanik enerjiyi kontrol edilen yapı sistemine aktarmaz ve sistemin vereceği cevabı optimum olacak derecede küçültebilecek şekilde kontrol edilebilen özelliklere sahiptir. Bu nedenle aktif kontrol cihazlarının aksine yapı sisteminin stabilitesini etkileme potansiyeli yoktur [1].

6.3.1 Değişken orifis sönümleyiciler

Bu tip sönümleyiciler kontrol edilebilen, elektromekanik, değişken orifisli vana vasıtasıyla klasik hidrolik sıvı sönümleyicilerin direncim ayarlama özelliğine sahiptir. Bunların sismik etkilere maruz köprülerin kontrolünde kullanılması fikri ilk olarak Feng ve Shinozuka (1990) ve Kavvashima (1992) tarafından irdelenmiştir. Daha sonra Sack ve Patten (1993) tarafından yürütülen araştırmalarda kontrol edilebilen orifis içeren bir hidrolik aktüatör vasıtasıyla araç trafiğinden meydana gelen titreşimlerden oluşan enerjinin dağıtılması amaçlanmıştır. Sistem yine Sack ve Patten tarafından yürütülen bir çalışmayla ABD'de Oklahama 135 otoyolundaki bir köprüde kullanılmıştır. Yapılan tüm analitik ve deneysel çalışmalar sistemin yapısal tepkinin azaltılmasında etkili olduğunu göstermektedir [1].

6.3.2 Değişken sürtünme sönümleyiciler

Titreşim enerjisinin absorbe edilmesi amacıyla yüzey sürtünmesi kullanan pek çok yan aktif kontrol cihazı üretilmiştir. Akbay ve Aktan'ın (1990), Kannan'ın (1995) yaptığı çalışmalarda yapının kuşaklamalarına rijit olarak bağlanan bir sürtünme şaftını içeren değişken sürtünmeli sönümleyiciler önerilmiştir. Bu sistemde sürtünme yüzeylerinde üretilen kuvvet yüzeylerin birbirleri üzerinde kontrollü bir biçimde kaymasına izin verilerek elde edilmektedir. Yapılan analitik çalışmalarda bu tip yarıaktif cihazlarının sismik zorlamaya maruz kalan yapılarda özellikle katlar arası ötelemelerin azaltılmasında oldukça etkili olduğu görülmüştür [1].

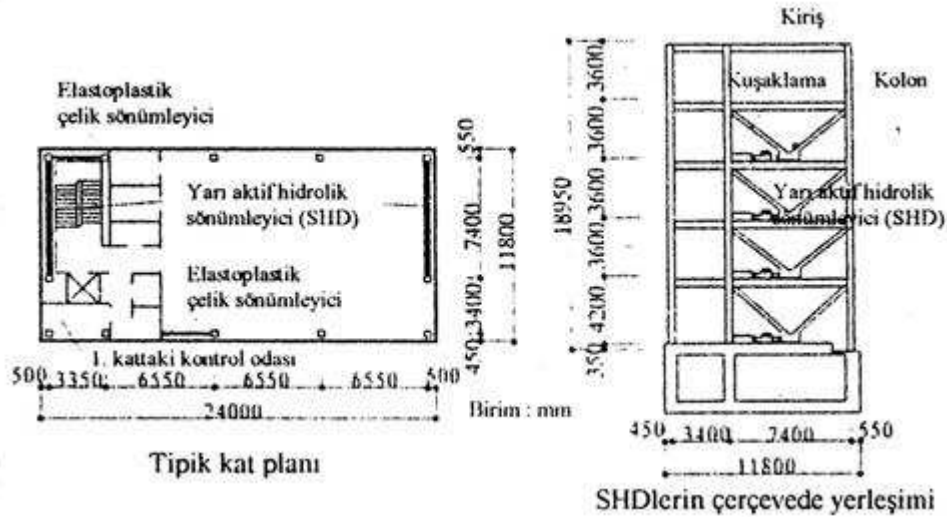
6.3.3 Darbe etkili yarıaktif sönümleyiciler

Darbe etkili pasif sönümleyiciler türbin ve dişli kutularında oluşan titreşimlerin azaltılması amacıyla uzun yıllardır başarıyla kullanılmaktadır. Darbe etkili sönümleyicilerin deprem zorlamaları altında kullanılmasını öneren çalışmalar Masri ve Yang tarafından 1973 yılında yapılmıştır. Papalou ve Masri'nin 1996'da yaptığı çalışmada çok parçalı sönümleyicilerin rastgele yüklemeler altında zayıf sönümlü (kritik altı) sistemlerde önemli titreşim azalması sağladığı görülmüştür. Çok parçalı sönümleyiciler, tek parçalı sönümleyicilerin bazı frekans aralıklarında çok daha fazla titreşim azalmaları sağlamalarına rağmen bazı frekans aralıklarında çok az hatta hemen hemen hiç etkili olamamaları sebebiyle tercih edilmişlerdir [1].

6.3.4 Yarıaktif hidrolik sönüm sistemi (Semiactive Hydraulic Damper)

SHD sistemi, içerdiği çok az elektrik gücüyle çalışan ve geniş ölçekli yapıların büyük depremlerde etkili yapısal kontrolünü garanti eden hidrolik sönümleyiciler sayesinde, inşaat mühendisliği uygulamalarında pek çok avantaj sağlar. Sistemin, 1000kN sönüm kuvveti altında yapılan performans testlerinde, yapının sismik tepkisinin azaltılmasında ve bununla birlikte yapı fonksiyonlarının büyük depremlere karşı korunmasında etkili olduğu kanıtlanmıştır.

SHD sistemi, Japonya'da Shizuoka'da beş katlı ofis binasında kullanılmıştır. Çelik çerçeveli binanın toplam yüksekliği ve toplam kat alanı sırasıyla 19,75m ve 1685 m² 'dir. SHD'ler binanın çelik kuşaklamalarına 1 ve 4. katlar arasında bağlanmıştır. Yapısal güvenliğin, binanın enine doğrultuda (kısa doğrultu) kontrol edilerek sağlanması amaçlanmıştır. Yani çelik kuşaklamalar ve buna bağlı SHD sistemi enine doğrultuda yerleştirilmiştir. Daha rijit olan boyuna doğrultuda ise elastoplastik çelik sönümleyiciler yerleştirilmiştir.



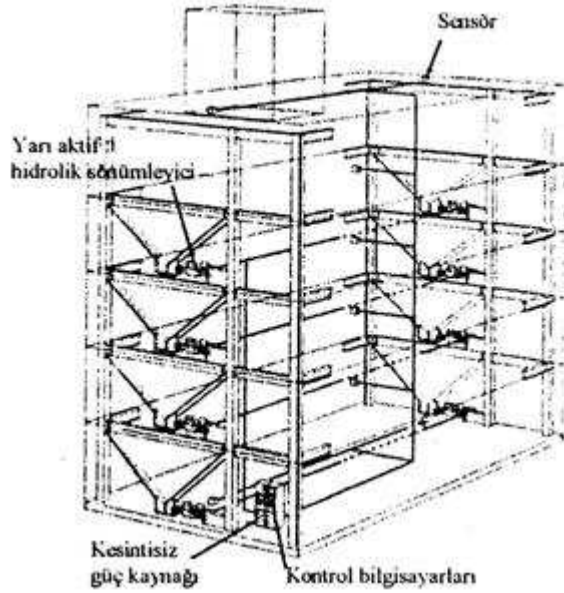
Şekil 6.2 Shizuoka'daki ofis binasının anahatları

Sistemin kontrol prosedürü aşağıdaki şekilde işlemektedir:

- Her kata yerleştirilen sensörler (örneğin hız ölçerler) yapının tepkisini ölçer.
- Binanın birinci katındaki kontrol odasına konulan kontrol bilgisayarları sensörlerden gelen verilere dayanarak hesap yapar ve yapının tepkisini minimize edecek sönüm kuvvetlerini belirler.

Bilgisayarlar tarafından gönderilen sinyallere göre her kattaki SHD o kat için gerekli olan sönüm kuvvetini üretir. Herhangi bir güç kesintisi durumunda sistem hazır durumda bulunan kesintisiz güç kaynağı ile işletilir.

Bir silindir ve her iki yanındaki özel olarak imal edilmiş millerden (klevis) oluşan SHD, vidalarla kuşaklamalara ve kolonun alt kısmına sabitlenmiş destek elemanına bağlıdır. Sadece 70 Watt elektrik gücü kullanılarak akış kontrol vanasının açıklığı ayarlanarak SHD sönüm kuvveti üretilir. Akış kontrol vanasına paralel bağlanan yardımcı vana sayesinde SHD'nin istenilen değerden büyük kontrol kuvveti üretmesi engellenebilir. Ayrıca güç kaynağının kesilmesi veya hiç tahmin edilmeyen bir durumla karşılaşılması hallerinde emniyet amaçlı solenoid vana açılır. Bu vana açılınca orifisten geçen yağ SHD'nin pasif bir sönümleyici gibi çalışmasını sağlar.



Şekil 6.3 SHD sisteminin binaya yerleşim biçimi

SHD kontrol ünitesi, basınç kontrol elemanı, vana açma-kapama kontrol elemanı ve sinyal değerlendirme devresinden oluşur. Kontrol ünitesinin amacı, bilgisayardan aldığı komuta göre silindir içindeki hidrolik basıncın geribeslemesini ve sönüm kuvvetinin SHD tarafından üretimini sağlamaktır. Sistem yarı aktif olarak tasarlandığı için, SHD tarafından üretilen sönüm kuvveti ve bilgisayarın yolladığı komut sinyali ters işaretli olduğu zaman, SHD sisteminin sönüm kuvveti üretmesi imkansız hale gelir. Bu gibi durumlarda SHD kontrol ünitesi kontrol vanasını daha çok açar ve sönüm kuvveti üretimini durdurur [18].

6.3.5 Akışkan kontrollü sönümleyiciler

Kontrol edilebilir sönümleyiciler dışındaki tüm kontrol cihazları elektrik ihtiyacı duyan bir mekanizma ile kontrol edilmektedir. Bu durum kontrol sürekliliğini ve verimini azaltmaktadır. Kontrol edilebilen sönümleyicilerin avantajı bir piston dışında hareket eden bir parçalarının bulunmamasıdır. Bu durum bu cihazları daha güvenilir yapmaktadır.

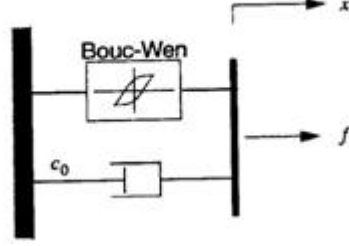
Kontrol edilebilir sıvıların en temel özelliği; elektrik veya magnetik alana maruz bırakıldıklarında milisaniye mertebesi içerisinde viskoz bir akışkandan kontrol edilebilir bir akma dayanımı olan semisolid bir malzeme dönüşebilmeleridir. Maruz bırakıldıkları alan türü dolayısı ile iki tip olarak adlandırılmaktadırlar. Elektrik alanında aktive olanlar elektrorlogical (ER) akışkanlar, magnetik alanda aktive olanlar magnetorheological (MR) akışkanlar olarak isimlendirilir.

Son zamanlarda MR akışkanlar ER akışkanların çok iyi bir alternatifi olarak kontrol edilebilir akışkan sönümleyici cihazlarda kullanılmaktadır. MR akışkanlar, ER akışkanların magnetik analoglarından ve micron ölçekli magnetik ortamda polarize olabilen partiküllerin silikon yağı vb. bir ortamda karıştırılması ile elde edilir. MR akışkanlar magnetik bir ortama maruz bırakıldıklarında partiküller zincir formunda birbirine bağlanır ve sıvı yarıkatı bir görünüş alarak tıpkı ER akışkanlar gibi viskoplastik bir davranış gösterir.

Ayrıca Carlson ve Weiss (1994) yaptıkları çalışmalarla MR akışkanlar ile elde edilen akma dayanımının ER ile elde edilenden çok daha fazla olduğunu ve -40 C ile $+150\text{ C}$ arasında akma dayanımının değişmediğini göstermişlerdir. MR akışkanlar kullanımdan dolayı zamanla oluşacak partiküler kirliliklere karşı duyarlı değildir. Verim artırıcı birçok katkı maddesi ile birlikte özelliklerinde hiçbir şey kaybetmeden kullanılabilir. Çünkü elektro kimyasal özellikler, magnetik polarizasyon mekanizmasını etkilememektedir. MR akışkanlar 12-24 V ile düşük voltajda kontrol edilebilir ve güç kaynağı 1-2 A olabilir. Kontrol edilebilir. MR akışkan sönümleyici cihazların inşaat mühendisliği uygulamalarında geleceği oldukça parlak görülmektedir [1].

ER sönümleyici cihazlarla ilgili birçok araştırma ve uygulama mevcuttur. MR sönümleyicilerle ilgili ancak birkaç tane uygulama bulunabilir. MR sönümleyici cihazlar Amerikan Lord firması tarafından Rheonetic markası altında üretilmiştir. Bu cihazlar tüm uygulamalarda ihtiyaç duyulan özellikleri karşılayabilecek niteliktedir.

MR ve ER sönümleyiciler ile ilgili birçok mekanik model mevcuttur. Bu tez çalışmasında Şekil 6.4 'te şematik ifadesi verilen Bouc-Wen MR sönümleyici mekanik modeli kullanılmıştır.



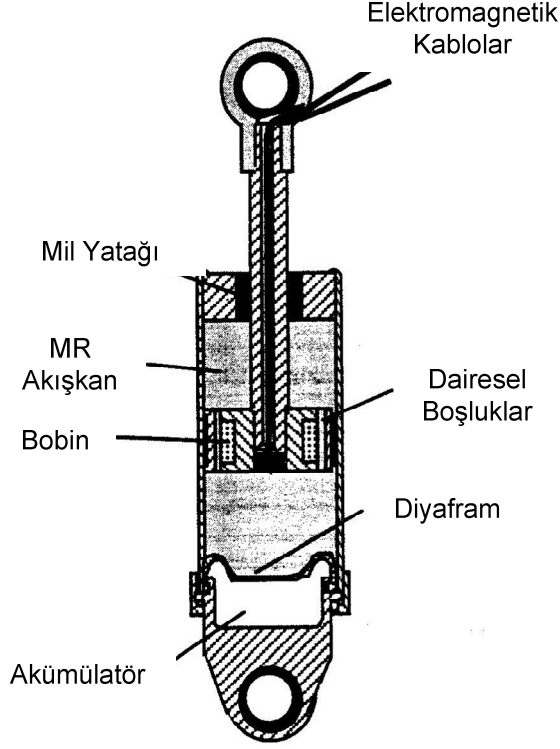
Şekil 6.4 MR Sönümleyici Mekanik Modeli

6.3.5.1 MR lineer sönümleyici

Lord firması tarafından SD-1000 kod numarası ile karayolu araçları için yarıaktif koltuk süspansiyonu olarak kullanılmak üzere üretilmiş 3,8 cm çapında 21,5 cm uzunluğunda ve 12,5 cm vuruş yüksekliğine sahip bir cihazdır.

MR akışkan valfleri ve piston magnetik devre ile bağlıdır. Akım uzun şaft vasıtası ile elektromagnetik devreye iletilir. Cihazın çalışması için 1 amper akım ve 4W güç gereklidir ve 50 cm³ MR akışkan içerir.

Tek serbestlik dereceli süspansiyon sisteminde 2,5 hz frekansta rezonans durumu gerçekleşmektedir. Eğer koltuk düşük sönüm seviyelerine sahip olursa yüksek frekans izolasyonu iyi konfor oluşturmaktadır. Yüksek sönüm oranlarında rezonans durumu kontrol altına alınmaz fakat konfor durumunu ve yüksek frekans izolasyonunu oldukça azaltmaktadır. MR sönümleyicinin performansı “kontrollü sönüm” ile gösterilmiştir. Basit bir geri dönüşüm kontrol sistemi ile rezonans durumu yok edilmiş ve yüksek frekans izolasyonu korunmuştur [29,32,34].



Şekil 6.5 MR Lineer Sönümleyici

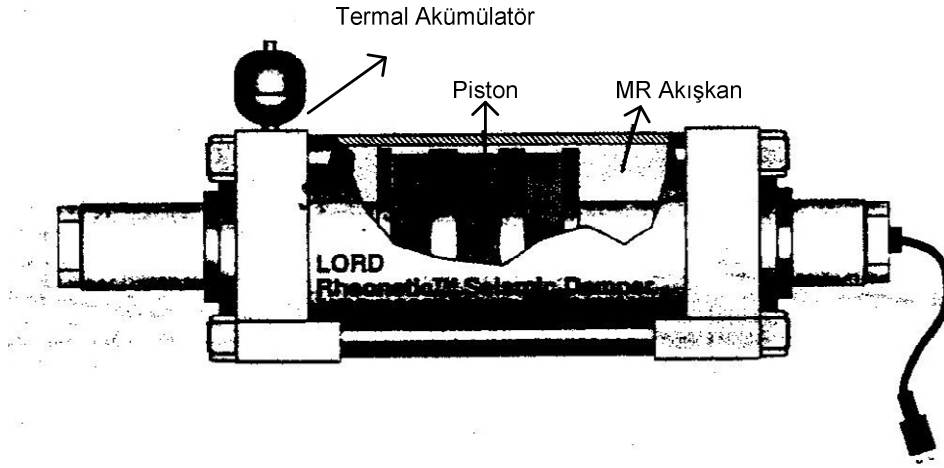
6.3.5.2 Sismik kontrol için MR sönümleyici

Amerikan Lord firması tarafından yarıaktif MR sönümleyici teknolojisini sergileyebilmek ve mühendislik yapılarında uygulanabilirliğini göstermek amacı ile teorisi Carlson ve Spencer (1994) tarafından geliştirilen tam ölçekli ve 20 ton sönüm kuvveti üreten bir MR akışkan sönümleyici tasarımı yapılmıştır.

Üretilen sönümleyici basit bir geometriye sahiptir ve dış kısmında magnetik devrenin bir parçası olan silindirik kabuk mevcuttur. Piston üç bölümden oluşan basit bir bobin içermektedir. Piston dış çapı ile yuvası arasındaki tüm halkasal boşluklar efektif akışkan orificelerini oluşturmaktadır. Pistonun hareketi akışkanın tüm halkasal boşluklu bölgeye akışını sağlar. Piston bir şaft vasıtası ile iki ucundan mesnetlidir.

Elektromagnetik bobin 3 bölüm halinde pistonu çevrelemiştir. Bu durum 4 adet efektif valf bölgesinden akışkanın akışını sağlamaktadır. Bobin 1,5 m uzunluğunda magnetik tel içermektedir. Detayları Carlson (1994) tarafından gerçekleştirilen cihaz MR sönümleyicilerin başarılı bir uygulaması olmuştur.

Tasarımı yapılan sönümleyici 1m uzunluğunda, 250 kg ağırlığında 5 litre MR akışkan içeren bir cihazdır.Yalnızca 90 cm³ akışkan magnetik alana maruz bırakılmaktadır. Cihaz Notre Dame Üniversitesi'nde test edilmiştir [1].



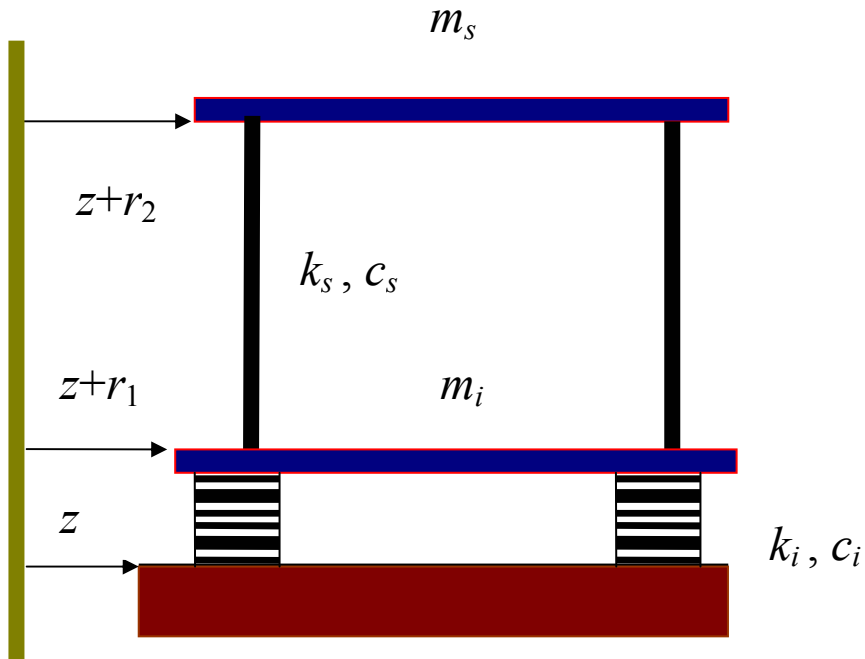
Şekil 6.6 Sismik Kontrol İçin MR Sönümleyici

7. TABAN İZOLASYONLU YAPI İÇİN PASİF VE YARIAKTİF KONTROL UYGULAMASI

7.1 Giriş ve Yapı Özellikleri

Taban izolasyonlu yapılarda büyük yatay deplasmanlardan dolayı bir kısım taban izolasyon sistemlerinde depremlerden sonra kalıcı deformasyonlar oluşmakta ve bunlar zamanla birikerek sistem devre dışı kalmaktadır. Bu olumsuz etkilerin azaltılması için taban izolasyonlu yapılara taban izolasyonu seviyesinde ek sönüm cihazları yerleştirilir ve enerji sönümleme kapasitesi artırılır.

Taban izolasyonu seviyesinde eklenen pasif kontrollü sönüm cihazlarının yapının üst katlarında yaptığı olumsuz etki daha önce yapılan akademik çalışma ve uygulamalarla belirlenmiştir [1].



Şekil 7.1 2 Serbestlik derecesine sahip idealize edilmiş yapı

Bu çalışmada 2 serbestlik dereceli sistem olarak modellenmiş taban izolasyonlu bir yapının zemin katına yerleştirilen pasif sönümleyiciler ile kontrol edilebilir MR

sönümleyicilerin yapının davranışı üzerinde yaptığı etkiler araştırılmaktadır. Şekil 7.1 de idealize edilmiş yapı modeli görülmektedir.

Şekil 7.1 de verilen sistem özelliklerinden m_s 2.kat kütesini, m_i izolasyon sisteminin üzerindeki katın kütesini ifade etmektedir. İzolasyon sisteminin rijitliği k_i , sönümü c_i , izolasyon sistemi üzerindeki kat rijitliği k_s ve sönüm c_s olarak belirtilmiştir. Relatif deplasmanlar r_1 ve r_2 ile zemin yer değiştirmesi ise z gösterilmiştir. Yapılan çalışmada $m_i = m_s = 105$ kg, $c_i = 1.1$ kN/cm/sn ve $c_s = 0.3$ kN/cm/sn. olarak seçilmiştir. Tablo 7.1 ‘de modele ait modal karakteristikler görülmektedir.

Tablo 7.1 2 serbestlik derecesine sahip yapı modeli için modal karakteristikler

Case	k_i (kN/cm)	k_s (kN/cm)	F_1 (Hz)	f_2 (Hz)	ζ_1	ζ_2	T_1 (sn)	T_2 (sn)
I	40	300	0.7	3.96	0.058	0.024	1.43	0.25

7.2 Pasif Viskoz Sönüm Kontrolü

Taban izolasyonu seviyesinde sisteme eklenen sönüm cihazları, izolatör katına ait viskoz sönüm katsayıları $c_i = 1.1, 2.0, 5.0, 7.0$ ve 10.0 kN/cm/sn olarak artan şekilde değiştirilerek idealize edilmiştir. Bu sönüm katsayılarına ait birinci modun sönüm oranları, kritik sönümün %5.8, %10.6, %16.7, %37.5 ve %54.2 si olarak belirlenmiştir. Her sönüm oranı için ideal yapı sistemi bölüm 7.4’ te verilen 8 farklı deprem kaydı için analiz edilmiş ve artan sönümün farklı deprem etkileri altında yapının davranışında yaptığı değişiklikler araştırılmıştır.

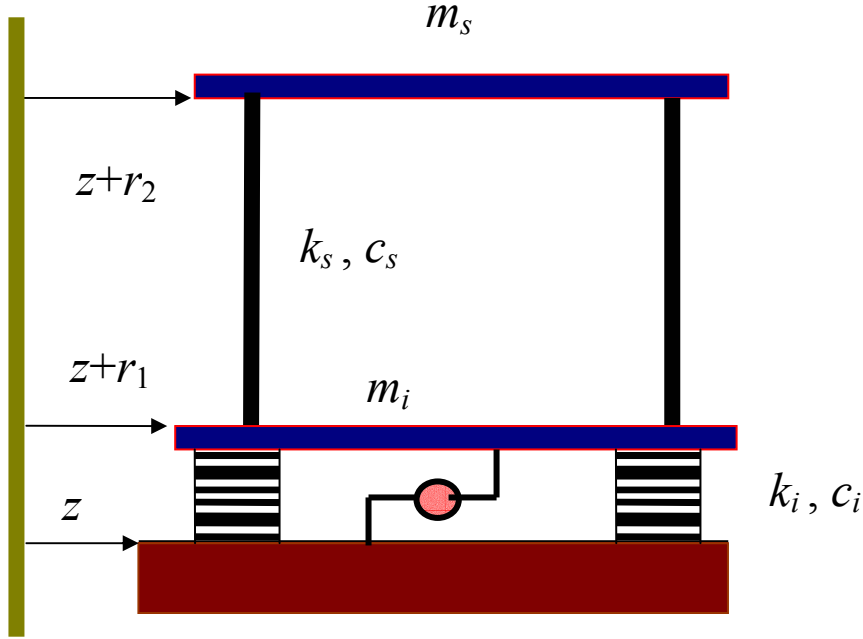
7.3 Yarıaktif Kontrol

Yapıda yarıaktif kontrol uygulaması, yapıya taban izolasyonu seviyesinde kontrol edilebilir MR sönümleyici eklenerek gerçekleştirilmiştir. İzolatöre ait sönüm $c_i = 1.1$ kN/cm/sn olarak kabul edilmiş ve ideal yapı sistemi bölüm 7.4’ te verilen 8 farklı deprem kaydı için analiz edilmiş ve yarıaktif kontrolün farklı deprem etkileri altında yapının davranışında yaptığı değişiklikler araştırılmıştır. Şekil 7.2’de idealize edilmiş yarıaktif kontrollü yapı görülmektedir.

Taban izolasyonu seviyesinde yapıya eklenen kontrol edilebilir MR sönümleyicilerin kontrol edilebilir rijitlik ve sönüm özellikleri (7.1) eşitliğinde verilen beş parametre ile. modellenabilmektedir [24-27].

$$f_{MR} = f_0 u H(u) \tanh(r_1 / d_0 + \dot{r}_1 / v_0) + k_d r_1 + c_d \dot{r}_1 \quad (7.1)$$

Denklem 7.1 de verilen d_0 ve v_0 sabitleri sönümleyicinin akma öncesi davranışını, f_0 kontrol edilebilir bir akma kuvvetini, k_d ve c_d ise $u = 0$ anındaki akma sonrası davranışını ifade etmektedir. Kontrol kuvveti, f , u değişkeninin kontrolü yolu ile değiştirilir. ‘ u ’ değişkeninin kontrolü MR sönümleyicinin kontrol edilen magnetik alan özelliğine karşılık gelmektedir. $H(u)$ u değişkenine ait birim basamak fonksiyonudur. Yapılan çalışmada sönümleyiciye ait parametreler $f_0=100\text{kN}$, $d_0=5\text{cm}$, $v_0=4\text{cm/sec}$, $c_d=2\text{kN/cm/sec}$ ve $k_d=3\text{ kN/cm..}$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 7.2 2 Serbestlik derecesine sahip idealize edilmiş yarıaktif kontrollü yapı

7.3.1 Kontrol algoritmaları

Yarıaktif kontrol uygulaması, pseudo-skyhook kontrol metodları [28] olan bang-bang kontrol (BBK) ve sürekli kontrol (SK) ile ayrı ayrı yapılmıştır.

Pseudo-skyhook yarıaktif kontrol metodunun (7.1) denklemi ile verilen MR sönüm kuvvetine uygulanması denklemdeki kontrol parametresi $uH(u)$ 'nun kontrol gecikmesini ifade eden v ile değiştirilmesi ile sağlanır. v değişkeni için diferansiyel denklem, bang bang kontrolde (7.2) denklemi ile, sürekli kontrolde ise (7.3) denklemi ile verilmiştir.

$$\dot{v} = -\frac{1}{T_v} [v - H((f_{MR})(\dot{r}_1 + \dot{z}))] \quad (7.2)$$

$$\dot{v} = -\frac{1}{T_v} [v - \alpha |\dot{r}_1 + \dot{z}| H((f_{MR})(\dot{r}_1 + \dot{z}))] \quad (7.3)$$

T_v sönümleyicinin verdiği tepkinin süresini ifade etmektedir. Yapılan çalışmada $T_v = 0,04$ olarak kabul edilmiştir. α katsayısı sönümleyici kuvvetinin mertebesinin gösteren kontrol kuralı için bir tasarım parametresidir. Yapılan çalışmada $\alpha = 0,055$ olarak kabul edilmiştir

7.3.2 Sistemin dinamik denklemi

(7.1) denklemi ile modellenen MR sönümleyicili ve taban izolasyonlu iki serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi (7.4) te verilmiştir.

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), u(t), t) = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{g}(\mathbf{x}, u)u + \mathbf{H}\ddot{\mathbf{z}}(t), \quad \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{0} \quad (7.4)$$

$$\mathbf{x} = \begin{Bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \dot{r}_1 \\ \dot{r}_2 \end{Bmatrix} ; \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_i + k_s + k_d}{m_i} & \frac{k_s}{m_i} & -\frac{c_i + c_s + c_d}{m_i} & \frac{c_s}{m_i} \\ \frac{k_s}{m_s} & -\frac{k_s}{m_s} & \frac{c_s}{m_s} & -\frac{c_s}{m_s} \end{bmatrix} \quad (7.5)$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}, u) = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -(f_0 / m_i) H(u) \tanh(r_1 / d_0 + \dot{r}_1 / v_0) \\ 0 \end{Bmatrix} ; \quad \mathbf{H} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \end{Bmatrix} \quad (7.6)$$

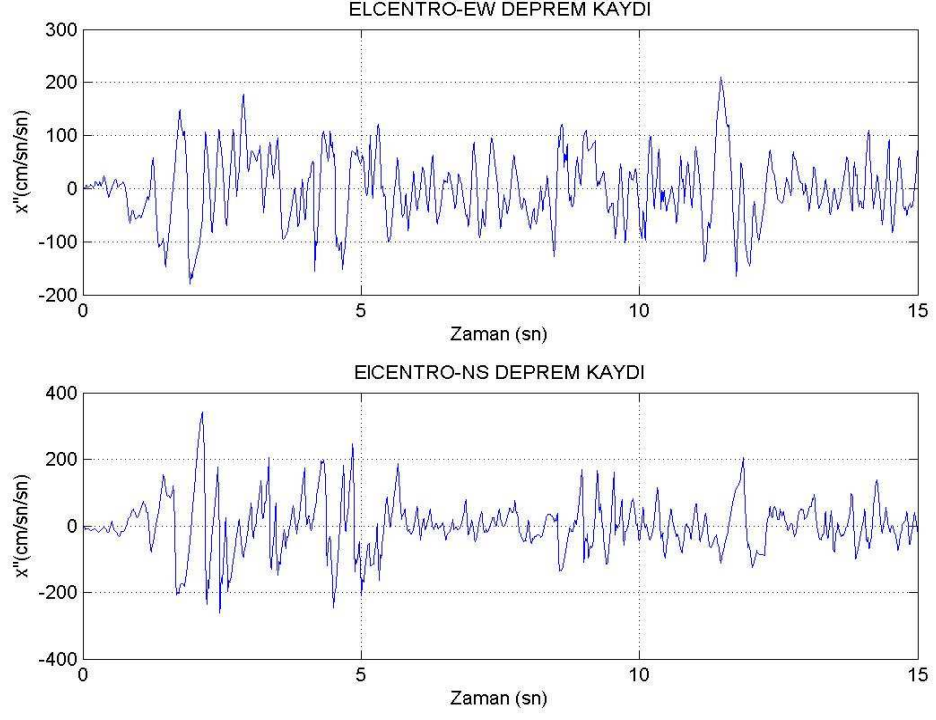
Sisteme ait amaç fonksiyonu J aşağıdaki şekilde seçilmiştir.

$$J = \int_{t_0}^{t_f} [\ddot{r}_2(t) + \ddot{z}(t)]^2 dt = \int_{t_0}^{t_f} \left\{ \frac{k_s [r_2(t) - r_1(t)] + c_s [\dot{r}_2(t) - \dot{r}_1(t)]}{m_s} \right\}^2 dt \quad (7.7)$$

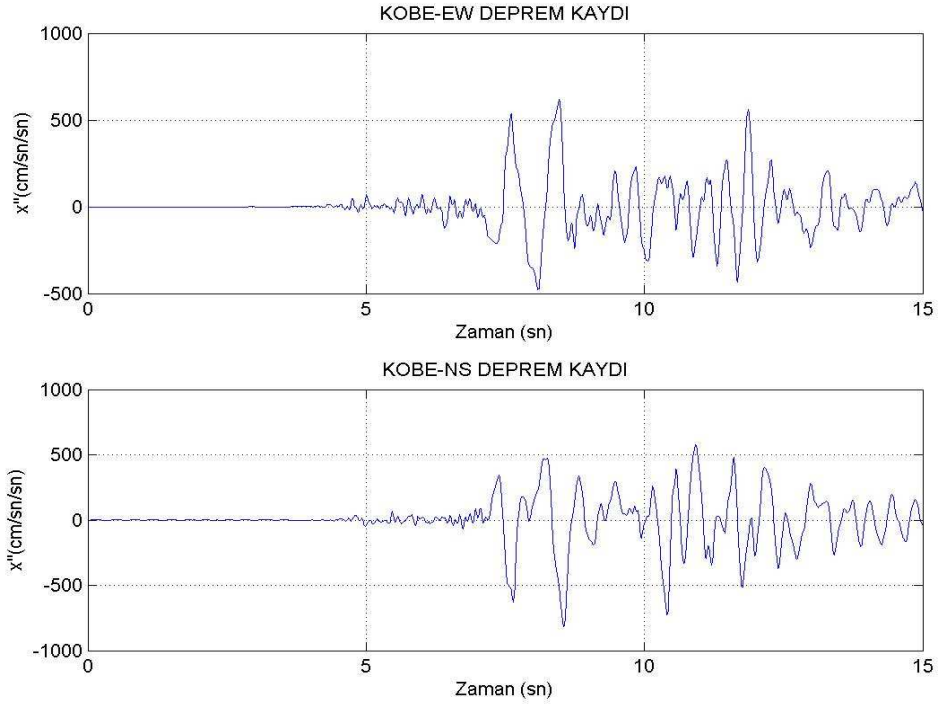
7.4 Analiz İçin Kullanılan Deprem Kayıtları

Yapılan sekiz farklı depreme pasif ve yarıaktif kontrollü, taban izolasyonlu yapıların verdiği tepkiler incelenmiştir. Kullanılan deprem kayıtları : RINew (Northridge Depremi; 17 Ocak 1994; Rinaldi Kaydı), RINNS (Northridge Depremi; 17 Ocak 1994; Rinaldi kaydı), SLMew (Northridge Depremi; 17 Ocak 1994; Sylmar

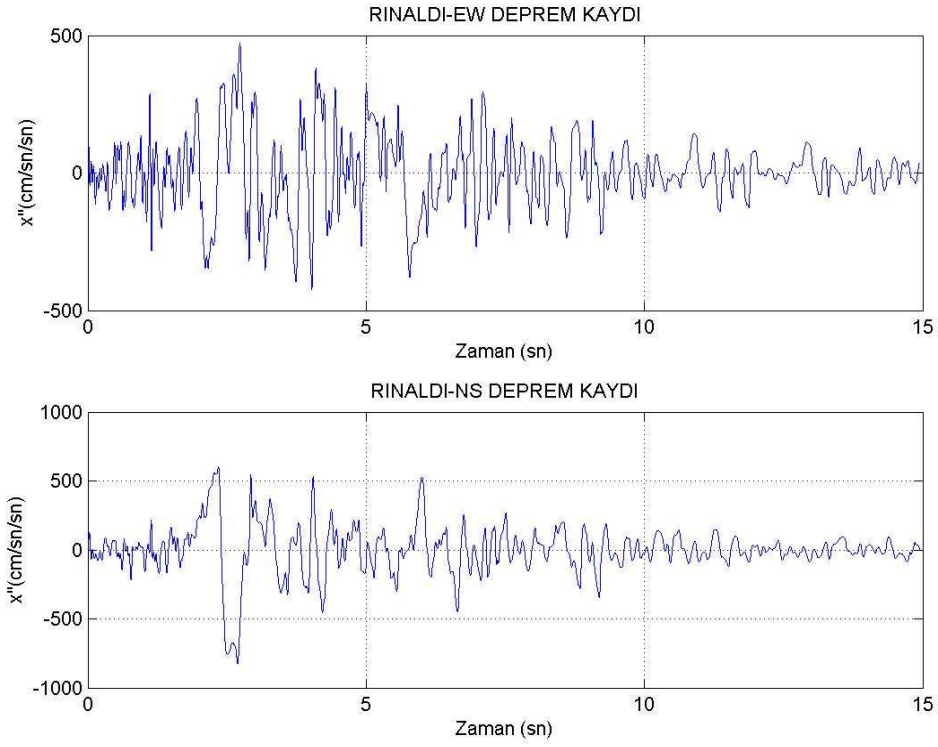
Station), SLMNS (Northridge Depremi; 17 Ocak 1994; Sylmar Kaydı), KOB EW (Kobe Depremi; 17 Ocak 1996; Kobe Kaydı), KOBNS (Kobe Depremi; 17 Ocak 1996; Kobe Kaydı), ELCEW (Imperial Valley Depremi; 18 Mayıs 1940; El Centro Kaydı) and ELCNS (Imperial Valley Depremi; May 18,1940; El Centro Station).



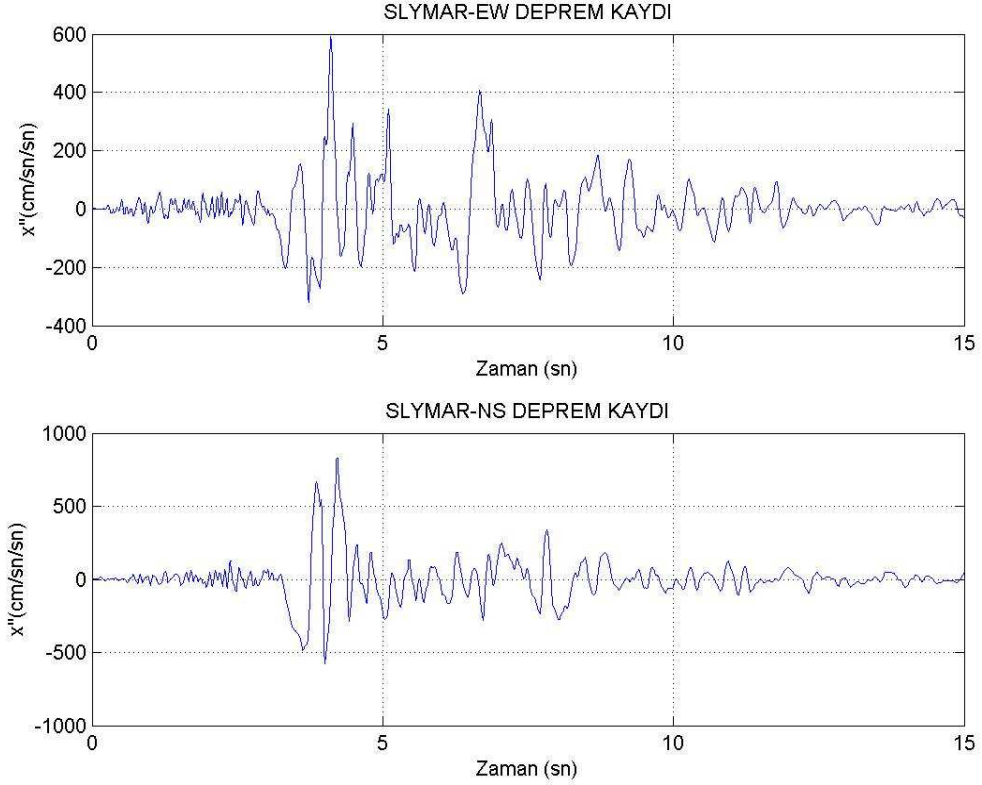
Şekil 7.3 Elcentro Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Deprem Kayıtları ivme-zaman grafikleri



Şekil 7.4 Kobe Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Deprem Kayıtları ivme- zaman grafikleri



Şekil 7.5 Rinaldi Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Deprem Kayıtları ivme- zaman grafikleri



Şekil 7.6 Slymar Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Deprem Kayıtları ivme- zaman grafikleri

7.5 Deprem Etkisi Altındaki Çok Katlı Yapıların Durum Uzayı Formunda Formülasyonu

Tek boyutlu $f(t)$ deprem ivmesi ve $U(t)$ kontrol kuvveti etkisindeki toplu kütleli sistem olarak modellenmiş lineer bir kayma binası n -serbestlik dereceli bir sistem olarak Şekil 3.1’de görüldüğü gibi idealize edilebilir. Şekil 3.1’den yararlanarak elde edilen i . nci kata ait serbest cisim diyagramı Şekil 3.2’de verilmiştir. Burada m_i , k_i ve c_i ; katsayıları sırasıyla i .nci kata ait kütle, rijitlik ve sönümü; x_i ve u_i , ise i .nci kata ait yere göre relatif deplasmanı ve kat kontrol kuvvetini ifade etmektedir. Bu diyagramdan yararlanarak i . nci kata ait hareket denklemi mutlak ivme kullanılarak

$$m_i [\ddot{x}_i + f(t)] = c_i \dot{x}_{i-1} - (c_i + c_{i+1}) \dot{x}_i + c_{i+1} \dot{x}_{i+1} + k_i x_{i-1} - (k_i + k_{i+1}) x_i + k_{i+1} x_{i+1} + u_{i+1} - u_i \quad (7.8)$$

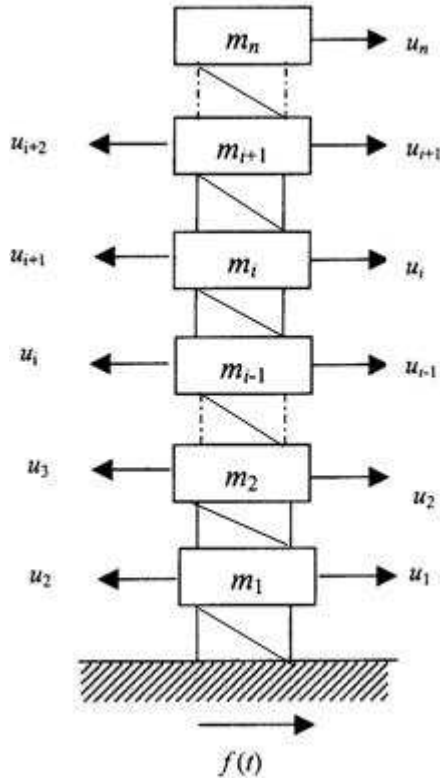
şeklinde elde edilir.(7.8) denklemi tekrar düzenlenir ve $i = 1, 2, \dots, n$ için ayrı ayrı yazılırsa

$$m_1 \ddot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 + (k_1 + k_2) x_1 - k_2 x_2 = -m_1 f(t) + u_2 - u_1 \quad (7.9)$$

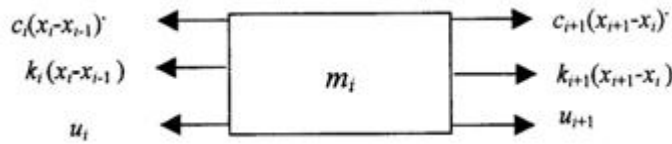
$$m_2 \ddot{x}_2 - c_2 \dot{x}_1 + (c_2 + c_3) \dot{x}_2 + (k_2 + k_3) x_2 - k_3 x_3 = -m_2 f(t) + u_3 - u_2 \quad (7.10)$$

$$m_n \ddot{x}_n - c_n \dot{x}_{n-1} + c_n \dot{x}_n - k_n x_{n-1} - k_n x_n = -m_n f(t) - u_n \quad (7.11)$$

denklemleri elde edilir



Şekil 7.7 İdealize edilmiş yapı modeli



Şekil 7.8 i.nci kata ait serbest cisim diyagramı

Yukarıda verilen (7.9)-(7.11) denklemleri yazılırken zemine ait $\dot{x}_0$ ve x_0 terimlerinin ve (n+1).nci kata ait k_{n+1} ve c_{n+1} katsayılarının sıfır alınacağı açıktır.

Ayrık formda yazılmış (7.9)-(7.11) denklemlerini matris formunda

$$M \ddot{X}(t) + C \dot{X}(t) + K X(t) = -M V f(t) + L U(t) \quad (7.12)$$

denklemleriyle de ifade etmek mümkündür. Burada $X(t) = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ katların zemine göre relatif deplasmanlarını ifade eden n-boyutlu deplasman vektörü (burada ^{T} vektör veya matris transpozunu ifade etmektedir); M köşegen elemanları kat kütlelerine karşı gelen (nxn) boyutlu köşegen sistem kütle matrisi; C ve K sırasıyla (nxn) boyutlu viskoz sönüm ve rijitlik matrisleri; $V = (1, 1, 1, \dots, 1)^T$ n-boyutlu vektör; L (nxn) boyutlu n tane kontrol elemanının yerleşim matrisi, $U(t)$ kontrol kuvvet vektörü ve skaler $f(t)$ fonksiyonu ise bir boyutlu deprem yer ivmesidir. C, M, K ve L matrislerinin açık ifadeleri aşağıda verilmiştir.

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & & \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \\ & & \ddots & \\ & & & -c_{n-1} & c_{n-1} + c_n & -c_n \\ & & & & -c_n & c_n \end{bmatrix}; M = \begin{bmatrix} m_1 & & & \\ & m_2 & & 0 \\ & & m_3 & \\ & & & \ddots & \\ 0 & & & & m_n \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & & \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \\ & & \ddots & \\ & & & -k_{n-1} & k_{n-1} + k_n & -k_n \\ & & & & -k_n & k_n \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} -1 & 1 & & \\ & -1 & 1 & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & & & -1 & 1 \\ & & & & -1 \end{bmatrix}$$

Şekil 7.9 K, L, M, C matrislerinin açık formu

Şekil 7.10 ile verilen L matrisi Şekil 7.8'de de açıkça görüldüğü gibi her kata kontrol kuvveti uygulandığı durumda bu kuvvetlerin bir evvelki ve sonraki katlara olan etkisini de içeren (nxn) boyutlu bir matrisdir. Özel halde her kata kontrol kuvveti uygulanmadığında veya kontrol kuvvetlerinin uygulanma şekline bağlı olarak katlara

uygulanan kuvvetlerin diğer katlarla ilgisi olmadığında geçerli olan L matrisi, Şekil 7.10 'da verilen L matrisinin ilgili elemanları sıfır alınarak kolaylıkla elde edilebilir.

Açıktır ki bu durumda r tane kontrol elemanı varsa L matrisi (n×r) boyutlu bir matris olacaktır.

İkinci mertebe matris diferansiyel denklem olan (7.12) denklemi 2n-boyutlu Z(t) durum vektörü kullanılarak aşağıdaki şekilde durum-uzayı formunda yazmakta mümkündür.

$$\dot{Z}(t) = A\dot{Z}(t) + BU + Hf(t), \quad Z(0) = 0 \quad (7.13)$$

Burada;

$$Z(t) = \begin{bmatrix} X(t) \\ \dot{X}(t) \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix} \quad (7.14)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}L \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 0 \\ -V \end{bmatrix}$$

olarak tanımlanmıştır.

7.6 Diferansiyel Denklemin Çözümü (Dördüncü Mertebe Runge-Kutta Yöntemi)

Bu tez çalışmasında kurulan diferansiyel denklemlerin çözümü için MATLAB[23] programı kullanılmıştır. Program diferansiyel denklemlerin çözümü için Runge-Kutta yöntemini kullanmaktadır.

Dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemi bilinmeyen fonksiyonun dördüncü mertebeden Taylor serisine açılımından elde edildiğinden dördüncü mertebe sıfatını almaktadır. Ayrıca bu açılım sonunda sabitlerin tayininde denklem sayısı sabit sayısından az olduğundan birden fazla dördüncü mertebeden Runge-Kutta yöntemi bulunmaktadır. Aşağıda bunlardan en fazla kullanılanlardan biri açıklanacaktır. Bu formülasyon, Runge katsayılı Runge-Kutta yöntemi olarak da anılır [20].

Önce $dv/dx=f(v,x)$ denkleminin çözümünü inceleyelim. Bilinmeyen fonksiyon v nin i noktasındaki değeri v_i bilindiğinde i+1 noktasındaki v_{i+1} değeri, dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemlerinden Runge katsayılına göre

$$v_{i+1} = v_i + h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6 \quad (7.14a)$$

$$k_1 = f(v_i, x_i) \quad (7.14b)$$

$$k_2 = f(v_i + hk_1/2, x_i + h/2) \quad (7.14c)$$

$$k_3 = f(v_i + hk_2/2, x_i + h/2) \quad (7.14d)$$

$$k_4 = f(v_i + hk_3, x_i + h) \quad (7.14e)$$

bağıntısı ile bulunur. Başlangıçta $i = 0$ da v_0 değeri bilindiğinden v_1 değeri bulunur. v_1 bulunduktan sonra v_2 bulunarak nokta nokta bütün noktalarda v değerleri bulunur.

Bilinmeyen fonksiyon $f = f(x)$ ise problem integrasyon işlemine indirgenir. Bu integrasyon işlemine dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemi uygulanırsa yöntem Simpson kuralına dönüşür.

Diferansiyel denkleminin iki denkleme indirgenmiş halinin ayrık olmaması halinde, yani $f(v,y,t)$ olması halinde, v_{i+1} ve y_{i+1} değerlerinin v_i ve y_i değerlerinde bulunuşu aşağıda verilmiştir.

$$v_{i+1} = v_i + h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) / 6 \quad (7.15a)$$

$$y_{i+1} = y_i + h(m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4) / 6 \quad (7.15b)$$

$$k_1 = f(v_i, x_i) \quad m_1 = v_i \quad (7.15c)$$

$$k_2 = f(v_i + hk_1/2, y_i + hm_1/2, x_i + h/2) \quad m_2 = v_i + hm_1/2 \quad (7.15d)$$

$$k_3 = f(v_i + hk_2/2, y_i + hm_2/2, x_i + h/2) \quad m_3 = v_i + hm_2/2 \quad (7.15e)$$

$$k_4 = f(v_i + hk_3/2, x_i + hm_3, x_i + h) \quad m_4 = v_i + hm_3 \quad (7.15f)$$

Başlangıçta $i = 0$ da v_0 ve y_0 değerleri bilindiğinden; yukarıda verilen bağıntılar yardımı ile v_1 ve y_1 değerleri bulunur. v_1 ve y_1 bulunduktan sonra v_2 ve y_2 bulunarak nokta nokta bütün noktalarda v ve y değerleri bulunur.

8. SONUÇLAR

Taban izolasyonlu bir yapıya yarıaktif ve pasif kontrol uygulamasının, sekiz farklı deprem kaydı uygulanarak elde edilen sonuç tablo ve grafikleri Ekler bölümünde verilmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Tablo A.1-8 'de görüldüğü gibi; pasif lineer viskoz sönüm kontrolü tüm depremlerde; taban izolasyonu seviyesinde artan sönümle birlikte azalan bir yer değiştirme etkisi göstermiş ve beklenildiği gibi izolatörün korunması ek sönüm cihazları ile başarılmıştır.
- Pasif lineer viskoz sönüm kontrolü uygulamasında tüm depremlerde; sönümün $c_i = 1.1, 2.0, 5.0$ kN/cm/sn ve bu sönümlere karşılık gelen sönüm oranlarının kritik sönümün %5.8, %10.6, %16.7 si olarak artan şekilde değiştiği durumlarda ikinci kata ait relatif yer değiştirme ve mutlak ivme azalan bir değişim göstermiştir. Ancak sönümün $c_i = 7.0, 10.0$ kN/cm/sn ve bu sönümlere karşılık gelen sönüm oranlarının kritik sönümün %37.5 ve %54.2 si olduğu durumlarda uygulanan 8 farklı depremden 6 sında ikinci kata ait relatif yer değiştirme ve mutlak ivmenin arttığı görülmektedir. Taban izolasyonu seviyesinde sönümün her deprem için farklı olabilen optimal bir değerin ötesinde artırılması, izolatör seviyesindeki yer değiştirmeyi azaltmasına rağmen, üst yapıya ait relatif yer değiştirme ve mutlak ivmeyi artırarak üst yapıyı olumsuz şekilde etkilemektedir.
- Pasif lineer viskoz sönüm kontrolü uygulamasında, ikinci kata ait relatif yer değiştirme ve mutlak ivme açısından en iyi sonuç, Tablo A.1-8 'de görüldüğü gibi 8 farklı depremden 6 sında sönümün $c_i = 5.0$ kN/cm/sn ve sönümün oranının %37.5 olduğu durumda, diğer iki depremde ise $c_i = 10.0$ kN/cm/sn ve sönümün oranının %54.2 olduğu durumda elde edilmiştir. Üst yapı açısından en iyi sonuçları verecek sönümün depremin yapısına göre değiştiği görülmektedir. Depremleri önceden bilmek mümkün olmadığından, pasif lineer viskoz sönüm kontrolü uygulamasında üst yapı açısından en iyi sonuçları verecek sönümü önceden kesin olarak belirlemek imkansızdır.
- Tablo A.1-8 'de görüldüğü gibi; yarıaktif kontrol uygulaması tüm depremler için izolatör seviyesindeki yer değiştirmelerin azaltılması noktasında, en iyi sonuçları

veren pasif kontrol uygulamasına yakın sonuçlar vermektedir ve izolatörün korunması MR sönümleyiciler ile mümkün olmaktadır.

- Yarıaktif kontrol uygulaması, ikinci kata ait relatif yer değiştirme ve mutlak ivme bakımından en iyi pasif lineer viskoz sönüm kontrolüne yakın veya daha iyi sonuçlar vermektedir. Tablo A.7 ve Tablo A.8’de görüldüğü gibi Elcentro Kuzey-Güney ve Elcentro Doğu-Batı zayıf depremlerinde yarıaktif kontrolün etkisi daha az seviyededir. Tablo A.2, Tablo A.4, Tablo A.6’da görüldüğü gibi özellikle en güçlü depremler olan Slymar Kuzey-Güney, Rinaldi Kuzey-Güney ve Kobe Kuzey-Güney depremlerinde yarıaktif kontrol uygulamasının performansı çok daha belirgin şekilde gözlenmiştir. Bu durum emniyet açısından yarıaktif kontrolün önemli bir avantajıdır.
- Yarıaktif kontrol uygulaması, kullanılan kontrol algoritması bakımından farklı sonuçlar vermektedir. Bang bang kontrol algoritmasının kullanıldığı yarıaktif kontrol uygulaması, pasif lineer viskoz sönüm kontrolüne göre iyi sonuçlar vermesine rağmen, sürekli kontrol algoritmasının kullanıldığı yarıaktif kontrol uygulamasının gerisinde kalmaktadır. Yarıaktif kontrol uygulamasında kullanılacak kontrol algoritması, kontrolün sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Housner, G.W., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos, A.G., Claus, R.O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T.T., Spencer, B.F., 1997. Structural Control: Past, Present and Future, *Journal of Engineering Mechanics*, **123**, 897-958.
- [2] Soong, T.T. and Constantinou, M.C., eds., 1994. Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, Springer-Verlag, Wien.
- [3] Constantinou, M.C. and Symans M.D., 1993. Seismic Response of Structures with Supplemental Damping, *The Structural Design of Tall Buildings*, Vol. 2, 77-92 (1993), John Wiley & Sons, Ltd.
- [4] Aiken, I. D., 1996. *Proceedings, Los Angeles County and Seaosc Symposium on Passive Energy Dissipation Systems for New and Existing Buildings*, Los Angeles, July 1996.
- [5] Sarbjee, S. and Datta, T.K., 1997. Open-Closed-Loop Linear Control of Building Frames Under Seismic Excitation, *Journal of Structural Engineering*, **124**, 43-51.
- [6] Shing, P.B., Dixon, M.E., Kermiche, N., Su, R. and Frangopol, D.M., 1996. Control of Building Vibrations with Active/Passive Devices, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **25**, 1019-1040.
- [7] Ribakov, Y., Gluck, J. and Reinhorn, A.M.» 2001. Active viscous damping system for control of MDOF structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **30**, 195-212.
- [8] Yasui, K., Izawa, K., Mukai, Y. and Tachibana, E., 1998. Development of an Active Air-bag Response Control System for Building vibrations, *Proceedings of the Second World Conference on Structural Control*, Kyoto, Japan, June 28-July 1, 619-626.

- [9] **Higashino, M., Aizawa, S., Yaniamoto, M. and Toyama, K.,** 1998. Application of Active Mass Damper (AMD) System, and Earthquake and Wind Observation Results, *Proceedings of the Second World Conference on Structural Control*, Kyoto, Japan, June 28-July 1, 785-794.
- [10] **Kobori, T., Takahashi, M., Nasu, T. and Niwa, N.,** 1993. Seismic Response Controlled Structure with Active Variable Stiffness System, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 22, 925-941.
- [11] **Soong, T.T. and Reinhorn, A.M.,** 1993. Case Studies of Active Control and implementational Issues, *Proceedings of Seminar on Seismic isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control*, San Francisco, California, March 11-12, 581-591.
- [12] **Aiken, I. D. and Kelly, M.,** 1990. Earthquake simulator testing and analytical studies of two energy-absorbing systems for multistory structures, Report No. UCB/EERC-90/03, University of California, Berkeley, U.S.A.
- [13] **Trevor, E.K.,** 2001. In-Structure Damping and Energy Dissipation, Design Guidelines, Holmes Consulting Group, New Zealand.
- [14] **Tezcan, S.S. and Erkal, A.,** 2002. Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices, Cenkler Matbaası, İstanbul.
- [15] **Naeim, F. and Kelly, J.M.,** 1999. Design of seismic isolated structures from theory to practice. John A. Martin and Associates, Inc., University of California.
- [16] **Li, L. and Xiaoqing, Z.,** 1998. The ERF Smart Damping System, *Proceedings of the Second World Conference on Structural Control*, Kyoto, Japan, June 28-July 1, 445-449.
- [17] **Spencer, B.F., Yang, G., Carison, D. J. and Sain, M.K.,** 1998. Smart Dampers for Seismic Protection of Structures: A Full-Scale Study, *Proceedings of the Second World Conference on Structural Control*, Kyoto, Japan, June 28-July 1, 417-426.

- [18] **Niwa, N., Kobori, T. Takahashi, M., Matsunaga, Y., Kurata, N. And Mizuno, T.,** 1998. Application of Semi-active Damper System to an Actual Building, *Proceedings of the Second World Conference on Stnictural Control*, Kyoto, Japan, June 28-July 1, 815-824.
- [19] **Kobori, T.,** Technology Development and Forecast of Dynamical intelligent Building, *J. of intell. Mater. Syst. and. Struct.*, Vol.1,(1990)
- [20] **Bakioğlu, M.,** Sayısal Analiz, (1990), Birsen Yayınevi, 330-340.
- [21] **Soong, T.T.,** Active Control System and Controlled Structural Behavior, Technical Report, NCEER-87-0023,(1987)
- [22] **Aldemir, Ü.,** 1990 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı için Aktif Kontrol, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] **MATLAB** 1994 The Math Works Inc., Natick, MA
- [24] **Gavin, H. P., Lee, H. ve Aldemir, U.,** “Optimal Semiactive Control” *Proceedings of the Second European Conference on Structural Control*,1-8, Paris, France, 2000.
- [25] **Aldemir, U.,** “Optimal Control of Structures with Semiactive Tuned Mass Dampers”, *Journal of Sound and Vibration*, 266(4),847-874,2003
- [26] **Gavin, H. P.** (2001b). “Multi-duct electrorheological dampers” *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*,12(59,353-366).
- [27] **Gavin, H. P., Dobossy, M., and Lamberton,** (2000). “Desinging and testing devices for semi-active structural control.” *Proc. 3rd Int. Workshop on Structural Control*, Paris, F. Casciati and G. Magonette, eds., Wors Scientific, Singapore, 255-262.
- [28] **Karnop, D., Crosby, M. J.,and Harwood, R. A.** (1974), “Vibration control using semiactive force generators.”, *J. Eng. Ind*, 96(2), 619-626.
- [29] **Dyke S. J., Spencer Jr, B. F., Sain, M. K., Carlson, J. D.,.** (1996), “Modeling and control of magnetorheological dampers for seismic response reduction”, *Smart Mater. Struct.*, 96(5), 565-575

- [30] **Moosheimer, J., Waller, H.** (1999), “Reduction of vibration by bang – bang controlled electrorheological dampers”, *Applied Mechanics.*, 2000, 715-735.
- [31] **Jansen, M. L., Dyke, S. J.**,(2000), “Semiactive Control Strategies For MR Dampers : Comparative Study”, *J. of eng. Mech.*, 2000, 795-803
- [32] **Dyke S. J., Spencer Jr, B. F., Sain, M. K., Carlson, J. D.**, (1997), “An experimental study of MR dampers for seismic protection”, *Smart Mater. Struct.*, 98(7), 693-703
- [33] **Li, W. H., Chen, G., Yeo, S. H.**, (1999), “Viscoelastic properties of MR fluids”, *Smart Mater. Struct.*, 99(8), 460-468.
- [34] **Li, W. H., Yao, G. Z., Chen, G., Yeo, S. H., Yap, F.F.**, (1999), “Testing and steady state modeling of a linear MR damper under sinusoidal loading”, *Smart Mater. Struct.*, 2000(9), 95-102.

EKLER

Analizlerde Kullanılan Depremlere Ait Sonuç Tabloları

Tablo A.1 Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları

RIN-EW	Pasif lineer viskoz sönüm					Yarıaktif Kontrol	
						BBK	SK
Sönüm	$c_i=1.1$	$c_i=2.0$	$c_i=5.0$	$c_i=7.0$	$c_i=10.0$	$c_i=1.1$	$c_i=1.1$
r_1	27.32	21.33	14.12	11.68	9.61	14.66	10.9
$r_2- r_1$	1.95	1.57	1.4	1.47	1.52	1.64	1.31
$\ddot{r}_2 + \ddot{z}$	585.47	470.51	421.19	439.74	456.28	490.93	393.88
f	132.23	197.02	360.63	425.34	485.1	259.56	504.87
J	369276	185875	97783	101971	122841		161480

Tablo A.2 Rinaldi Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları

RIN-NS	Pasif lineer viskoz sönüm					Yarıaktif Kontrol	
						BBK	SK
Sönüm	$c_i=1.1$	$c_i=2.0$	$c_i=5.0$	$c_i=7.0$	$c_i=10.0$	$c_i=1.1$	$c_i=1.1$
r_1	52.62	46.87	33.47	27.63	21.5	37.05	23.69
$r_2- r_1$	3.59	3.31	3.08	3.04	2.95	3.32	2.69
$\ddot{r}_2 + \ddot{z}$	1076.9	992.51	924.53	912.04	884.6	996	809.37
f	280.85	443.78	881	1080	1294	512.42	1079
J	329084	186231	138634	141845	169770		373080

Tablo A.3 Slymar Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları

SLM-EW	Pasif lineer viskoz sönüm					Yarıaktif Kontrol	
						BBK	SK
Sönüm	$c_i=1.1$	$c_i=2.0$	$c_i=5.0$	$c_i=7.0$	$c_i=10.0$	$c_i=1.1$	$c_i=1.1$
r_1	23.11	19.67	14.74	12.49	9.86	14.74	10.55
$r_2 - r_1$	1.66	1.41	1.3	1.26	1.23	1.46	1.26
$\ddot{r}_2 + \ddot{z}$	497.01	421.67	389.72	378.74	368.67	437.61	379.44
f	104.21	165.29	320.47	412.65	524.52	255.78	444.52
J	323210	154867	70892	71344	86142		204890

Tablo A.4 Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları

SLM-NS	Pasif lineer viskoz sönüm					Yarıaktif Kontrol	
						BBK	SK
Sönüm	$c_i=1.1$	$c_i=2.0$	$c_i=5.0$	$c_i=7.0$	$c_i=10.0$	$c_i=1.1$	$c_i=1.1$
r_1	40.26	35.22	24.11	19.57	15.06	25.19	19.75
$r_2 - r_1$	2.81	2.49	2.08	2.13	2.29	2.1	1.78
$\ddot{r}_2 + \ddot{z}$	842.93	746.83	622.79	640.05	688.38	629.7	536.25
f	176.3	262.32	492.42	643.73	828.8	346.08	685.68
J	487508	255512	138634	141845	169770		204890

Tablo A.5 Kobe Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları

KOB-EW	Pasif lineer viskoz sönüm					Yarıaktif Kontrol	
						BBK	SK
Sönüm	$c_i=1.1$	$c_i=2.0$	$c_i=5.0$	$c_i=7.0$	$c_i=10.0$	$c_i=1.1$	$c_i=1.1$
r_1	15.56	14.41	11.51	10.77	9.65	12.42	12.39
$r_2 - r_1$	1.21	1.18	1.24	1.45	1.72	1.39	1.18
$\ddot{r}_2 + \ddot{z}$	363.72	353.37	371.86	433.52	516.1	418.19	354.69
f	124.16	212.37	468.96	619.83	795.56	294.89	416.79
J	194054	160280	141148	155613	191715		134690

Tablo A.6 Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları

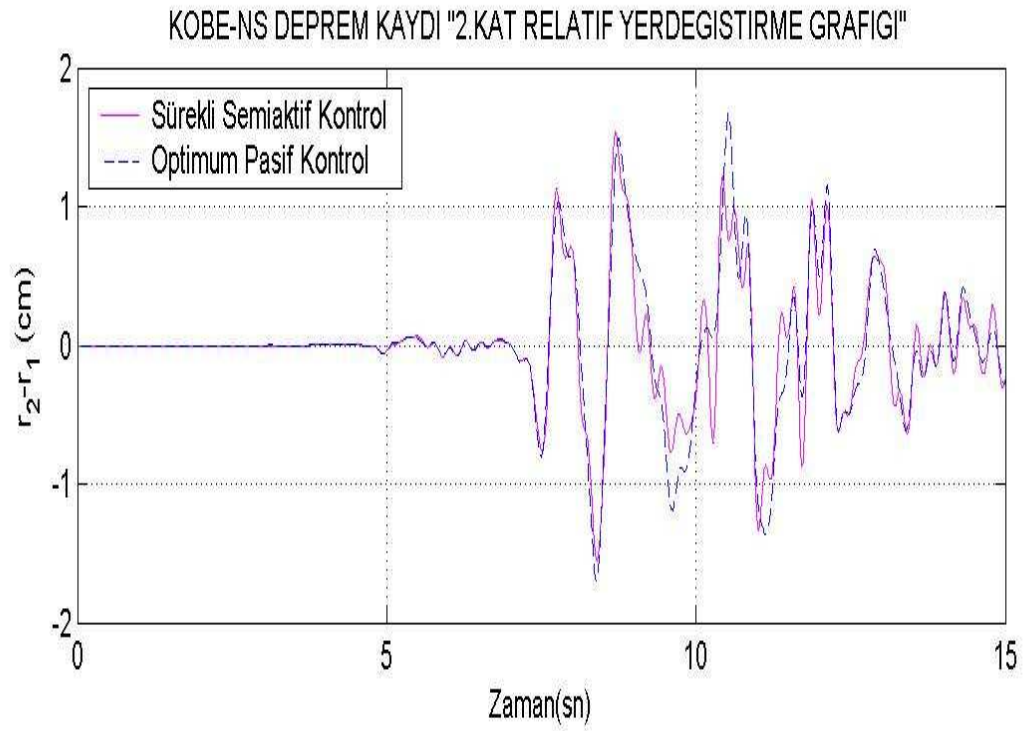
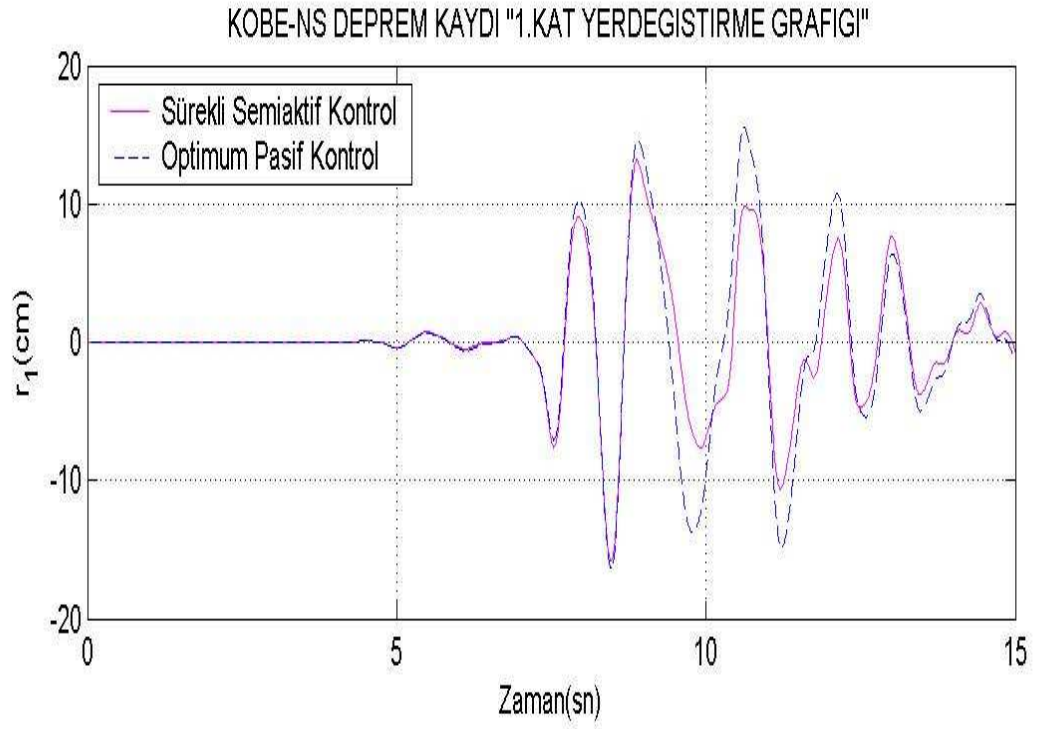
KOB-NS	Pasif lineer viskoz sönüm					Yarıaktif Kontrol	
						BBK	SK
Sönüm	$c_i=1.1$	$c_i=2.0$	$c_i=5.0$	$c_i=7.0$	$c_i=10.0$	$c_i=1.1$	$c_i=1.1$
r_1	40.51	30.05	16.41	14.11	11.6	17.58	15.85
$r_2 - r_1$	2.9	2.24	1.7	1.74	2.04	1.74	1.54
$\ddot{r}_2 + \ddot{z}$	869.11	671.91	510.3	520.97	611.89	524.62	464.82
f	227.67	331.95	596.79	767.96	968.5	353.18	535.32
J	1238430	681027	316290	296707	331012		259680

Tablo A.7 Elcentro Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları

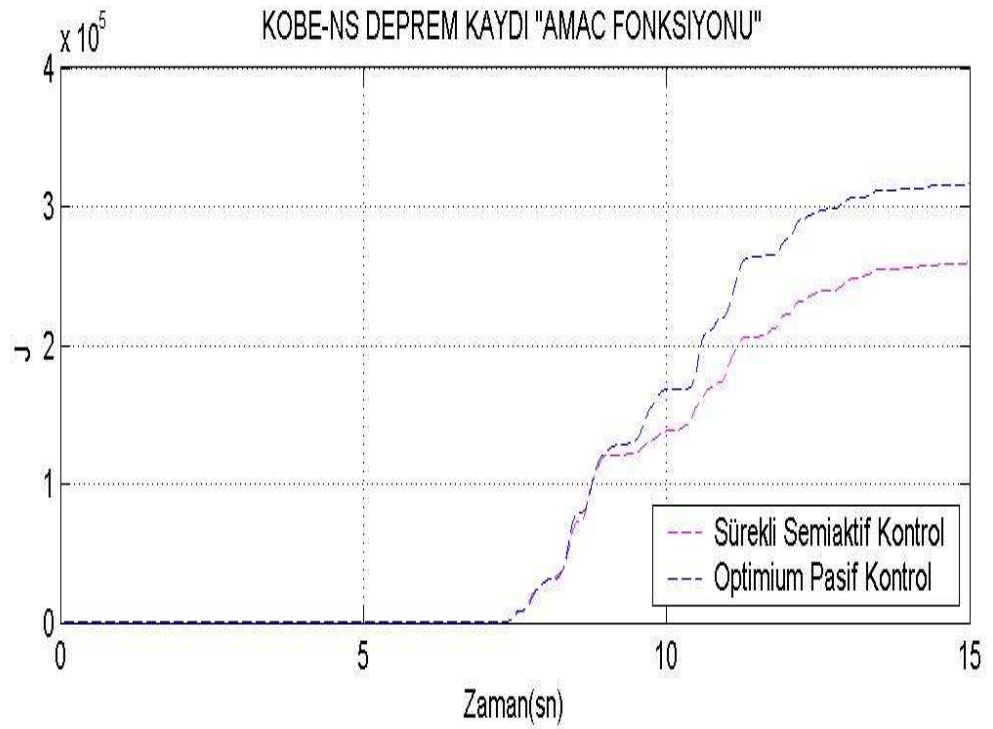
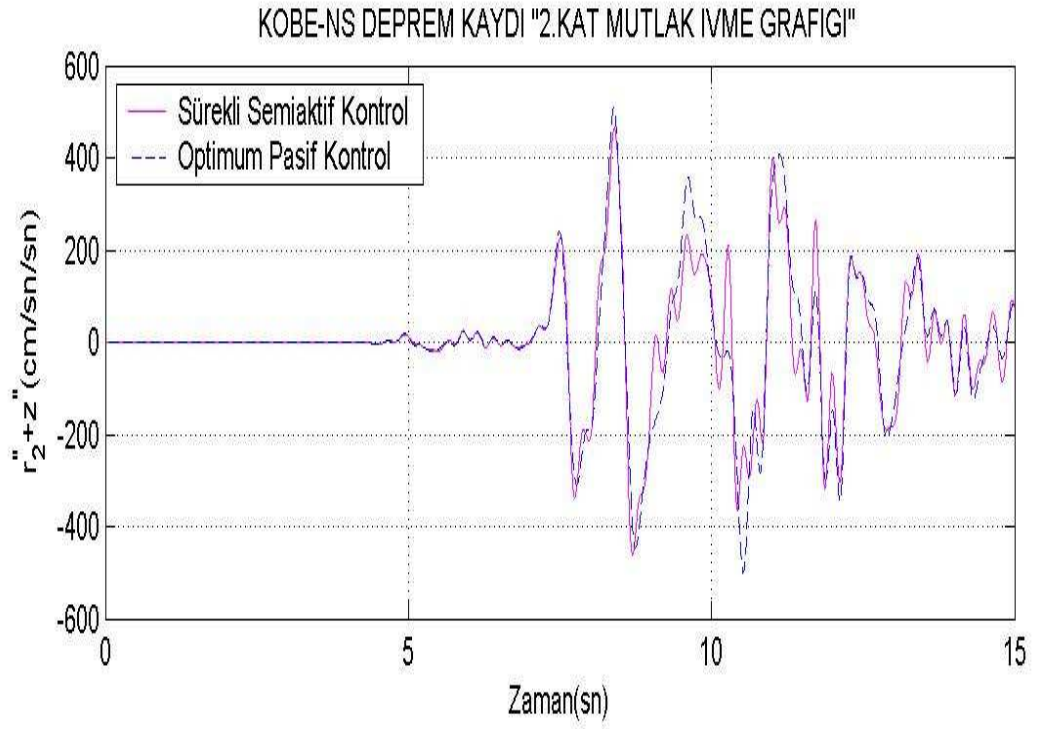
ELC-EW	Pasif lineer viskoz sönüm					Yarıaktif Kontrol	
						BBK	SK
Sönüm	$c_i=1.1$	$c_i=2.0$	$c_i=5.0$	$c_i=7.0$	$c_i=10.0$	$c_i=1.1$	$c_i=1.1$
r_1	9.19	7.45	5.42	4.74	3.97	3.83	4.84
$r_2 - r_1$	0.66	0.55	0.52	0.48	0.51	0.54	0.5
$\ddot{r}_2 + \ddot{z}$	196.8	164.71	154.7	139.63	153.19	163.82	149.68
f	53.69	76.68	132.14	159.75	202.59	150.87	207.79
J	124511	75780	41592	37620	38157		37190

Tablo A.8 Elcentro Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Analiz Sonuçları

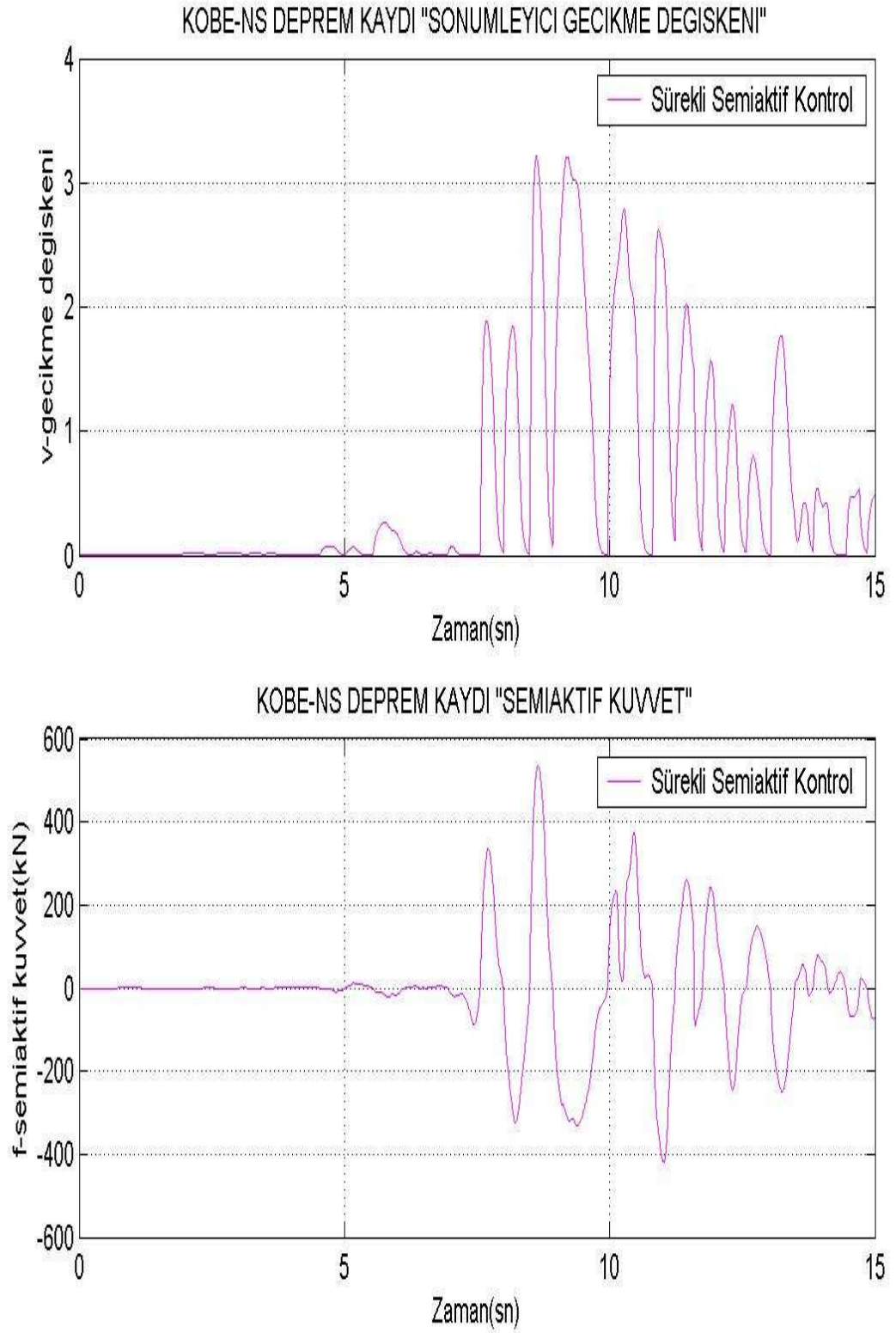
ELC-NS	Pasif lineer viskoz sönüm					Yarıaktif Kontrol	
						BBK	SK
Sönüm	$c_i=1.1$	$c_i=2.0$	$c_i=5.0$	$c_i=7.0$	$c_i=10.0$	$c_i=1.1$	$c_i=1.1$
r_1	8.75	8.04	5.8	5.14	4.31	4.56	5.15
$r_2 - r_1$	0.64	0.6	0.51	0.58	0.76	0.6	0.51
$\ddot{r}_2 + \ddot{z}$	192.54	179.1	149.67	172.22	226.46	180.55	154.32
f	48.09	81.18	172.01	232.12	310.26	160.28	193.07
J	97525	66664	45007	45215	51193		44837



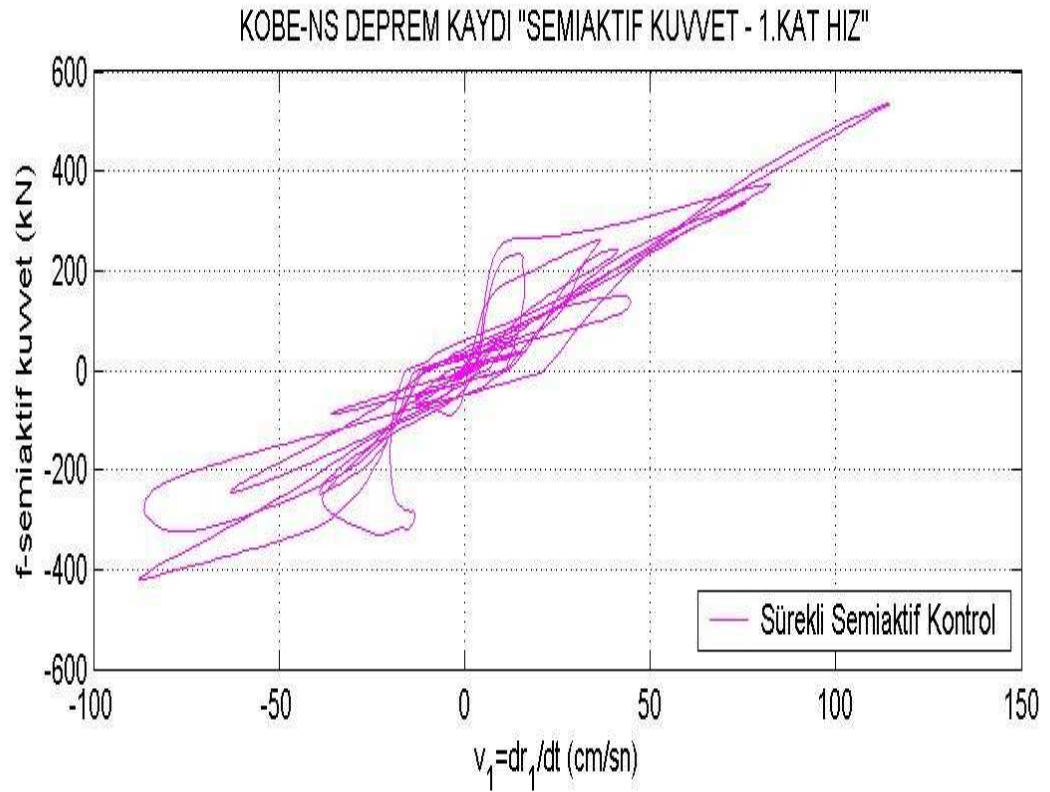
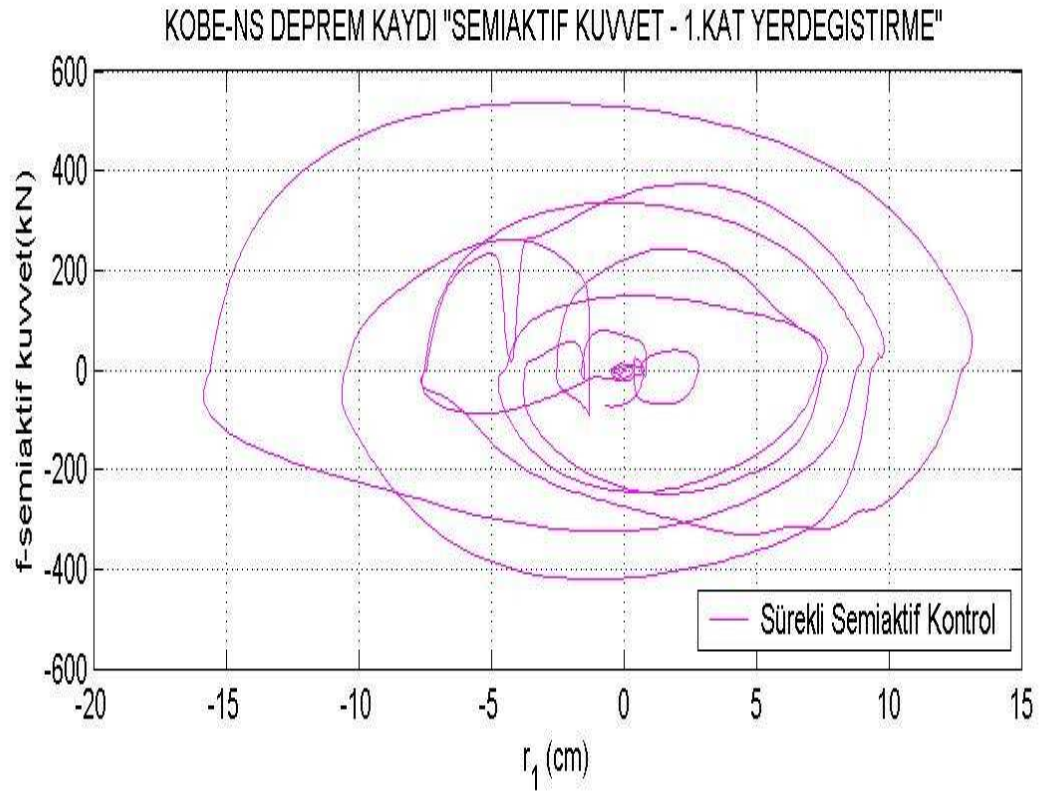
Şekil A.1 Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait 1.Kat Yerdeğiştirme ve 2.Kat Relatif Yerdeğiştirme Grafikleri



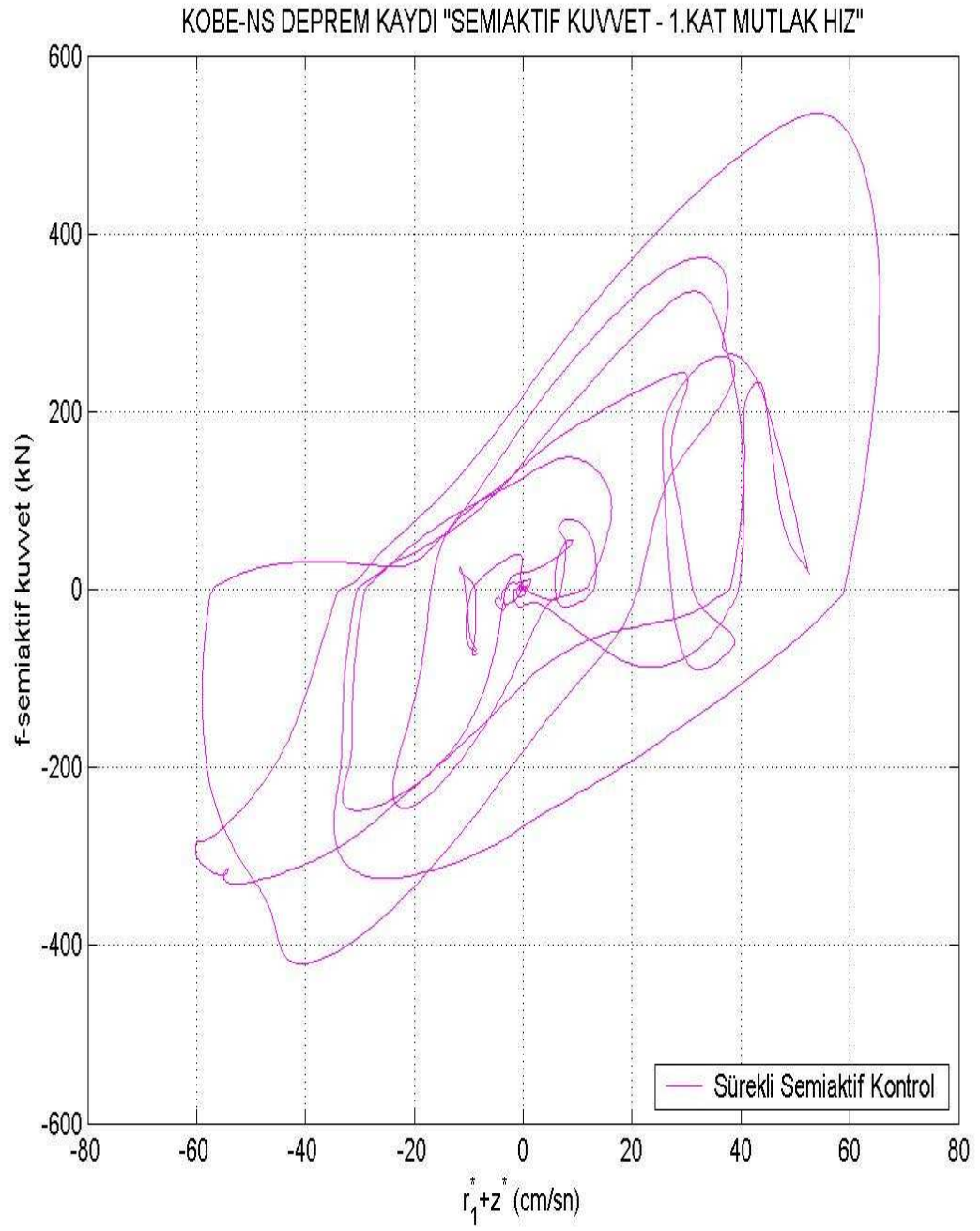
Şekil A.2 Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait 2.Kat Mutlak İvme Amaç Fonksiyonu Grafikleri



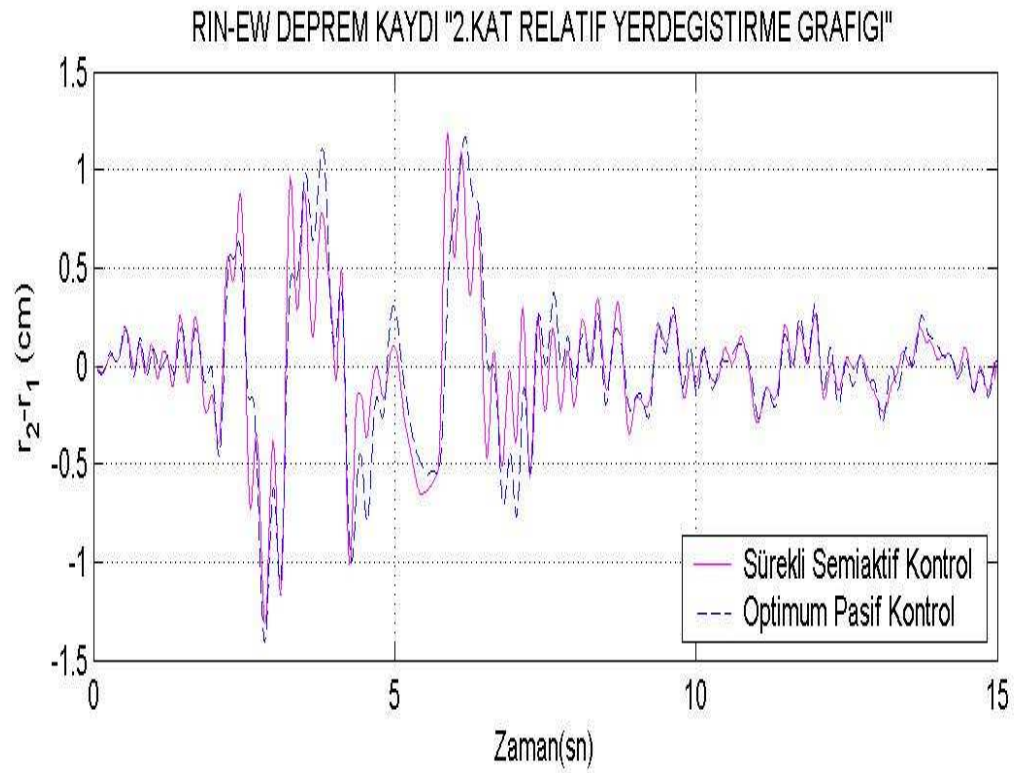
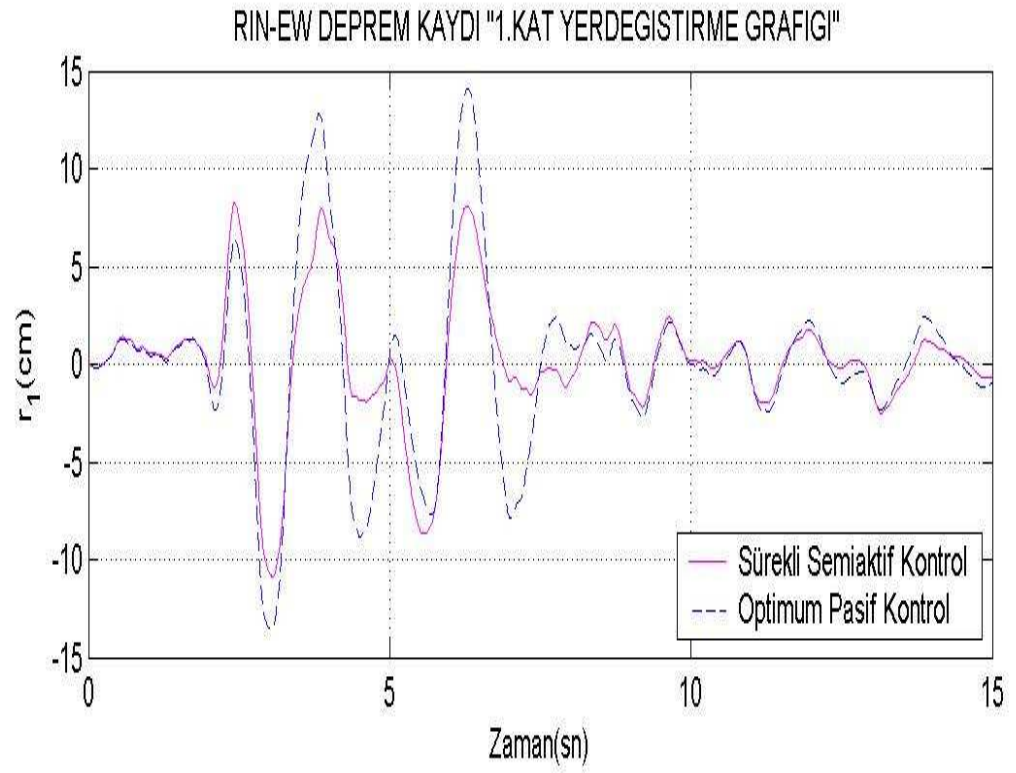
Şekil A.3 Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Sönümleyici Gecikme Değişkeni ve Yarıaktif Kuvvet Grafikleri



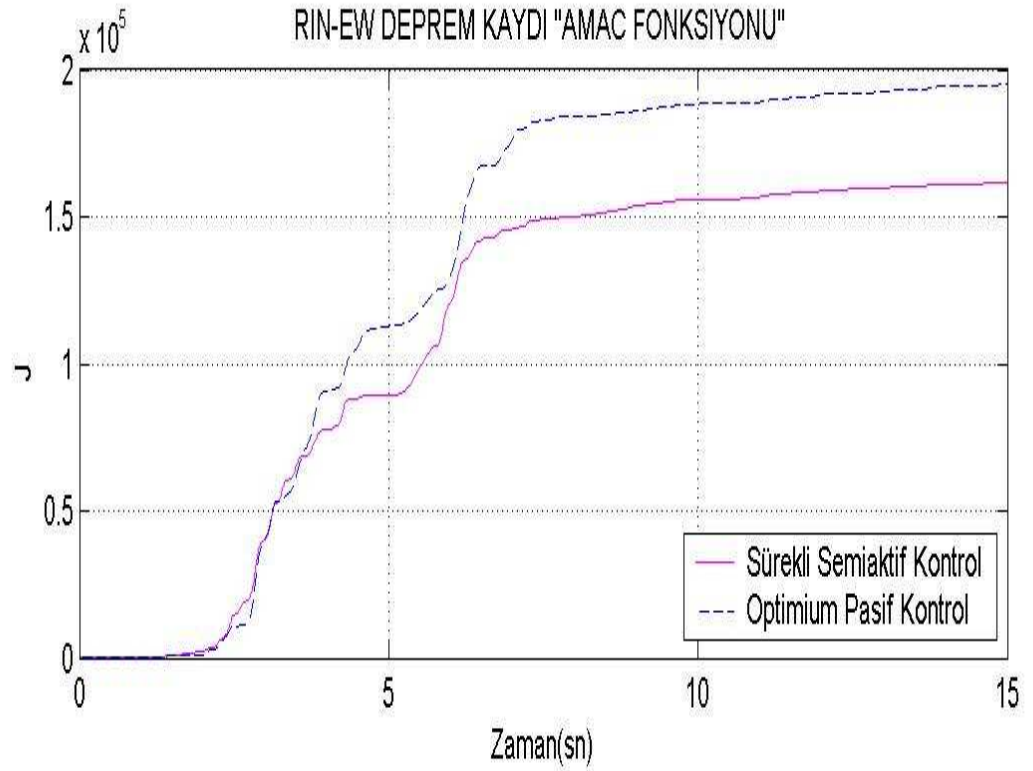
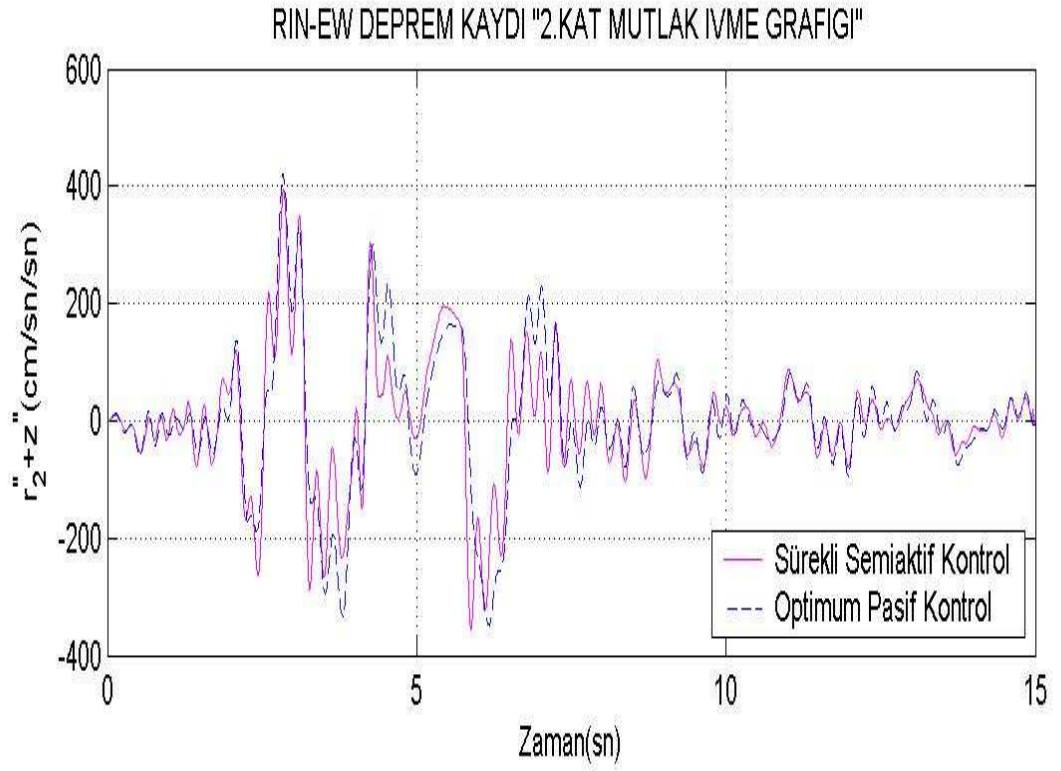
Şekil A.4 Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet -1.Kat Yerdeğiştirme ve 1.Kat Hız Grafikleri



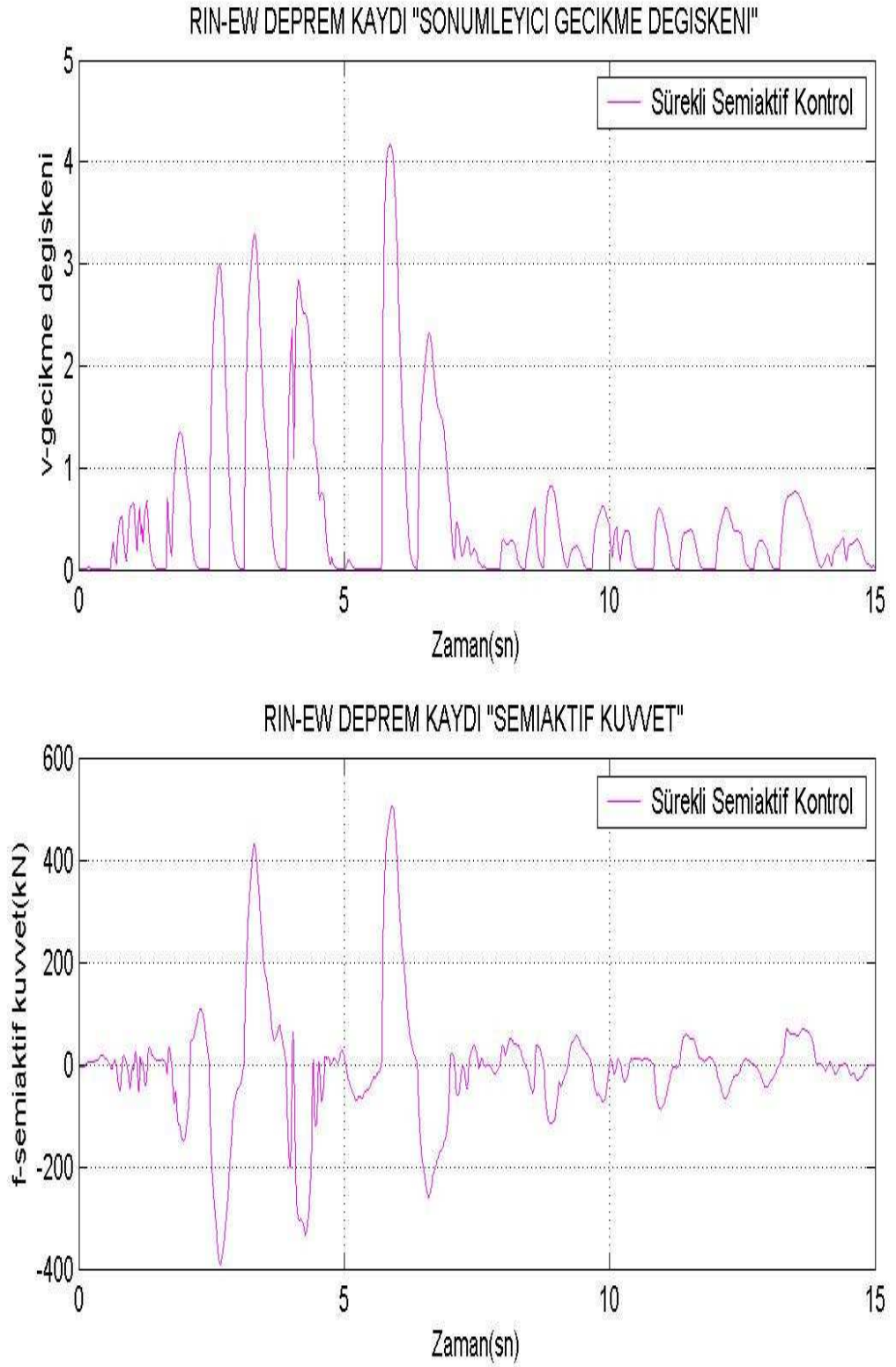
Şekil A.5 Kobe Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet -1.Kat Mutlak Hız Grafikleri



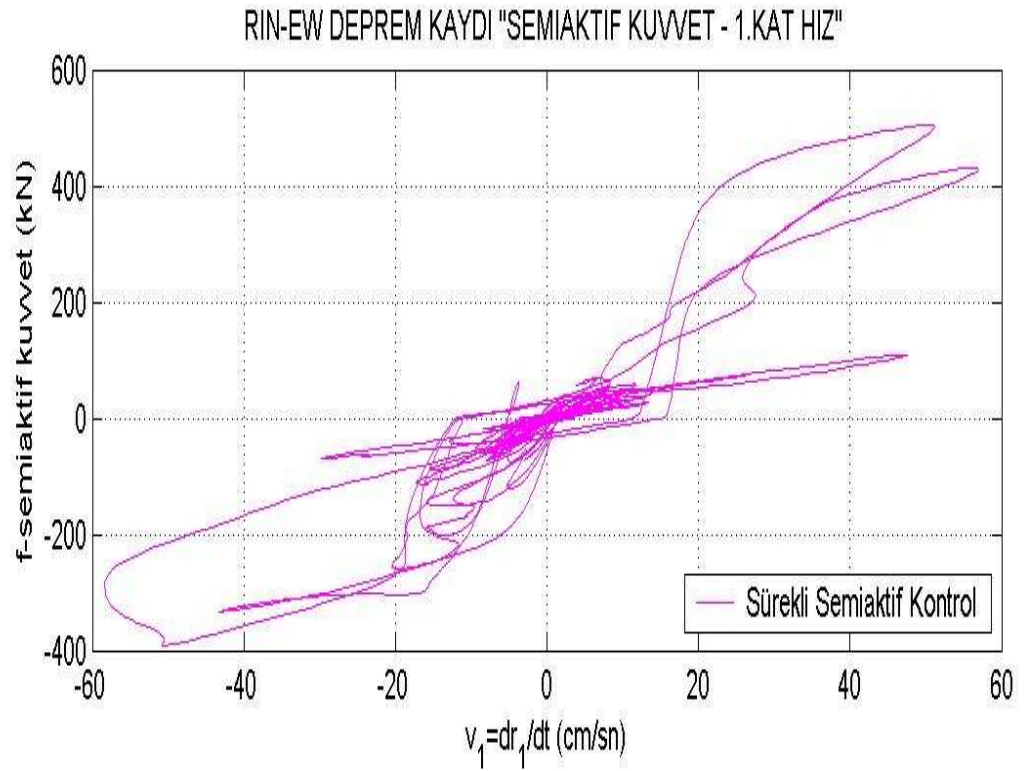
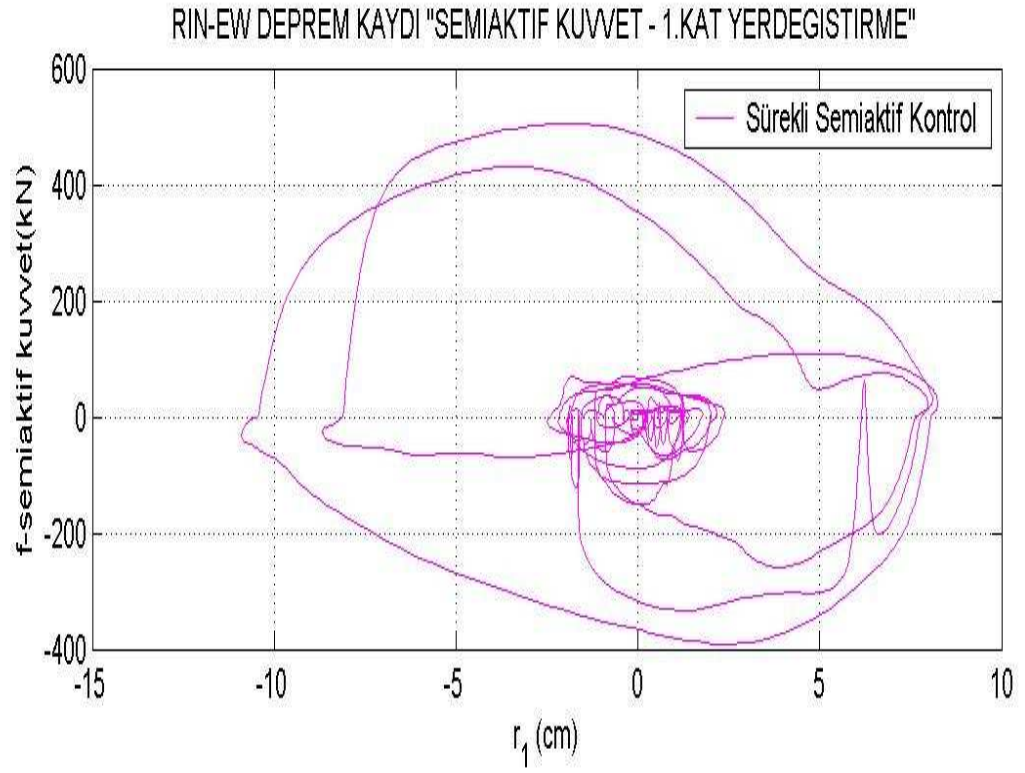
Şekil A.6 Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait 1.Kat Yerdeğiştirme ve 2.Kat Relatif Yerdeğiştirme Grafikleri



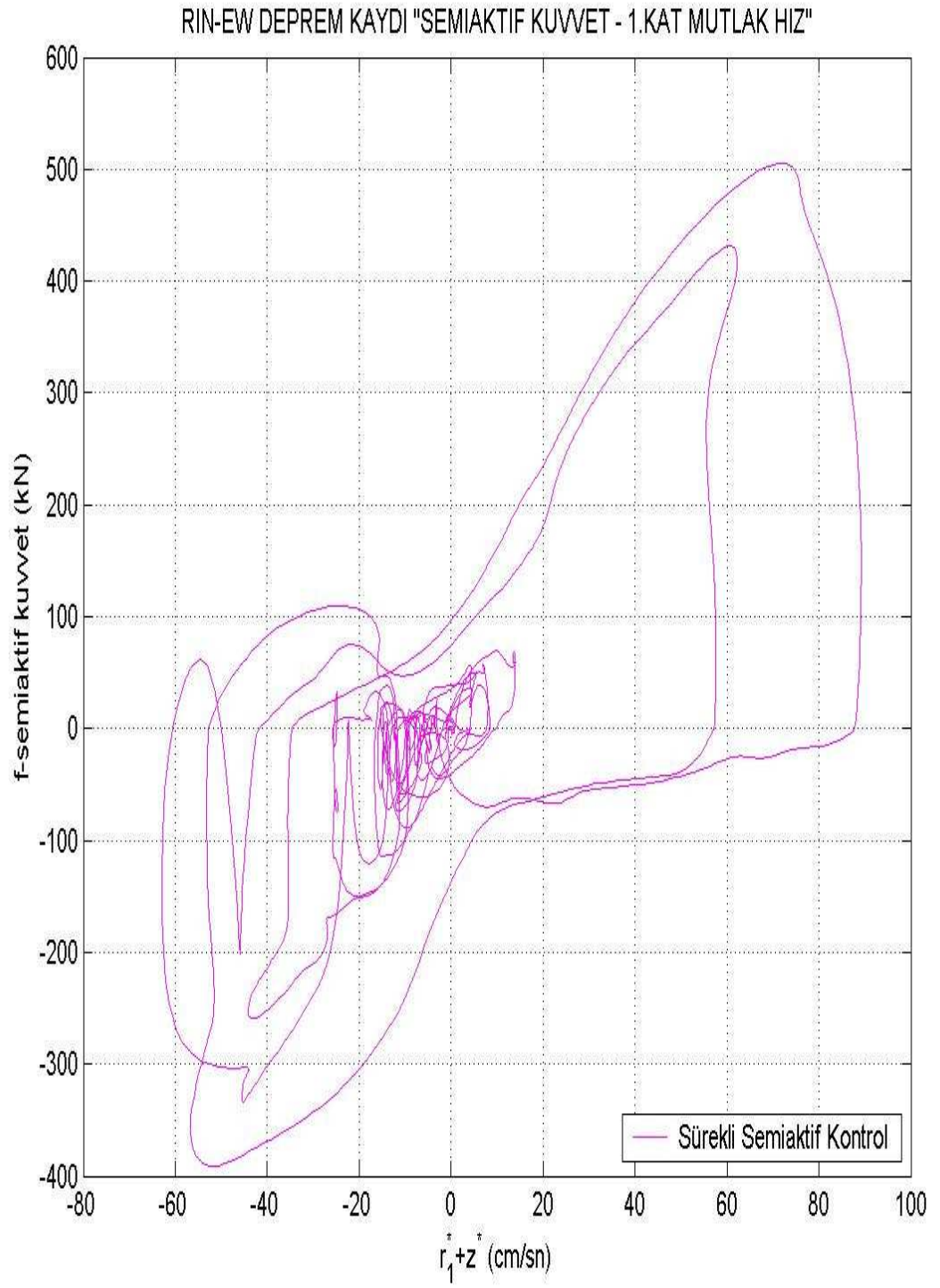
Şekil A.7 Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait 2.Kat Mutlak İvme Amaç Fonksiyonu Grafikleri



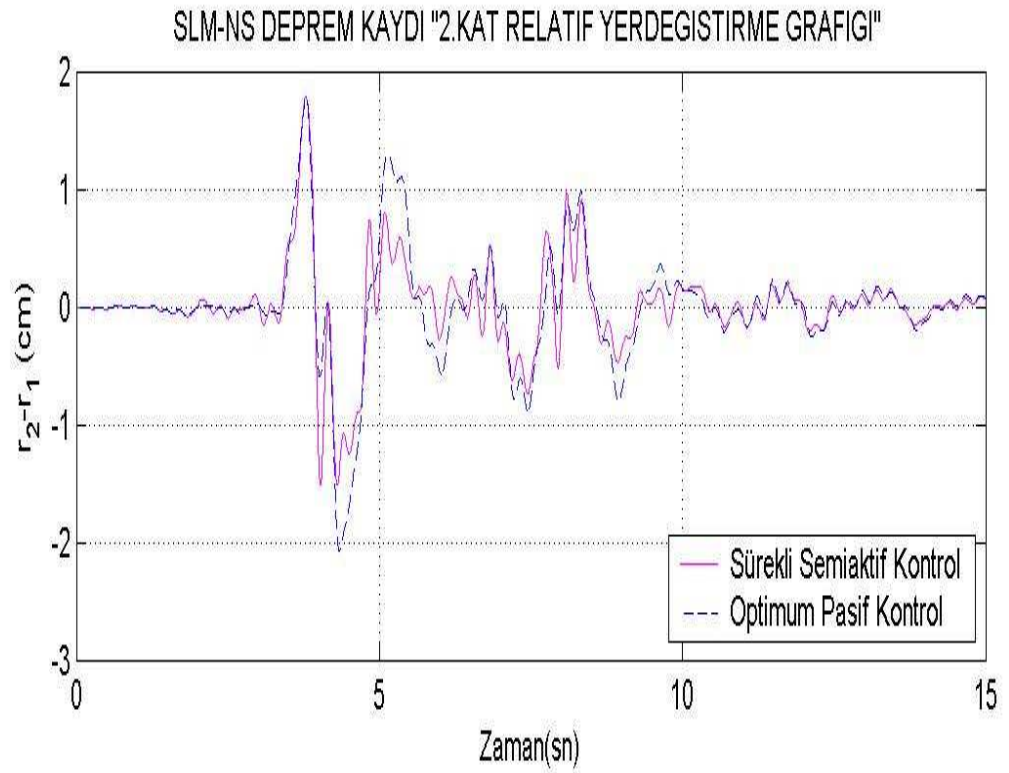
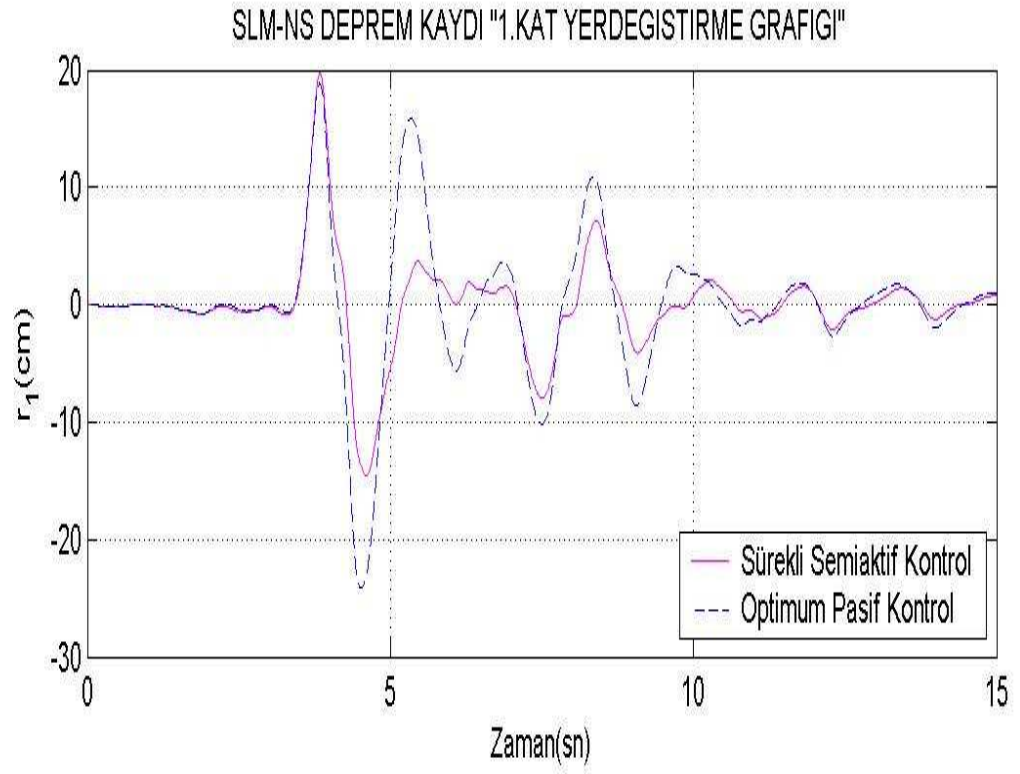
Şekil A.8 Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Sönümleyici Gecikme Değişkeni ve Yarıaktif Kuvvet Grafikleri



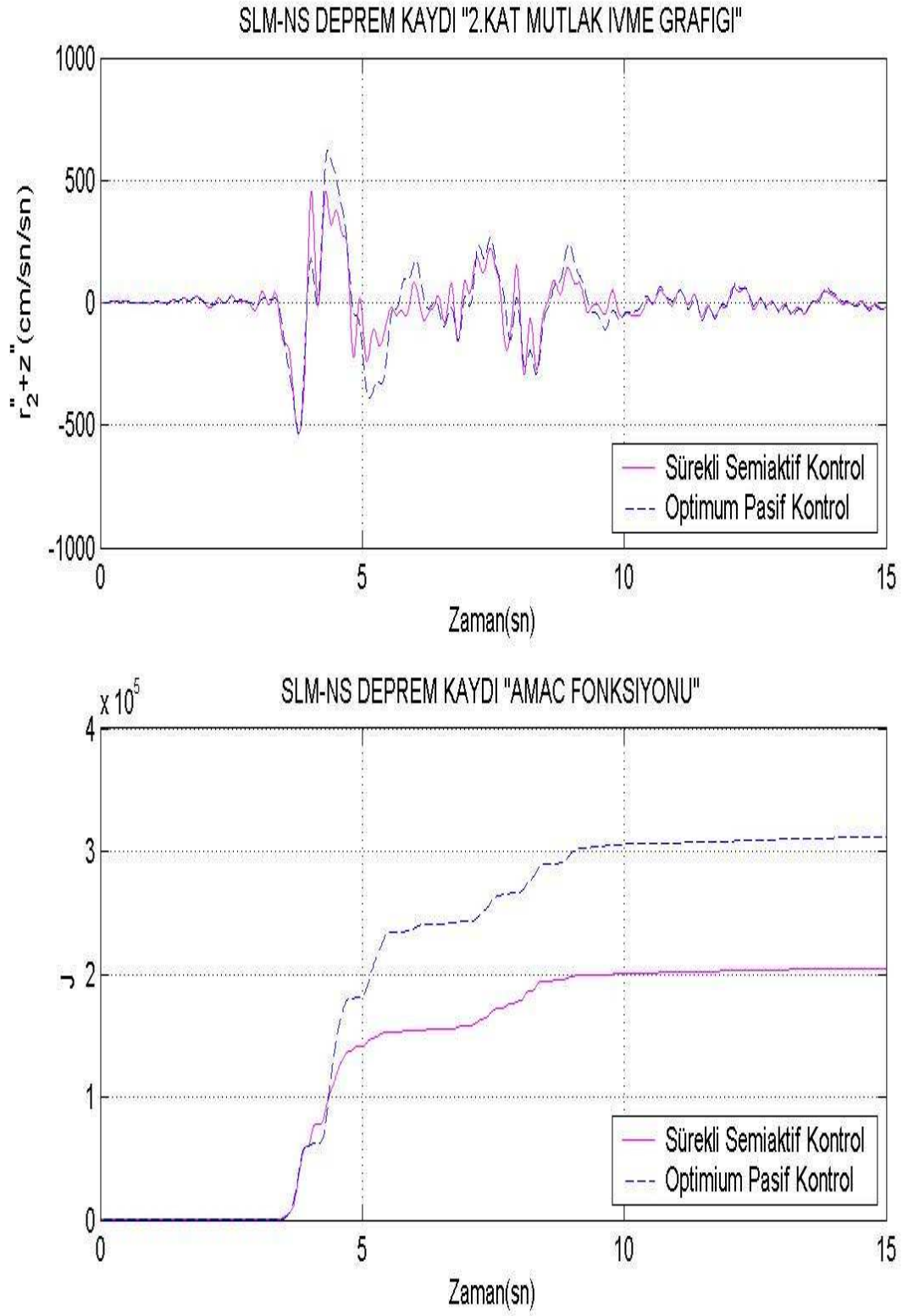
Şekil A.9 Rinaldi Doğu-Batı Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet -1.Kat Yerdeğiştirme ve 1.Kat Hız Grafikleri



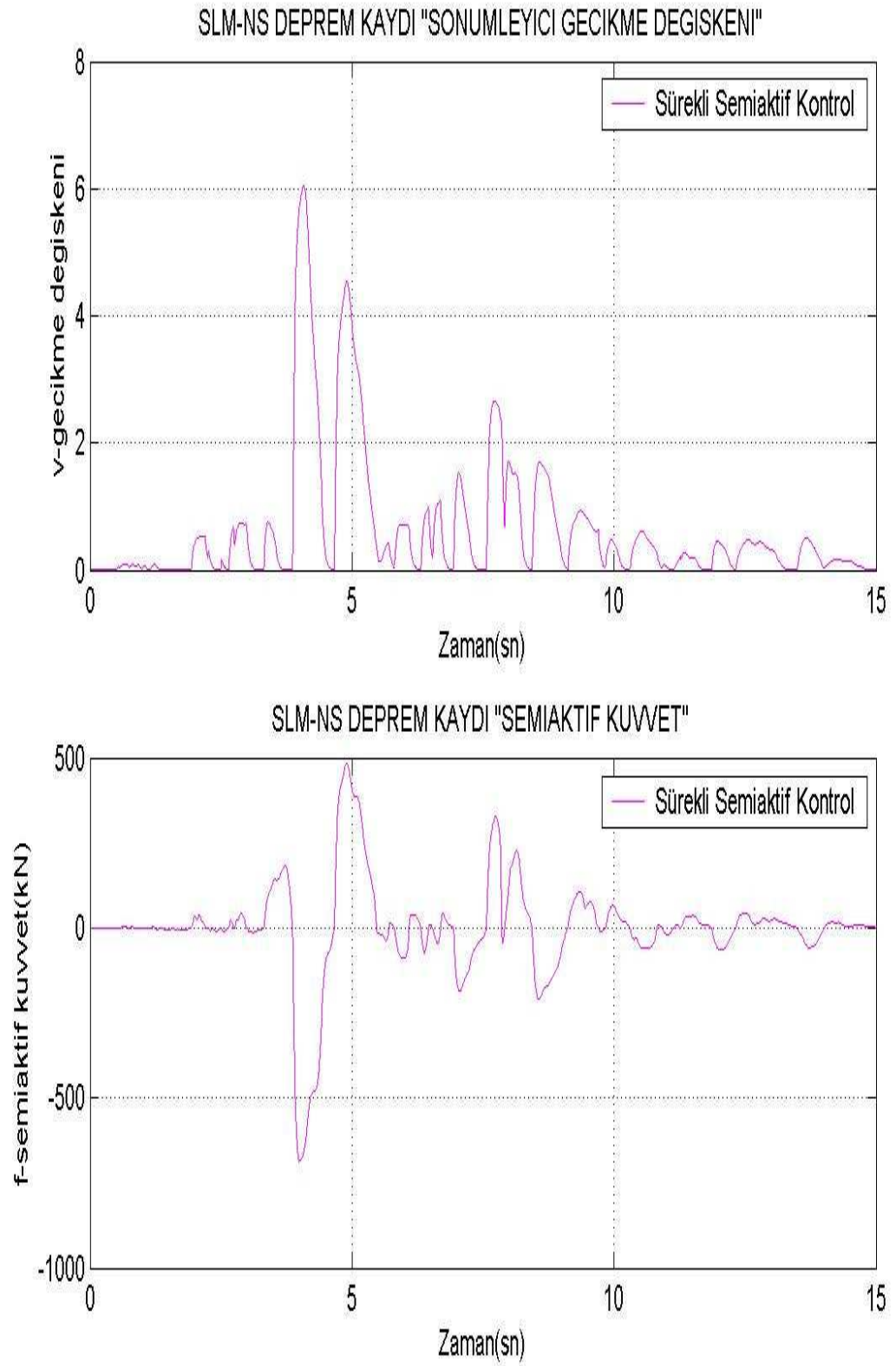
Şekil A.10 Rinaldi Doğu Batı Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet -1.Kat Mutlak Hız Grafikleri



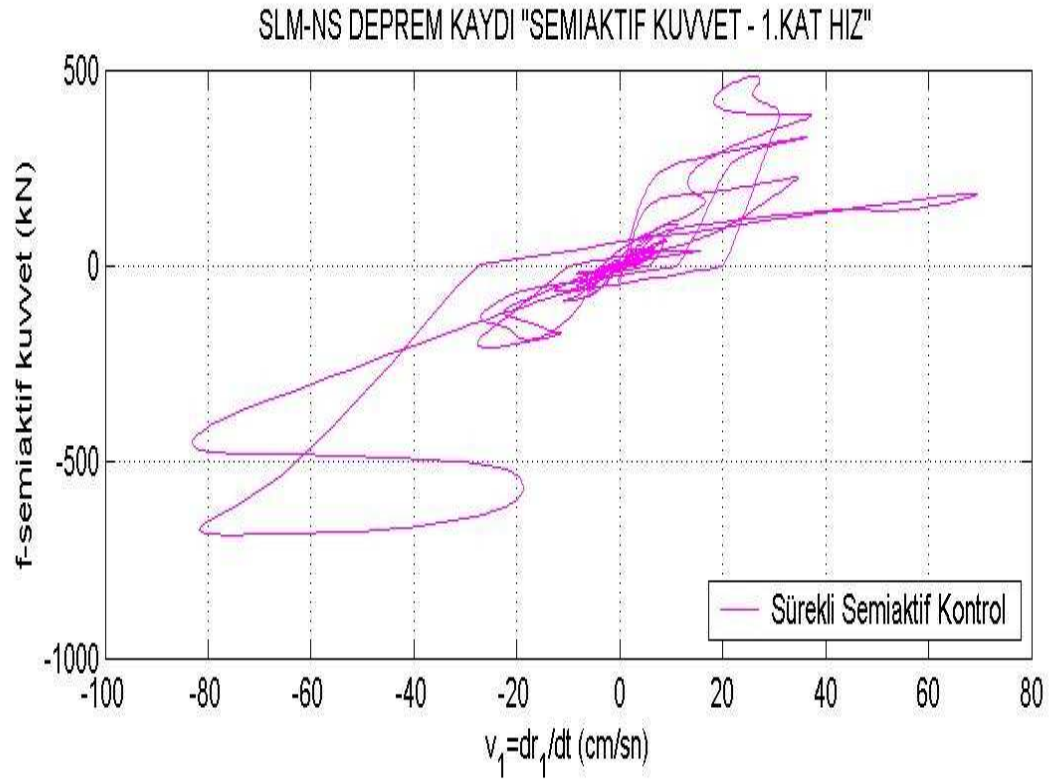
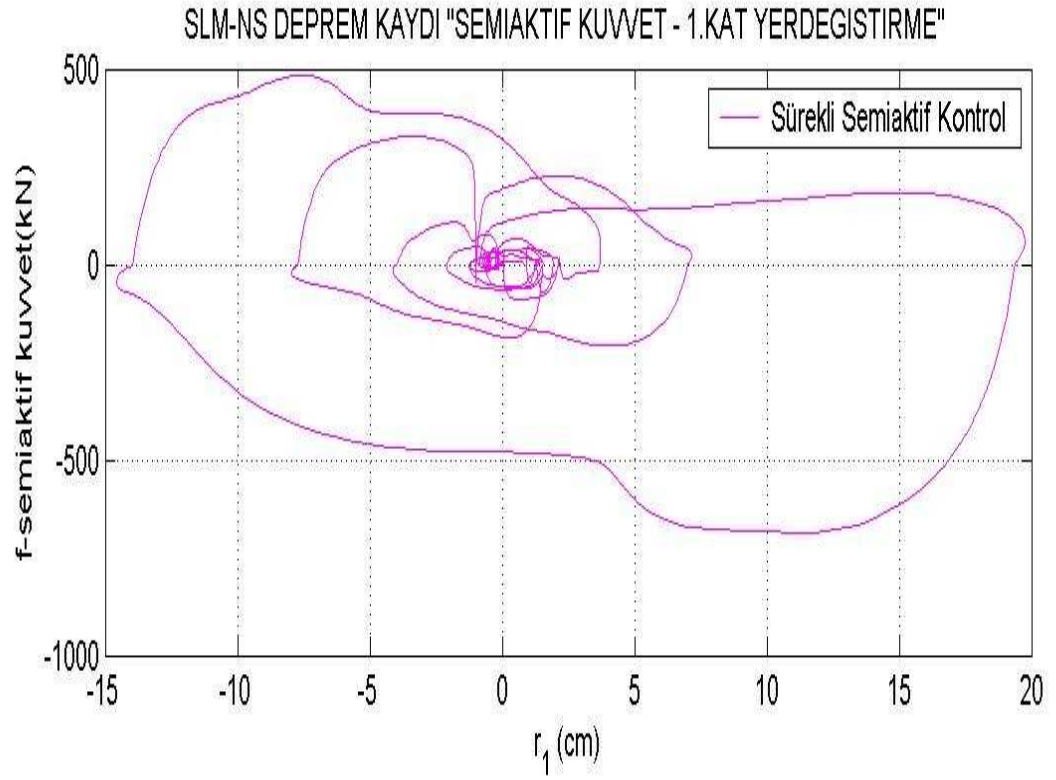
Şekil A.11 Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait 1.Kat Yerdeğiştirme ve 2.Kat Relatif Yerdeğiştirme Grafikleri



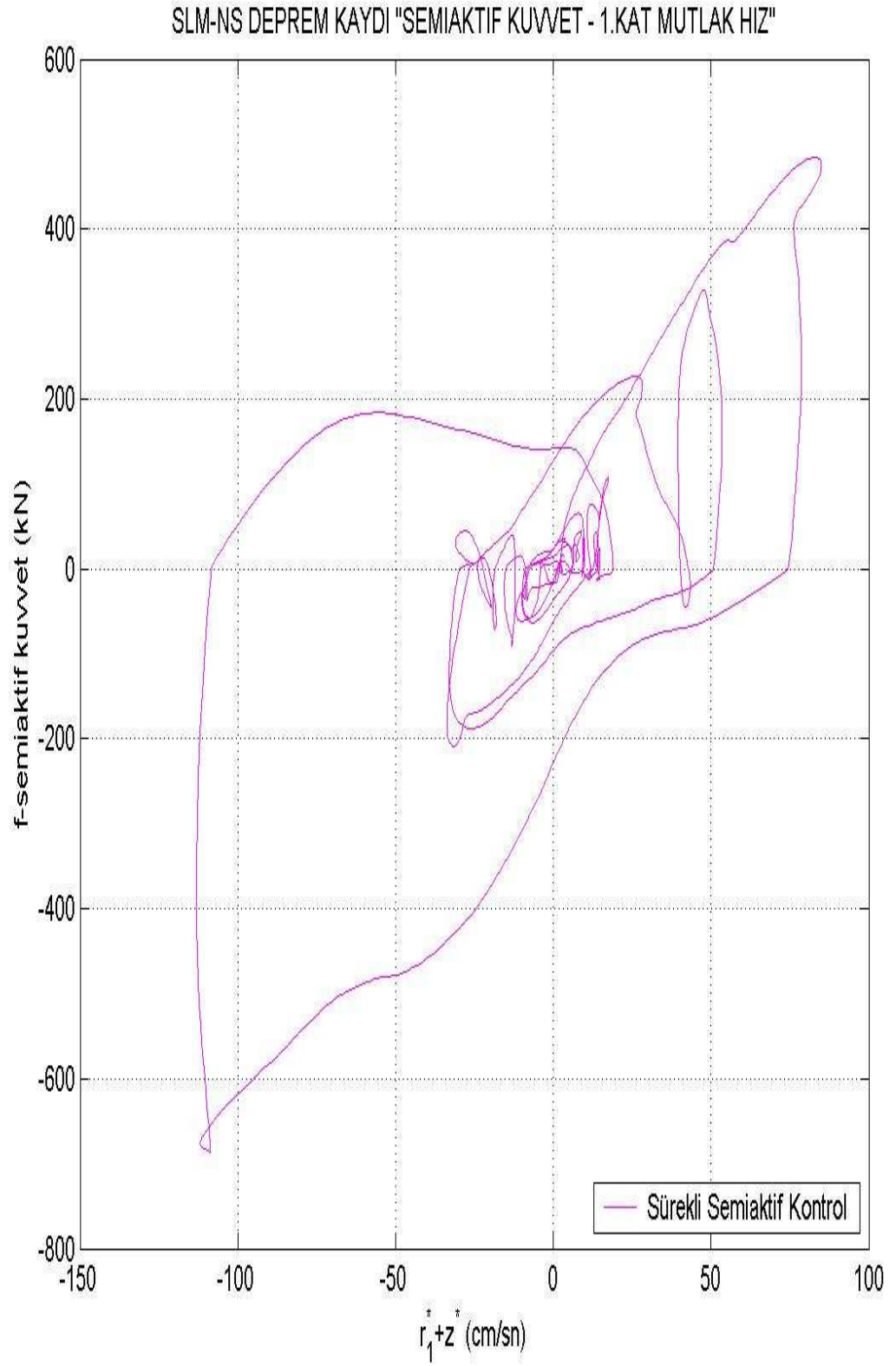
Şekil A.12 Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait 2.Kat Mutlak İvme Amaç Fonksiyonu Grafikleri



Şekil A.13 Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Sönümleyici Gecikme Değişkeni ve Yarıaktif Kuvvet Grafikleri



Şekil A.14 Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet -1.Kat Yerdeğiştirme ve 1.Kat Hız Grafikleri



Şekil A.15 Slymar Kuzey-Güney Deprem Kaydına Ait Yarıaktif Kuvvet -1.Kat Mutlak Hız Grafikleri

ÖZGEÇMİŞ

Yalçın BULUT, 1980 yılında Ankara’da doğdu. 1998 yılında Ankara Kurtuluş Lisesi Yabancı Dil Ağırlıklı Bölümü’nden, 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği Programı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Özel sektörde Proje Mühendisi olarak çalışmaktadır.