

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VİSKOZ AKIŞKANLI SÖNÜMLEME VE SİSMİK
TABAN YALITIM SİSTEMLERİNİN PERFORMANS
DEĞERLENDİRMESİ**

Mimar Selma ÖZCAN

**FBE Mimarlık Anabilim Dalında Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Z. Canan GİRGİN

Üye
Prof. Dr. Görün ARUN

Üye
Prof. Dr. Zekai CELEP

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖNSÖZ	xvi
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Belirlenmesi	1
1.2. Amaç	1
1.3. Önem	2
1.4. Varsayım	2
1.5. Kapsam	2
1.6. Yöntem	2
2. YAPISAL DENETİM SİSTEMLERİ	3
2.1 Giriş	3
2.2 Aktif Denetim Sistemleri	3
2.3 Yarı Aktif Denetim Sistemleri	4
2.4 Pasif Denetim Sistemleri	5
2.5 Karma Denetim Sistemleri	7
2.6 Yapısal Uygulamalar İçin Sönümleyici Tasarımı	8
2.6.1 Enerji Sönümleme Sistemlerinin En Uygun Yerleşimi	8
2.6.2 Kiriş ve Kolonlardaki Kuvvet ve Momentlerin Etkisi	8
2.6.3 Tasarım Yöntemleri	8
3. VİSKOZ AKIŞKANLI SÖNÜMLEME SİSTEMLERİ	10
3.1 Giriş	10
3.2 Viskoz Akışkanlı Sönümleyici Sistemlerinin Tarihçesi	11
3.3 Viskoz Akışkanlı Sönümleyici Sistemlerin Ükelere Göre Kullanımları	12
3.3.1 ABD	12
3.3.2 Çin	17
3.3.3 Endonezya	18
3.3.4 İtalya	19
3.3.5 Japonya	19
3.3.6 Kuzey Kore	20
3.3.7 Güney Kore	21
3.3.8 Meksika	21
3.3.9 Romanya	21

3.3.10	Tayvan	22
3.3.11	Birleşik Krallık	24
3.3.12	Venezuela	25
3.3.13	Yeni Zelanda	25
3.3.14	Kanada	26
3.3.15	Uruguay	26
3.3.16	Peru	26
3.3.17	Fransa	27
3.3.18	Avustralya	27
3.3.19	Kıbrıs	28
3.3.20	Yunanistan	28
3.3.21	Dominik Cumhuriyeti	28
3.3.22	Şili	29
3.4	Viskoz Akışkanlı Sönümleyicilerin Özellikleri	29
3.4.1	Viskoz Akışkanların Özellikleri	30
3.4.1.1	Silikon- Mineral Yağ Bileşikleri (Akrilik Kopolimer)	30
3.4.1.2	Magneto-Rheological (MR) Akışkanlar	34
3.4.2	Pistonda Yer Alan Akışkan Geçiş Deliklerinin Özellikleri	38
3.5.	Viskoz Akışkanlı Sönümleyici Tipleri	42
3.6	Viskoz Akışkanlı Sönümleyicilerin Teknik Özellikleri	49
3.7	Viskoz Akışkanlı Sönümleyicilerin Uygulanabilirliği/ Uygulamaları	56
3.7.1	Viskoz Akışkanlı Sönümleme Sistemlerinin Performans Düzeyleri	56
3.7.2	Viskoz Akışkanlı Sönümleyicilerin Mevcut Yapılarda Kullanımı ile Yeni Yapılarda Kullanımının Karşılaştırılması	57
3.7.3	Mimarinin Etkisi	57
3.7.4	Çevresel Etkiler	58
3.7.5	Yaşlanma	58
3.7.6	Maliyet ve Sönümleyici Tipinin Seçimi	58
4.	SİSMİK TABAN YALITIM SİSTEMLERİ	60
4.1	Giriş	60
4.2	Kauçuk Sismik Taban Yalıtım Sistemlerinin Tarihçesi	60
4.3	Kauçuk Sismik Taban Yalıtım Sistemlerinin Ülkelere Göre Kullanımları	62
4.3.1	ABD	63
4.3.2	Yeni Zelanda	65
4.3.3	Japonya	67
4.3.4	Tayvan	67
4.3.5	Güney Kore	68
4.3.6	Çin	69
4.3.7	Ermenistan	69
4.3.8	Makedonya	70
4.3.9	Türkiye	70
4.3.10	İtalya	71
4.4	Kauçuk Sismik Taban Yalıtım Sistemlerinin Özellikleri	73
4.4.1	Kauçuk Tabakalar	73
4.4.1.1	Doğal Kauçuklar	73
4.4.1.2	Yapay (Sentetik) Kauçuklar	74
4.4.1.3	Kauçukların Teknik Özellikleri	75
4.4.2	Çelik Plakalar	78
4.4.3	Kurşun Çekirdekler	80

4.5	Kauçuk Sismik Taban Yalıtkanların Üretimi	81
4.6	Kauçuk Sismik Taban Yalıtkan Tipleri	84
4.6.1	Kauçuk Esaslı Sistemler (Elastomer Sistemler)	84
4.6.1.1	Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetler	85
4.6.1.2	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler	87
4.6.1.3	Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler	88
4.7	Kauçuk Esaslı Sistemlerin Teknik Özellikleri.....	90
4.8	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtkanla Güçlendirilmiş Yapının Karşılaştırılması Maliyet Analizi	95
4.8.1	Analiz 1	96
4.8.2	Analiz 2	98
5.	VİSKOZ AKIŞKANLI SÖNÜMLEME SİSTEMLERİNİN YAPILARDA MODELLENDİRİLMESİ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	100
5.1	Uygulama 1	100
5.2	Uygulama 2	105
5.3	Uygulama 3	107
5.4	Uygulama 4	110
5.5	Uygulama 5	111
5.6	Uygulama 6	112
5.7	Uygulama 7	114
5.7.1	Viskoz Akışkanlı Sönümleyiciler ile Sürtünmeli Sarkaç Mesnetlerin Dört Katlı Yapı Üzerindeki Uygulamaları	114
5.7.2	Viskoz Akışkanlı Sönümleyiciler ile Sürtünmeli Yalıtkanların Dokuz Katlı Yapı Üzerindeki Uygulamaları	116
6.	SONUÇLAR	118
7.	ÖNERİLER	120
	KAYNAKLAR	121
	EKLER	131
Ek 1	Viskoz Akışkanlı Sönümleyici Sistemlerin Ülkelere Göre Diğer Kullanım Örnekleri	131
Ek 1.1	Amerika(ABD)	131
Ek 1.2	Çin	149
Ek 1.3	Japonya	154
Ek 1.4	Kuzey Kore	155
Ek 1.5	Güney Kore	156
Ek 1.6	Meksika	156
Ek 1.7	Romanya	157
Ek 1.8	Tayvan	157
Ek 1.9	Birleşik Krallık	163
Ek 1.10	Venezuela	164
Ek 1.11	Kanada	164
Ek 1.12	Fransa	164
Ek 1.13	Avustralya	164
Ek 2	Viskoz Akışkanlı Sönümleme Sistemlerinde Kullanılan Polimerlerin Diğer	

	Özellikleri	165
Ek 3a	Tipik Bir Diyagonal Tip Viskoz Akışkanlı Sönümlleme Sistemi Kesiti.....	166
Ek 3b	Tipik Bir ChevronTipi Viskoz Akışkanlı Sönümlleme Sistemi Kesiti	166
Ek 3c	Tipik Bir Üst Dirsek Tipi Viskoz Akışkanlı Sönümlleme Sistemi Kesiti	169
Ek 3d	Tipik Bir Alt Dirsek Tipi Viskoz Akışkanlı Sönümlleme Sistemi Kesiti	170
Ek 3e	Tipik Bir Ters Dirsek Tipi Viskoz Akışkanlı Sönümlleme Sistemi Kesiti	170
Ek 3f	Tipik Bir Makas Tipi Viskoz Akışkanlı Sönümlleme Sistemi Kesiti.....	171
Ek 4	Kauçuğun Tarihçesi.....	172
ÖZGEÇMİŞ.....		174

SİMGE LİSTESİ

A	Pistondaki delik alanı
AL	Chevron+diyagonal tip sönümleyicinin kol boyları oranı
a	İvme
C	Sönüm katsayısı
D	Çerçevenin açıklığı
d	Piston delik çapı
du/dy	Hız gradyanı
F	Kuvvet
F_d	Sönüm kuvveti
F_h	Sürtünme kuvveti
F_y	Kurşun çekirdeğin akma gerilmesine ulaştığı kesme kuvveti düzeyi
F_0	Lineer elastik davranış gösteren çerçevenin taşıma kapasitesi
f	Büyütme Faktörü
f	Frekans
G	Kayma modülü
F_h	Sürtünme kuvveti
F_{yd}	Viskoz akışkanın kayma akma gerilmesine karşılık gelen kuvvet düzeyi
g	Yerçekimi ivmesi
H	Çerçeve yüksekliği
k_d	Viskoz akışkanlı sönümleyicinin başlangıç rijitliği
k_h	Kauçuğun yatay rijitliğinin düşey rijitliğine oranı
k_s	Çerçeve sistemin rijitliği
L	Uzunluk
L_d	Diagonal tip sönümleyicinin boyu
l_1, l_2	Dirsek tipi sönümleyici kol boyu
m	Toplam yapı kütlesi
M	Moment
M_o	Deprem Richter büyüklüğü
n	Piston başındaki açık delik sayısı
P	Yük
S	Şekil faktörü
T	Periyot
t	Sıcaklık
t_e	Elastomer tabakanın kalınlığı
u	Katlararası görelî öteleme
u_c	Chevron sönümleyicinin düğüm noktasında meydana gelen yatay yerdeğiştirme
u_d	Pistonun ekseni boyunca görelî yerdeğiştirmesi
u_{yd}	Viskoz akışkanın kayma akma gerilmesine karşılık gelen yerdeğiştirme düzeyi
W	Ağırlık
W_φ	Toplam yapı ağırlığı
$\dot{u}_d$	Görelî hız
α	Sönümleyicinin lineer olmayan davranışını belirten üstel sabit
Δ	Pistonun maksimum yerdeğiştirme kapasitesi
ΔP	MR sıvıda mayetik alan varlığında oluşan şekildeğiştirme
Δ_s	Yanal şekildeğiştirme
σ	Gerilme
σ_u	Çekme dayanımı
ε	Şekildeğiştirme
ε_u	Kopma şekildeğiştirmesi

β	Sönüm oranı
ν	Katlararası görelî yerdeğiştirme oranı
μ	Sıvının viskozite sabiti
γ	Kayma şekildeğiştirmesi
τ	Kayma gerilmesi
ω	Frekans büyüklüğü
θ	Diagonal tip sönümleyicinin yatay ile yaptığı açı
θ_1	Dirsek tipi sönümleyicinin yatay ile yaptığı açı
θ_2	Dirsek tipi sönümleyicinin düşey ile yaptığı açı
θ_3	Makasın iki diagonal kolu arasındaki açının yarısı
ψ	Makas tipi sönümleyicinin yatay ile yaptığı açı

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASCE	American Society of Civil Engineers
CA	California
ENEA	Energy and the Environment Italian National Agency for New Technologies
FEMA	Federal Emergency Management Agency
HDPE	High Density Polyethylene
İMO	İnşaat Mühendisleri Odası
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
KKCNN	Korean Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Kyoto University (KU), Chulalongkorn University (CU), National Taiwan University (NTU) and National University of Singapore (NUS)
KOÜ	Kocaeli Üniversitesi
LDPE	Low Density Polyethylene
MCEER	Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research
MR	Magneto-Rheological
ODTÜ	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
PTT	Türkiye Posta Telgraf Teşkilatı
PTF	Politetrafloroetilen
PVC	Polivinil klorür
SMA	Semi-active
THBB	Türkiye Hazır Beton Birliği
UK	United Kingdom
UMCE	Union of Mediterranean Confederations of Enterprises
UV	Ultraviole
LNG	Liquefield Natural Gas

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kyobashi Seiwa Binası (Tokyo, Japonya) ve sönümleme sisteminin çalışma prensibi	4
Şekil 2.2 Yarı aktif sönümleyici (MR sönümleyici).....	4
Şekil 2.3 Metalik sönümleyici	5
Şekil 2.4 Sürtünme tipi sönümleyici	6
Şekil 2.5 World Trade Center ve yapıda kullanılan viskoelastik sönümleyiciler.....	6
Şekil 2.6 Citicorp binası ve ayarlı kütle sönümleyici	7
Şekil 2.7 Tipik bir yay tipi sönümleyici	7
Şekil 2.8 Sönümleyici tasarımı akış şeması.....	9
Şekil 3.1 Tipik bir viskoz akışkanlı sönümleyicinin boy kesiti	10
Şekil 3.2 Viskoz akışkanlı sönümleyicinin çalışma prensibi ve boyutları	10
Şekil 3.3 ABD Hava Kuvvetlerinde test edilen 200 tonluk viskoz akışkanlı sönümleyici ..	11
Şekil 3.4 The San Bernardino County Medical Center ve yapıda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyici.....	12
Şekil 3.5 Hotel Woodland ve yapıda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyici.....	12
Şekil 3.6 Triborough Bridge	13
Şekil 3.7 111 Huntington Avenue ve yapıda kullanılan sönümleyiciler	13
Şekil 3.8 Yerba Buena Tower.....	14
Şekil 3.9 Boise Airport	14
Şekil 3.10 Los Angeles Regional Transportation Management Center.....	15
Şekil 3.11 Richmond-San Rafael Bridge.....	16
Şekil 3.12 Don Pedro High School ve yapıda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyiciler.....	16
Şekil 3.13 California Dept. of Transportation District 4 Headquarters ve yapıda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyiciler	17
Şekil 3.14 W55 Street binası	17
Şekil 3.15 Jiangyin Bridge.....	18
Şekil 3.16 Suramadu Bridge	18
Şekil 3.17 Steel Mill Project.....	19
Şekil 3.18 JR Tokai Shin Yokohama Station	20
Şekil 3.19 Nagoya-Port Government Office Main Building	20
Şekil 3.20 New Yang Soo Bridge.....	20
Şekil 3.21 Marena Project	21
Şekil 3.22 Academy for Economical Studies II Project	22
Şekil 3.23 Buddhist Headquarters	22
Şekil 3.24 24 Taishin Bank Headquarters'ın iç ve dış çerçevesinde kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyiciler.....	23
Şekil 3.25 Uni-President Headquarters.....	23
Şekil 3.26 Kelti Hsin-Yi Building	24
Şekil 3.27 Millennium Bridge, eski-yeni hali ve kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyici.....	25
Şekil 3.28 Whalley Reservoir	26
Şekil 3.29 Nueva Palmira Wharf	26
Şekil 3.30 Jorge Chavez International Airport Central Tower	27
Şekil 3.31 Bercy Tolbiac Bridge	27
Şekil 3.32 Jackson Street Bridge	28
Şekil 3.33 Peace & Friendship Stadium	28
Şekil 3.34 Intercentro	29
Şekil 3.35 Amolanas Bridge	29
Şekil 3.36 Viskoz akışkanlı sönümleyicinin çalışma prensibi	30

Şekil 3.37 Silikonun (katı-sıvı) diğer malzeme gruplarıyla karşılaştırmalı elastisite modülü- yoğunluk grafiği	31
Şekil 3.38 Piston içindeki sıvının hareketinin şematik gösterimi	32
Şekil 3.39 Moleküllerin birbirleriyle oluşturduğu lineer bağlı dallanmış ve çapraz bağlı dallanmış zincirler	32
Şekil 3.40 Çeşitli piston başları ve silikon yağ geçiş kanalları	33
Şekil 3.41 Silikon yağın görünüşleri	34
Şekil 3.42 Tipik bir MR viskoz akışkanlı sönümleyici	34
Şekil 3.43 MR sıvıda manyetik alanın varlığına ve yokluğuna göre hareketi	35
Şekil 3.44 MR akışkanlı viskoz akışkanlı sönümleyici	36
Şekil 3.45 MR sıvının piston içindeki hareketi	36
Şekil 3.46 MR sıvı içindeki manyetik parçaların mıknatıs etkisinde dizilimi	37
Şekil 3.47 Akış kanalında tipik MR sıvısı kayma gerilmesi dağılımı	38
Şekil 3.48 Viskoz akışkan piston üzerindeki deliklerden geçişi	39
Şekil 3.49 Piston başı üzerindeki delik çapının a) 1.5 mm b) 1.8 mm olması durumunda sönüm kuvveti-yerdeğiştirme değişimi	39
Şekil 3.50 Deliklerin konumu ve sayısı üzerinde araştırma yapılan piston	40
Şekil 3.51 Piston delik sayısı, çapı ve sönümleme kapasitesi arasındaki değişim	40
Şekil 3.52 Piston üzerindeki açık deliklerin sönüm ile ilişkisi	40
Şekil 3.53 Pistonun sönümleme kuvveti frekans ilişkisi	41
Şekil 3.54 Pistondaki sönüm kuvveti-yerdeğiştirme eğrisinin açık delik sayısı ile ilişkisi	41
Şekil 3.55 Piston üzerindeki açık deliklerin kuvvet bileşenlerinin merkezleri ile piston başı merkezlerinin gösterimi	42
Şekil 3.56 Piston üzerindeki açık deliklerin yerleşiminin sönümlemeye etkisi	42
Şekil 3.57 Yapı, sönümleyici, yapı+sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi	43
Şekil 3.58 İlk geliştirilen viskoz akışkanlı sönümleme sistemleri	43
Şekil 3.59 (a) Ters dirsek tipi sönümleyici, (b) Alt dirsek tipi sönümleyici, (c) Üst dirsek tipi sönümleyici	44
Şekil 3.60 Makas tipi viskoz akışkanlı sönümleme sistemi	45
Şekil 3.61 Viskoz akışkanlı duvar	49
Şekil 3.62 Dirsek tipi sönümleyicilerin hareket analizi	51
Şekil 3.63 Ters, üst dirsek ve makas tipi mafsallı sönümleyicilerde bağlantı elemanlarının açısal konumunun büyütme faktörü üzerindeki etkisi	51
Şekil 3.64 Büyütme faktörü f ile θ_1 arasındaki ilişkinin tasarım çizelgeleri	52
Şekil 3.65 α 'nın değişimi	53
Şekil 3.66 Yapıların viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesinde izlenecek akış şeması	54
Şekil 3.67 Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin yapılara kattığı görsel etki	58
Şekil 4.1 Pelham Bridge	61
Şekil 4.2 Pestalozzi İlkokulunda ilk kauçuk yalıtkan uygulaması	61
Şekil 4.3 Kauçuk tabakalı yalıtkanın deformasyonu	61
Şekil 4.4 William Clayton binası	62
Şekil 4.5 Kauçuk sismik taban yalıtım sistemlerinin yaygın uygulandığı ülkeler	62
Şekil 4.6 Foothill Communities Law Justice Center	63
Şekil 4.7 City and County Building	63
Şekil 4.8 USC University Hospital	64
Şekil 4.9 Poplar Street Bridge	64
Şekil 4.10 The William Clayton Building	64
Şekil 4.11 The Wellington Central Police Station, yapıda kullanılan kauçuk taban yalıtkanı	65
Şekil 4.12 Parliament House ve yapıda kullanılan sismik taban yalıtkanı	65
Şekil 4.13 Assembly Library'nin güçlendirilmeden önceki ve sonraki durumu	65
Şekil 4.14 Te Papa - Museum of New Zealand ve yapıda kullanılan kauçuk taban yalıtkanı	66

Şekil 4.15 a) Old BNZ Building b) Maritime Museum.....	66
Şekil 4.16 Chrishchurch Women Hospital	66
Şekil 4.17 Miyagawa Bridge ve yalıtım detayı.....	67
Şekil 4.18 Kyorin University School of Medicine ve yalıtım detayı	67
Şekil 4.19 Taiwan High Speed Rail Section C270	67
Şekil 4.20 LNG terminal depo tankı ve kauçuk sismik yalıtım detayları.....	68
Şekil 4.21 Unison Research and Development Center	68
Şekil 4.22 2 nd Jindo Bridge	68
Şekil 4.23 Çin’de metro istasyonu üzerine inşa edilen kauçuk sismik taban yalıtımlı binalar	69
Şekil 4.24 Üst katta (9. kat) uygulanmış bir kauçuk sismik yalıtımı.....	69
Şekil 4.25 Yerevan’da yapımı devam etme olan kauçuk sismik taban yalıtımlı yapılar (a) Our Yard, 10-16 katlı çok işlevli konut, (b) Elite Plaza, 20 katlı iş merkezi, (c) 13 katlı çok işlevli konut (d) Cascade, 11 katlı çok işlevli konut.....	70
Şekil 4.26 Pestalozzi İlkokulu ve kullanılan sismik taban yalıtkanları	70
Şekil. 4.27 İzmit Tüpraş LNG Tankları kauçuk sismik taban yalıtkanı	70
Şekil 4.28 Kazancı Gümüşova Anadolu Köprüsü	71
Şekil 4.29 Sistem uygulamalarının yıllara göre dağılımları	71
Şekil 4.30 Telekom March Bölge Merkezi.....	71
Şekil 4.31 İtalya’da kauçuk sismik taban yalıtımlı ilk konut	72
Şekil 4.32 Rapolla House	72
Şekil 4.33 Gervasutta Hospital ve kauçuk taban yalıtkanlar	72
Şekil 4.34 Doğal kauçuğun kauçuk ağacının kabuğundan elde edilişi.....	74
Şekil 4.35 Kalıba dökülerek yapılmış yapay kauçuk yalıtkan.....	74
Şekil 4.36 Doğal kauçuğun basınç altında şekildeğiştirilmesi.....	75
Şekil 4.37 Kauçuk yalıtıkanda dönme	76
Şekil 4.38 Kauçuk yalıtıkandaki yüksek nem koşullarında rijitlik değişimi	77
Şekil 4.39 Sıcaklığın kayma modülüne etkisi.....	77
Şekil 4.40 Sıcaklığın kayma modülüne etkisi.....	78
Şekil 4.41 Kauçuk yalıtkanın çelik takviyeli ve takviyesiz halde kayma kuvveti etkisiyle meydana getirdiği yatay hareket.....	78
Şekil 4.42 Şekil faktörünün ortalama kayma gerilmesi ve şekildeğiştirme ile ilişkisi	79
Şekil 4.43 Kurşun çekirdekli yalıtkan	80
Şekil 4.44 Kurşun çekirdekli taban yalıtkanı.....	80
Şekil 4.45 Kurşunun çekme kuvveti ile gerilme-şekildeğiştirme grafikleri	81
Şekil 4.46 Kauçuğun vulkanizasyonu.....	81
Şekil 4.47 Doğal kauçuğun molekül yapısı a) saf kauçuk b) yumuşak kauçuk c)sert kauçuk	82
Şekil 4.48 Vulkanize kauçuğa karbon siyahı ilave edilmesi	82
Şekil 4.49 Kauçuğun rulo yapılması.....	83
Şekil 4.50 Kauçuğun arasına çelik levhaların konulması.....	83
Şekil 4.51 Kauçuk yalıtkan.....	84
Şekil 4.52 Yalıtkanların temel seviyesinde yerleşimi	84
Şekil 4.53 Los Angeles City Hall’de kullanılan yalıtkanların temel seviyesinde yerleşimi ...	85
Şekil 4.54 Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi	86
Şekil 4.55 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet.....	87
Şekil 4.56 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnette a) Gerçek b) İdealleştirilmiş kesme kuvveti yerdeğiştirme değişimi	87
Şekil 4.57 Tipik bir kurşun çekirdekli kauçuk mesnet plan ve kesiti	88
Şekil 4.58 Yüksek sönümlü kauçuk mesnet	89
Şekil 4.59 Yüksek sönümlü kauçuk mesnette kesme kuvveti yerdeğiştirme ilişkisi	89
Şekil 4.60 Tipik bir yüksek sönümlü kauçuk mesnet plan ve kesiti.....	90
Şekil 4.61 Deprem esnasında, sabit tabanlı ve sismik taban yalıtım sistemli yapıların şekil yer	

değiştirme durumları	90
Şekil 4.62 Sismik taban yalıtımları ile sönümlenen enerji-zaman ilişkisi	91
Şekil 4.63 Kauçuk yalıtkanların tiplerine göre kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi	92
Şekil 4.64 Yapı temel seviyesinde yerdeğiştirmenin periyot ile değişimi	92
Şekil 4.65 Sismik taban yalıtımlı yapıda a) ivme-periyot ilişkisi b) spektral ivme-yerdeğiştirme ilişkisi c) katlara dağılan maksimum kayma kuvveti / toplam yapı ağırlığı oranı	93
Şekil 4.66 Yumuşak ve sert zeminin taban kesme kuvvetinin etkisi	94
Şekil 4.67 Kauçuğun kayma-birim uzama ilişkisi	95
Şekil 4.68 Yedi katlı yapı planı	96
Şekil 4.69 Yedi katlı yapıda kullanılan kauçuk yalıtkan	97
Şekil 4.70 Zaman tanım alanında dinamik analizde oluşan kat kesme kuvvetleri	97
Şekil 4.71 a) Sabit tabanlı ve sismik taban yalıtımlı yapının maliyet diyagramı b) sismik yalıtımlı yapının imalat dağılım yüzdeleri	99
Şekil 5.1 Sönümleyicilerin 9 katlı yapıda uygulanması (a) plan (b) diyagonal tip yerleşim, (c) Chevron tipi yerleşimi	101
Şekil 5.2 Viskoz akışkanlı sönümleyici eklenen tarihi yapı ve normal kat planı	107
Şekil 5.3 Yapıda oluşacak plastik mafsallar ve yerleri	108
Şekil 5.4 Yapıda uygulanan alt dirsek tipi sönümleyici	110
Şekil 5.5 Farklı konumlarda sönümleyici yerleştirilen yapıların yerdeğiştirme -zaman ilişkisi	113
Şekil 5.6 Sönümleyicilerin farklı biçimlerde yerleştirilmesinin sönüm-yerdeğiştirme ilişkisi üzerindeki etkileri	115
Şekil 5.7 Sönümleyicilerin farklı biçimlerde yerleştirilmesinin sönüm-yerdeğiştirme ilişkisi üzerindeki etkileri	117
Şekil Ek 1.1 1414 K Street	131
Şekil Ek 1.2 Minute Maid Park (Ballpark at Union Station)	131
Şekil Ek 1.3 East Huntington Bridge	131
Şekil Ek 1.4 William H. Harsha (Maysville Bridge)	132
Şekil Ek 1.5 Millennium Place	132
Şekil Ek 1.6 Ingram Micro Office Building	132
Şekil Ek 1.7 Triborough Bridge Approaches	133
Şekil Ek 1.8 10th & K Street	133
Şekil Ek 1.9 Dexter Horton Building	133
Şekil Ek 1.10 Palo Alto Office Building	134
Şekil Ek 1.11 Sacramento River Bridge at Rio Vista	134
Şekil Ek 1.12 Gillette (Foxboro) Stadium	134
Şekil Ek 1.13 Bill Emerson Memorial Bridge	135
Şekil Ek 1.14 Discovery Bay Gymnasium	135
Şekil Ek 1.15 Genentech FRC II	135
Şekil Ek 1.16 Stacy Park Reservoir	136
Şekil Ek 1.17 Immunex Corporation Helix Project – Central Utility Plant	136
Şekil Ek 1.18 UC Irvine Hall Building	136
Şekil Ek 1.19 New de Young Fine Arts Museum	137
Şekil Ek 1.20 Renton Transfer Station	137
Şekil Ek 1.21 Solano County Government Building	137
Şekil Ek 1.22 San Francisco-Oakland Bay Bridge	137
Şekil Ek 1.23 Cochrane Bridge	137
Şekil Ek 1.24 Nordstrom South Coast Plaza	138
Şekil Ek 1.25 Rolling Hills Middle School	138
Şekil Ek 1.26 East Bay Municipal Utility District-Administration Building	139
Şekil Ek 1.27 CSUS-Academic Information Resources Center	139

Şekil Ek 1.28 Vacaville Police Station	139
Şekil Ek 1.29 George Washington Bridge onarım öncesi ve sonrası görünüşleri	140
Şekil Ek 1.30 Veterans Memorial Bridge-Texas	140
Şekil Ek 1.31 Temple Lofts	140
Şekil Ek 1.32 Weirton-Steubenville, Veterans Memorial Bridge	141
Şekil Ek 1.33 Hotel Stockton	141
Şekil Ek 1.34 Semiconductor Building	141
Şekil Ek 1.35 Sinclear Elementary School	141
Şekil Ek 1.36 Mississippi River Bridge	142
Şekil Ek 1.37 Logan Airport Central Parking Garage	142
Şekil Ek 1.38 Nordstrom – Tyler Mall Store # 325	142
Şekil Ek 1.39 Nordstrom–South Bay Galleria	143
Şekil Ek 1.40 Los Angeles California Temple	143
Şekil Ek 1.41 Pamunkey River Bascule Bridge	143
Şekil Ek 1.42 Waldo – Penebscot River Bridge	144
Şekil Ek 1.43 Berryhill Elementary School	144
Şekil Ek 1.44 Four Elementary Schools for the Ceres Unified School District	144
Şekil Ek 1.45 Kent Parking Garage	145
Şekil Ek 1.46 Naval Hospital Bremerton	145
Şekil Ek 1.47 Macy’s Store - Meier & Frank Building Remodel	145
Şekil Ek 1.48 Seattle Central Link Light Rail Section	146
Şekil Ek 1.49 Loma Linda University Medical Center	146
Şekil Ek 1.50 Tioga High School	146
Şekil Ek 1.51 Sutter Gould Medical Office Building	147
Şekil Ek 1.52 Cal Poly Pomona Library	147
Şekil Ek 1.53 Starwood Hotel – Sage Hospitality	147
Şekil Ek 1.54 Nordstrom Pomeroy-Mason Bridge	148
Şekil Ek 1.55 Mills Peninsula Hospital	148
Şekil Ek 1.56 Genentech B50 Project	148
Şekil Ek 1.57 Atlanta Botanical Garden	149
Şekil Ek 1.58 Roosevelt Island Lift Bridge	149
Şekil Ek 1.59 Solomon R. Guggenheim Museum	149
Şekil Ek 1.60 Qinshan III Nuclear Powerplant	149
Şekil Ek 1.61 Nanjing 3rd Crossing Bridge	150
Şekil Ek 1.62 Huabei Power Plant	150
Şekil Ek 1.63 Beijing Silvertie Center	150
Şekil Ek 1.64 Guangzhou Stadium	151
Şekil Ek 1.65 Beijing 7 Star Morgan Plaza Hotel	151
Şekil Ek 1.66 Hangzhou Jiangdong Bridge II	152
Şekil Ek 1.67 Jiangyin Bridge	152
Şekil Ek 1.68 Shanghai Hangar	152
Şekil Ek 1.69 Holland Hills Mori Tower RoP	153
Şekil Ek 1.70 Shinjuku 3-Chome East Building	153
Şekil Ek 1.71 Chiba Chuo Project	153
Şekil Ek 1.72 Shibuya Park Road Building	154
Şekil Ek 1.73 Saitama Citizen Medical Center	154
Şekil Ek 1.74 Minatoku Office Building	154
Şekil Ek 1.75 Aratsu Bridge	155
Şekil Ek 1.76 Kimpo Airport Phase I	155
Şekil Ek 1.77 Gang Dong Grand Bridge	156
Şekil Ek 1.78 Torre Mayor (Chapultepec Tower)	156

Şekil Ek 1.79 Tres Mares Residences	157
Şekil Ek 1.80 Academy for Economical Studies - Sports Complex	157
Şekil Ek 1.81 Chung Hwa Telecommunications Building	157
Şekil Ek 1.82 Grand Master Construction Residential Building (KCEC)	158
Şekil Ek 1.83 TSMC FAB 8	158
Şekil Ek 1.84 TSMC FAB 5	158
Şekil Ek 1.85 Fubon/China Insurance Building	159
Şekil Ek 1.86 Kindom 101 Leadership	159
Şekil Ek 1.87 National Palace Museum	159
Şekil Ek 1.88 Shin Keio Plaza	159
Şekil Ek 1.89 Touch the Heart of Hawaii	160
Şekil Ek 1.90 TSMC FAB 7	160
Şekil Ek 1.91 TSMC Fab 14 P4	160
Şekil Ek 1.92 Tan Zu/Tzu Chi Hospital	161
Şekil Ek 1.93 Rainbow Bridge	161
Şekil Ek 1.94 TSMC Fab12 P4	161
Şekil Ek 1.95 Criminal Investigation Bureau Taichung	162
Şekil Ek 1.96 Farglory Twin-Towers H40	162
Şekil Ek 1.97 Uni-President Taipei Transfer Post (A3)	163
Şekil Ek 1.98 Coldhams Lane Bridge	163
Şekil Ek 1.99 Clerkenwell Road Bridge	164
Şekil Ek 1.100 BCBC Pandora Wing	164
Şekil Ek 1.101 Pont de Vatine Bridge	164
Şekil Ek 2.1 Polimer molekülleri arasında yer alan Kovalent ve Van Der Waals bağları	165
Şekil Ek 2.2 Polimerlerin gerilme şekildeğiştirme diyagramı	165
Şekil Ek 3.1 Tipik diyagonal tip viskoz akışkanlı sönümleyici	166
Şekil Ek 3.2 Tipik bir 2 sönümleyicili chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici	166
Şekil Ek 3.3 Tipik bir 1 sönümleyicili chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici	167
Şekil Ek 3.4 Tipik bir 2 sönümleyicili chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici	167
Şekil Ek 3.5 Tipik bir 2 sönümleyicili chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici	168
Şekil Ek 3.6 Chevron viskoz akışkanlı sönümleyicilerin kauçuk mesnetlerle uygulanması .	168
Şekil Ek 3.7 Tipik bir üst dirsek tipi viskoz akışkanlı sönümleyici	169
Şekil Ek 3.8 Tipik bir alt dirsek tipi viskoz akışkanlı sönümleyici	170
Şekil Ek 3.9 Tipik bir ters dirsek tipi viskoz akışkanlı sönümleyici	170
Şekil Ek 3.10 Tipik bir makas tipi sönümleyici	171

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Viskoz akışkanlı sönümleme sistemi tipleri 46
Çizelge 3.2	Viskoz akışkanlı sönümleme sistemi tipleri yerleşim geometrisi ve etkinliği.. 50
Çizelge 3.3	Viskoz akışkanlı sönümleme sistemi teknik özellikleri..... 54
Çizelge 3.4	Viskoz akışkanlı sönümleyicinin performans dereceleriyle uyumlu uygulanabilirliği..... 57
Çizelge 4.1	Yedi katlı yapının geleneksel güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesinin maliyet analizi..... 98
Çizelge 4.2	Yedi katlı yapının kauçuk taban yalıtkanları ile yöntemiyle güçlendirilmesinin maliyet analizi..... 98
Çizelge 4.3	Yedi katlı yapının kauçuk taban yalıtımı ile yöntemiyle güçlendirilmesinin maliyet karşılaştırması 99
Çizelge 5.1	Yapıda her kat için gerekli sönümleyici sayısının tespiti 101
Çizelge 5.2	Chevron tipi sönümleyicilerin 3, 9 ve 20 katlı yapılarda uygulanması 102
Çizelge 5.3	1, 2, 4 ve 8 katlı yapıların Chevron tipi viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesi..... 106
Çizelge 5.4	Tarihi yapıda kullanılan lineer viskoz akışkanlı sönümleyicilerin özellikleri 109
Çizelge 5.5	Tarihi yapıda sönümleyicilerin yerleşimi ve yapı üzerindeki etkileri 109
Çizelge 5.6	39 katlı yapıda alt dirsek tipi sönümleyicilerin yerleşimi..... 111
Çizelge 5.7	Yedi katlı yapının diyagonal ve Chevron tip sönümleyicilerin birleştirilmesiyle oluşturulmuş viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesi..... 112
Çizelge 5.8	On bir katlı düzlem çerçeve sistemin matematik modeli ve sönümleyicisiz yapının yerdeğiştirme, ivme ve taban kesme kuvvetinin zaman ile değişimi. 113
Çizelge 5.9	On bir katlı düzlem çerçeve sistemin güçlendirme öncesi ve sonrası durum değerlendirmesi..... 114
Çizelge 5.10	Dört katlı düzlem çerçeve sistemin matematik modeli ve sürtünme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi..... 115
Çizelge 5.11	Dokuz katlı düzlem çerçeve sistemin matematik modeli ve sürtünme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi..... 116
Çizelge Ek 4.1	Kauçuğun dünya üzerindeki üretimi..... 173

ÖNSÖZ

İnsanlık tarihi boyunca tüm uygarlıkların kaderini, depremle başta olmak üzere yaşanan doğal afetler (deprem, sel, çığ vb.) belirlemiştir. Doğal afetler sonucu birçok uygarlık yok olmuş, topluluklar yaşadıkları yerlerden göç etmiş ve göçle beraber kültürler yeniden şekillenmiştir. Dünyanın oluşumundan beri sismik açıdan aktif bölgelerde depremlerin tekrarlanarak oluştuğu, milyonlarca insanın hayatını kaybettiği ve yerleşkelerin yok olduğu somut bir gerçektir.

Aktif fay sistemleri üzerinde yer alan Türkiye topraklarındaki (yaklaşık %92'si), konut alanlarının %95'i, sanayi merkezlerinin %98'i ve barajların %93'ünün deprem tehlikesi olan bölgelerde konumlandırıldığı görülmüştür. Türkiye'de 1950'lerden beri oluşan depremler sonucunda, 58202 kişi hayatını kaybetmiş, 122096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411465 bina yıkılmış/ağır hasar görmüştür. Bu durum, gelecekte olması muhtemel depremlerin önemli can ve mal kaybı ile sonuçlanabileceğinin açık göstergesidir.

Çözüm; doğada varoluşun simgesi ve gelişmişlik düzeyinin göstergesi olan yapılar ve kentler için depreme karşı gerekli önlemleri almaktır.

Bu çalışmada yaşanan binaları tasarlayan mimarlara sismik yalıtım konusunda; depreme dayanıklı yapı tasarımı ve geçmişten gelen yanlışlıkların düzeltilmesi amacıyla yapılacak üretim, araştırma ve uygulamalara ışık tutmak amaçlanmıştır.

Öncelikle, beni bu konuda çalışmaya yönlendiren ve yol gösteren, danışman hocam Yrd. Doç Dr. Z. Canan Girgin' e teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım. Son olarak zor günlerimde yanımda olan eşime teşekkür ederim.

İstanbul, Haziran 2009

Selma ÖZCAN

ÖZET

Klasik depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının tersinir yükler altında sismik enerjiyi güçlü kolon-kiriş birleşimlerinde yutarak 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depreminde yıkılmayacak şekilde can güvenliği performans düzeyine kadar hasar görmesi söz konusudur. Bu yaklaşım güçlü bir deprem sonrası yapı fonksiyonunun devam ettirilmesi isteği ile çelişebilmektedir. Bu nedenle mevcut yapılar ve tasarlanan yapıların deprem performanslarını arttırmak üzere çeşitli kauçuk sismik enerji sönümleme sistemleri geliştirilmiştir.

Ayrıntılı teorik ve deneysel çalışmaların sonucunda geliştirilen ve son yıllarda okul, hastane, tarihi yapı, köprü vb. yapılarda yaygın kullanım imkanı bulan enerji sönümleyici sistemlerden viskoz akışkanlı sönümleme sistemleri ve kauçuk sismik taban yalıtım sistemleri, tezin konusunu oluşturmaktadır.

Viskoz akışkanlı sönümleyiciler az, orta ve yüksek katlı yapılarda rahatlıkla uygulama alanı bulabilmektedir. İç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler pistonda yer alan silikon akışkanın sıkışmaya zorlanması ile büyük oranda sönümlenmektedir. Diyagonal ve Chevron tipi, daha ziyade esnek yapı sistemleri için uygun olurken; dirsek ve makas tipi sönümleyiciler az öteleme yapan perdeli rijit yapı sistemleri için daha uygun-ekonomik olmaktadır.

Tezin Birinci Bölümünde içerik, önem ve amaca değinilmiştir.

Söz konusu sistemler detaylı olarak incelenmeden önce yapısal denetim sistemleri, genel özellikleri ile İkinci Bölümde açıklanmıştır.

Bu çalışmanın Üçüncü Bölümünde, viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin; gelişimi, dünyada kullanımı, sönümleyici tipleri ve teknik özellikleri üzerine odaklanılmıştır.

Dördüncü Bölümde kauçuk sismik taban yalıtım sistemlerinin dünyada gelişimi, tipleri ve teknik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerin uygulamaları ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Beşinci Bölümde sunulmuştur.

Sonuç ve Öneriler bölümünde, viskoz akışkanlı sönümleme sistemleri ile kauçuk sismik taban yalıtım sistemlerinin deprem-rüzgar etkisi altındaki davranışlarının değerlendirmesi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Viskoz akışkanlı sönümleme sistemleri, kauçuk sismik taban yalıtım sistemleri, pasif kontrol sistemleri, dinamik yatay kuvvetler (deprem ve rüzgar), Magneto-Rheological (MR) akışkan, diyagonal tip, Chevron, dirsek, makas tipi.

ABSTRACT

In conventional seismic design approach, the acceptable performance of a structure during earthquake is based on the lateral force resisting system and to dissipate energy with acceptable inelastic deformations for a large number of cycles. The design principles are established on 10 percent probability of exceedance in 50 years. This approach is difficult to satisfy when the structure must remain functional after earthquake. Therefore various types of energy dissipation devices exist to enhance the earthquake-resisting capability.

In the last years, energy dissipation systems are utilized in the retrofitting works of existing structures especially such as historical buildings, bridges, schools and hospitals. This thesis focuses viscous fluid damper systems and base isolation systems with rubber bearings which are seismic energy dissipation systems.

Incorporation of viscous fluid damping devices into structures has become an accepted and popular approach to dissipate energy and to reduce building response (interstory drifts, internal forces) and against to wind motions and earthquake forces. When interstory drifts are small (e.g. reinforced concrete shear wall, or steel braced dual systems) the required damping forces are large, this leads to further increase the cost of viscous fluid damper systems. Herein, the utilization of toggle-brace-damper system configurations, which have larger magnification factor than diagonal and Chevron types more suitable for flexible buildings, may lead to cost savings.

Seismic base isolation is a design technique proposing decoupling of the structure from the damaging effects of earthquakes. Base isolation works through elongating the fundamental period, away from the peak region of the spectrum.

Energy dissipation systems are generally explained in the Second Section.

The Third Section addresses the worldwide development, mechanical properties and energy dissipation characteristics of viscous fluid dampers.

The development, types and mechanical properties of base isolation systems with rubber bearings are introduced in the Fourth Section.

The Fifth Section includes the applications and the results of viscous dampers.

Results and suggestion are given in Sixth and Seventh Sections.

Key Words : Viscous fluid damper devices, seismic base isolation systems, passive control systems, dynamic loads (earthquake and wind), Magneto-Rheological (MR) fluid, Chevron, Diagonal, toggle brace, scissor-jack.

1.GİRİŞ

1.1. Problemin Belirlenmesi

Deprem kuşağında yer alan ülkelerde; yeni yapıların dinamik yatay yükler (deprem ve rüzgar) altında tasarlanması; mevcut yapıların ise, yeni yönetmeliklere göre yetersiz kalması, dayanıklılık gözetilmeden yapılan tasarımlar nedeni ile dayanım kaybına uğraması ve kullanım amacının değiştirilmesi gibi nedenlerle, onarım/güçlendirme uygulanması gerekmektedir. Taşıyıcı sistemi yetersiz bina sayısının fazlalığı, inşaat yöntemlerinin farklılığı, yapının inşaat/montaj aşamasında da kullanılması durumu ve inşaat+hizmet süresi maliyeti göz önüne alınarak, her yapı için uygun olabilecek farklı onarım-güçlendirme sistemleri seçilebilir. Bu sistemler içerisinde; yapılar ve içindeki donanımlar hasar görmeden, deprem enerjisini sönmleyen özel denetim sistemleri tercih edilmektedir.

Yapıların enerji sönm kapasitelerinin arttırılmasını amaçlayan ve Türkiye’de sınırlı sayıda uygulanmış olan özel denetim sistemleri; pasif denetim sistemleri, aktif denetim sistemleri, karma sistemler ve yarı aktif denetim sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Yaşamsal önem taşıyan binalarda dışarıdan bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan dinamik yükün etkisini üzerine alarak sönmleyen ve pasif denetim sistemlerinin birer ögesi olan Viskoz Akışkanlı Sönmleme Sistemleri ile Kauçuk Sismik Taban Yalıtım Sistemleri’nin Türkiye’de uygulanmama nedenleri;

- Türkiye’de yapı sistemlerinin dinamik yükler etkisi altındaki davranışlarının deneysel olarak yeterince incelenmemiş olması,
- Üretim ve uygulamanın birkaç ülke ve firma ile sınırlı olması,
- Yurt içi üretim konusunda bilgi ve ilgi eksikliği,
- Nakliye ve gümrük maliyetlerinin yüksek olması

sıralanabilir.

Bu tez çalışmasında Türkiye’de, yukarıda sıralanan nedenlerden dolayı kullanılmayan Viskoz Akışkanlı Sönmleme Sistemleri ile Kauçuk Sismik Taban Yalıtım Sistemleri; fiziksel, mekanik özellikleri ve uygulamaları ile ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

1.2 Amaç

Tezin amacı; bilgi-ilgi yetersizliği ve yüksek maliyetleri nedeniyle Türkiye’de uygulanmamış olan “Viskoz Akışkanlı Sönmleme Sistemleri” ile sınırlı sayıda uygulanmış olan “Kauçuk

Sismik Taban Yalıtım Sistemleri” ni tanıtmak ve deprem performanslarını araştırarak, bundan sonra yapılacak olan araştırma, üretim ve uygulamalara kaynaklık etmektir.

1.3 Önem

Viskoz akışkanlı sönümlleme sistemleri ile kauçuk sismik taban yalıtım sistemleri’nin yapılarda uygulanmasıyla, deprem ve rüzgar enerjisinin sönümlenmesine ilişkin *yeni* ve sistemlerin boyutlandırması-üretilmesiyle ilgili *ekonomik* bir bakış açısı sağlanacaktır. Ayrıca bu çalışmanın söz konusu sistemleri üretecek firmalar için de aydınlatıcı olması amaçlanmıştır.

1.4 Varsayım

Sismik açıdan çok aktif olan Japonya, ABD gibi ülkelerde oldukça sık uygulanan viskoz akışkanlı sönümlleme sistemleri ve kauçuk sismik taban yalıtım sistemleri ile, Türkiye’de depreme dayanıklı yapı tasarımında oldukça verimli sonuçlar elde edilebilir.

Ayrıca bu çalışma, viskoz akışkanlı sönümlleme sistemleri ile kauçuk sismik taban yalıtım sistemlerinin deprem ve rüzgar etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi, üretimi, uygulamaları, uygulama aşamasında ve sonrasında ortaya çıkabilecek problemlerin çözümlenmesi açısından da iyi bir kaynak oluşturabilir.

1.5 Kapsam

Tezin içeriğini; viskoz akışkanlı sönümlleme sistemleri ile kauçuk sismik taban yalıtım sistemlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile rüzgar ve depreme karşı performansları ve uygulamaları oluşturmaktadır.

1.6 Yöntem

Çalışmada aktif, yarı aktif, karma ve pasif denetim sistemleri kısaca tanıtılmış, takiben viskoz akışkanlı sönümlleme sistemleri ve kauçuk sismik taban yalıtım sistemleri ile ilgili genel bilgiler verilmiş, dünyadaki gelişimleri örneklerle ele alınmış, sistemleri meydana getiren temel öğeler ve teknik özellikler yapılan deneysel çalışmalarla sunulmuştur. Viskoz akışkanlı sönümlleme sistemlerine ait değişik yapısal uygulamalar ve dinamik analizler de ayrı bir bölümde takdim edilmiştir.

2.YAPISAL DENETİM SİSTEMLERİ

2.1 Giriş

Deprem kuvvetlerine karşı yapı tasarımı, tarihsel gelişim açısından üç evrede incelenir. İlk zamanlar yapı projelerinde yalnız statik kuvvetler göz önüne alınıp, yapıların deprem kuvvetleri karşısında da rijit davranış göstermesi amaçlanıyordu. Sonraları statik yüklerle beraber dinamik etkileri hesaba katan tasarım ilkeleri geliştirilerek, rijit yapılar yerine enerji yutma kapasitesi yüksek sünek yapılar tasarlanmıştır. Büyük deprem kuvvetleri etkisinde, taşıyıcı sistemin ve yapı içindeki donanımın hasar görmesi nedeniyle yapının kullanılamaz hale gelmesi olasıdır. Yapı, maliyet ve zaman gerektiren güçlendirme çalışmaları ile, daha rijit hale getirildiğinden, yapının bir sonraki depremde daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kalması da sözkonusudur. Bu nedenle yapıya, mevcut hali ile dinamik etkilere karşı koymak üzere, yerleştirilecek özel denetim sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler özellikle, acil durumlarda mutlaka kullanılabilir durumda olması gereken hastane, telekomünikasyon ve nükleer enerji santralleri gibi yapılar ile içindeki donanımların zarar görmemesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Sözkonusu denetim sistemleri dört ana bölümde incelenebilir;

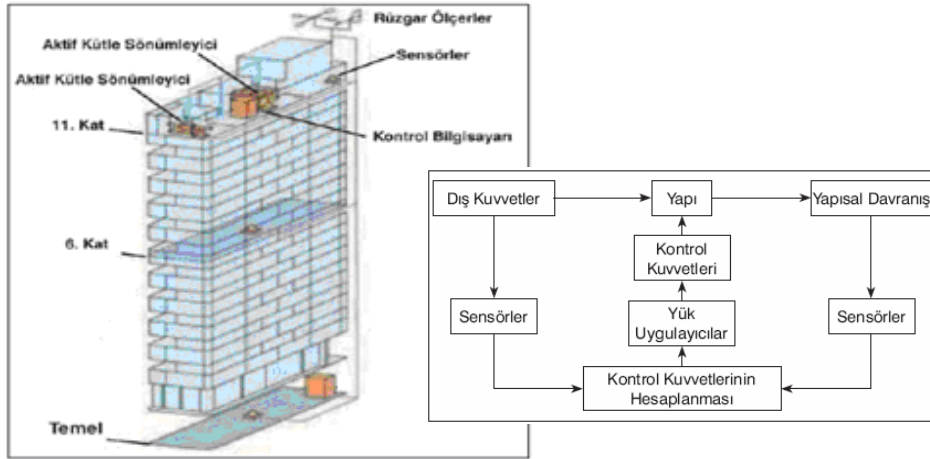
- Aktif Denetim Sistemleri
- Yarı Aktif Denetim Sistemleri
- Pasif Denetim Sistemleri
- Karma Denetim Sistemleri

2.2 Aktif Denetim Sistemleri

Aktif denetim sistemleri, yapıya etki eden dış kuvvetleri (deprem, rüzgar v.b.) belli zaman aralıklarında ölçüp, elde edilen bu verileri değerlendirdikten sonra dış etkiyi azaltacak, karşı denetim kuvvetleri uygulayan sistemlerdir. Bu karşı koyucu kuvvetler rijitlik değiştirme gibi çeşitli yöntemlerle elde edilir ve teoride yapının her şiddetteki dinamik dış etkiye karşı korunmasını sağlar.

Nükleer enerji santralleri, hastaneler, telekomünikasyon binaları gibi yaşamsal önem taşıyan yapılarda uygulamasına en sık rastlanan sistemlerdir (Şekil 2.1). Aktif denetim sistemlerinde yapılar yükseldikçe veya depremin büyüklüğü arttıkça, karşı koyucu kuvvetler ve sistemi

çalıştıracak enerji miktarı artar, bu da enerji ve stabilite sorununu ortaya çıkarır. Ayrıca deprem sırasında herhangi bir enerji kesintisi, sistemin çalışmasını engeller. Bu nedenle aktif denetim sistemleri orta yükseklikteki yapıların, orta şiddetli deprem etkisine karşı korunmasında daha etkili olmaktadır (Germen, 2006; Aldemir ve Aydın, 2005).



Şekil 2.1 Kyobashi Seiwa Binası (Tokyo, Japonya) ve sönümleme sisteminin çalışma prensibi (Aldemir ve Aydın, 2005).

2.3 Yarı Aktif Denetim Sistemleri

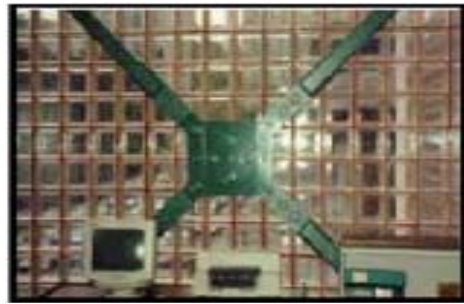
Yarı aktif denetim sistemleri (Şekil 2.2), denetlenebilen pasif elemanlar veya dış enerji gereksinimi aktif denetim sistemlerine göre daha az olan sistemler olarak tanımlanabilir. Sistemin çalışması için gerekli olan enerji oldukça düşük olduğundan, deprem sırasında meydana gelebilecek bir enerji kesintisinde oldukça küçük enerji kaynaklarıyla işletilebilir. (Aydın ve Ercan, 2004).



Şekil 2.2 Yarı aktif sönümleyici (MR sönümleyici) [1].

Şekil 2.3 Metalik sönümleyici (Yozgat ve Hüsem, 2005).

Sürtünme tipi sönümleyiciler ise (Şekil 2.4) çelik üstüne çelik, çelik üstüne pirinç veya paslanmaz çelik üzerine grafit ile kaplanmış bronzdan sürtünme yüzeyli malzemelerden oluşturulur. Bu sönümleyiciler yükün büyüklüğünden, yükleme sayısından ve frekanstan etkilenmezler. Şiddetli deprem yükleri altında birincil yapı elemanlarında akma olmadan, daha önceden tanımlanan optimum bir yükte sönümleyici kaymaya başlar ve X çubuklarında meydana gelen sürtünme ile sönüm sağlanmış olur. Bu sönümleyiciler rüzgar yükleri ile orta ve düşük seviyelerdeki deprem kuvvetleri altında sönüm sağlayamadıkları için viskoelastik sönümleyicilerin geliştirilmesine etken olmuştur (Aldemir ve Aydın, 2005).



Şekil 2.4 Sürtünme tipi sönümleyici (Yozgat ve Hüsem, 2005).

Viskoelastik sönümleyiciler (Şekil 2.5.), camı ya da kopolimer viskoelastik malzemelerden oluşur. Viskoelastik sönümleyiciler her düzeydeki şekildeğişimlere uygundur. Yapıya etkiyen dış enerji, viskoelastik katmanların kayma şekildeğişimlerinden yararlanarak sönümlenir.

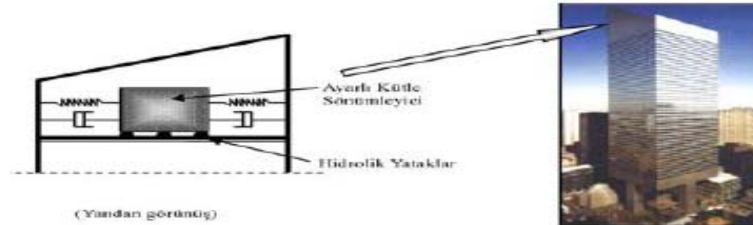


Şekil 2.5 World Trade Center ve yapıda kullanılan viskoelastik sönümleyiciler (Ercan ve Aydın, 2004).

Viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinde yatay kuvvetler bir piston ve piston içindeki akışkan sayesinde sönümlenmektedir. Viskoz akışkanlı sönümleyicilerle ilgili detaylı bilgi Bölüm 3'te verilmektedir.

Ayarlı kütle sönümleme sistemleri (Şekil 2.6) genel olarak yapıların yerdeğişimlerinin maksimum olduğu en üst kat seviyesine yerleştirilen katı ya da sıvı kütlelerden oluşmaktadır.

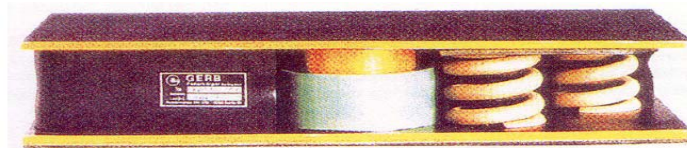
Yapı tehlikeli boyutta salınım yapmaya başladığında, sistem kendiliğinden devreye girmekte ve yapının periyodundan farklı bir periyotta salınım yaparak, yerdeğiştirmeleri azaltmaktadır (Aldemir ve Aydın, 2005).



Şekil 2.6 Citicorp binası ve ayarlı kütle sönümleyici (Yozgat ve Hüsem, 2005).

Kayma-sürtünme esasına dayalı yalıtım sistemleri bilinen en eski ve en basit taban yalıtım sistemleridir. Günümüzde bu sistemin en sık kullanılan tipi, paslanmaz çelik üzerinde kayan dolu ve boş gövdeli küresel yüzeyli teflon taşıyıcılardır (Germen, 2006).

Yay tipi sönümleyiciler (Şekil 2.7) kauçuk yalıtkanların üç boyutta sağlayamadıkları sönümü gerçekleştirebilmek amacıyla tasarlanmıştır. Yayların hem yatay hem de düşey konumdaki esnekliğinden faydalanılarak oluşturulan bu sistemler, yüzyılı aşkın bir süreden beri dünyanın birçok yerinde kullanılmaktadır. Sönüm yapabilme özelliği neredeyse hiç olmayan bu sistem, makinelerin yatay ve özellikle düşey titreşimlerinin azaltılması için geliştirilmiştir.



Şekil 2.7 Tipik bir yay tipi sönümleyici (Germen, 2006).

Kauçuk taban yalıtım sistemleri, temel ile temel üstündeki yapı arasına kurulan ve yapının zemine bağlı olan temele göre büyük yatay yerdeğiştirme yapmasına izin veren yalıtkanlardan oluşur. Sistemle ilgili detaylı bilgiler Bölüm 4'te verilmektedir.

2.5 Karma Denetim Sistemleri

Karma denetim sistemleri, pasif ve aktif denetim sistemlerinin tek başlarına çalıştıkları durumlarda ortaya çıkan eksikliklerin giderilmesi amacıyla her iki sistemin birarada kullanılmasıyla oluşturulmuştur.

Pasif bir denetim sistemini tamamlamak veya geliştirmek için aktif denetim kullanılabileceği gibi, aktif bir denetim sistemine pasif denetim aygıtları eklenerek sistemin enerji gereksinimi azaltılabilir.

Karma denetim sistemlerinin performansı, iki ayrı sistemin birlikte kullanılmasından dolayı yüksektir ancak bu sistemlerin projelendirilmesi oldukça karmaşıktır (Germen, 2006; Aldemir ve Aydın, 2005).

2.6 Yapısal Uygulamalar İçin Sönümleyici Tasarımı

Genel anlamda sönümleyici tasarımına etki eden bazı unsurlar aşağıda ele alınmıştır.

2.6.1 Enerji Sönümleme Sistemlerinin En Uygun Yerleşimi

Sönümleme elemanlarının en uygun yerleşimi, ekonomik kullanım için önemli bir etkidir. Ashour ve Hanson (1987), Zhang ve Soong (1992) ve günümüzde de Lopez Garcia (2001), genel anlamda optimum sönümleyici yerleşimini, yapıya kolay entegre edilebilir hale getirmek için modeller öngörmüştür. Bunların içinde en uygun ve günümüzde de çok fazla benimsenmiş olan model ise, lineer olmayan davranış gösteren düzlem çerçeve bir yapıda 1. modda maksimum sönüm sağlayan yerleşimdir. Modellemede ana fikir, sönümleyicilerin en büyük göreceli yerdeğıştirme ve hız oluşan birleşim yerlerinde konumlanmasını sağlamaktır (Murat, 2005).

2.6.2 Kiriş ve Kolonlardaki Kuvvet ve Momentlerin Etkisi

Bir çerçeve sisteme sönümleyici ilavesi yapılması, yapıyı güçlendirilmiş çerçeve biçimine çevirir. İlave enerji sönüm sistemleri, temel yapısal elemanlarda meydana gelen iç kuvvetlerde, ivme ve büyüklüğünde, katlararası ötelemelerde azalmaya neden olmaktadır (Constantinou ve diğ., 1998).

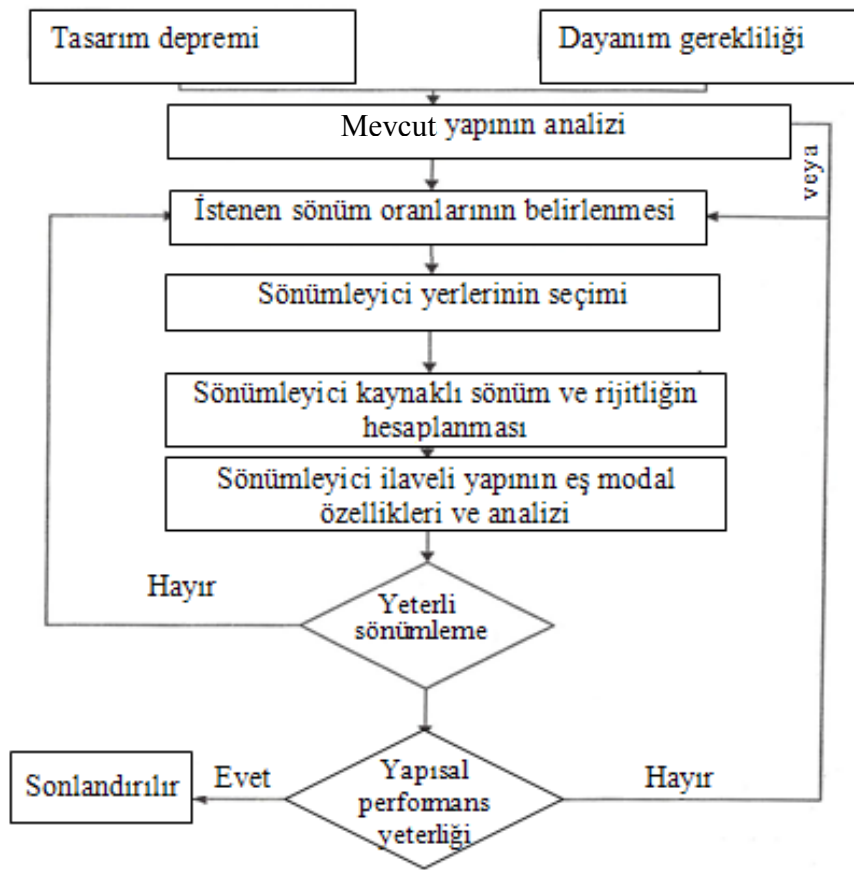
2.6.3 Tasarım Yöntemleri

Yeni yapılar için, tasarım ve teknolojinin birlikteliği ile, yanal yüklerin azaltılması ve istenen yerdeğıştirme sınırlarının sağlanması mümkün olabilmektedir. Mevcut yapılar için ise, yapı elemanlarına etki eden kuvvetlerde hiçbir artış olmaksızın, yerdeğıştirme ve kesit tesirlerindeki iyileştirme üzerinde odaklanması gerekmektedir.

Tasarım normal olarak, her aşamada yapısal özellikleri güncellemeye devam eden ve birbirini izleyen adımlardan meydana gelmektedir. Bu adımlar;

- Binanın yapısal özelliklerinin belirlenmesi ve yapısal analizin gerçekleştirilmesi
- İstenen tüm sönüm oranlarının belirlenmesi
- Yapıda sönümleyici yerlerinin belirlenmesi
- Sönümleyicilerin oluşturduğu rijitlik ve sönüm oranlarının hesaplanması
- Sönümleyici ilaveli yapının eş modal sönüm oranlarının, rijitliğinin ve mod şekillerinin hesaplanması
- Sönümleyici ilaveli yapının performans analizi

5. ve 6. adımlarda istenen sönüm oranları ve yapısal performans koşulları sağlanırsa tasarım sonlandırılır. Aksi takdirde yeni yapısal özellikler ve sönümleyici yerleşimi veya boyut ve özelliklerinde değişime sebep olacak yeni bir tasarım sürecine geçilmelidir. Genel tasarım akış şeması Şekil 2.8’de verilmiştir (Murat, 2005).



Şekil 2.8 Sönümleyici tasarımı akış şeması (Murat, 2005).

Şekil 3.2 Viskoz akışkanlı sönümleyicinin çalışma prensibi ve boyutları (Xu, 2007; Taylor Devices, 2008).

3.2 Viskoz Akışkanlı Sönümleyici Sistemlerinin Tarihçesi

Viskoz akışkanlı sönümleyici sistemlerin ilk öncü çalışmaları Hollandalı Christiaan Huygens tarafından 1680¹ yılında otomotiv sanayisinde yapılmıştır. Otomotiv sanayisinde kullanılan şok yutucularla (amortisör) viskoz akışkanlı sönümleyiciler etki açısından benzer olmasına rağmen yüksek mukavemetlerde çalışmaları ve oldukça büyük olmalarıyla şok yutuculardan farklılaşmaktadırlar. 1990'da Soğuk Savaş bittiğinde, viskoz akışkanlı sönümleyicilerin 35 yıldan daha fazla süre ile ABD Askeri birimlerinin stratejik savunma programlarında kullanıldığı ortaya çıkartılmıştır. 1961 yılında, yüksek maliyet ve teknoloji gerektiren bu sistem, ABD Hava Kuvvetlerinde 200 ton yüke dayanacak şekilde tasarlanmış ve test edilmiştir (Şekil 3.3). Daha sonra bu sistem bir yeraltı silosu olan *Atlas Ballistic Missile*'de uygulanmıştır. Bu sönümleyicilerin değişik tipleri ABD Kara, Hava ve Deniz Kuvvetleri tarafından üretilmiştir. 1990'lardan itibaren ilk kez sivil hayatın içinde kullanılmaya başlanan bu sönümleyici sistemler üzerine ilk araştırmalar Amerika'daki üniversite ve araştırma merkezleri tarafından yapılmıştır (Taylor ve Duflo, 2003; Taylor, 2007).



Şekil 3.3 ABD Hava Kuvvetlerinde test edilen 200 tonluk viskoz akışkanlı sönümleyici (Taylor ve Duflo, 2003).

1990-1993 yılları arasında Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER) tarafından yapılan deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda viskoz akışkanlı sönümleyici sistemlerin kullanım alanları, askeri bombardıman ve bekçi uçakları; füzeler, köprüler ve binalar olarak çeşitlendirilmiştir. İnşaat mühendisliği alanındaki kullanımına dair ilk teori ise Constantinou tarafından 1992 yılında ortaya konulmuştur.

¹ Hollandalı Christiaan Huygens, sistemi ilk kez, barutun yanması ile pistonun hareketi sağlanan bir arabada denemiştir. Kapalı bir silindir içinde patlayan barut, kayabilen bir pistonu etki ederek pistonun hareket etmesini sağlamaktaydı [1].

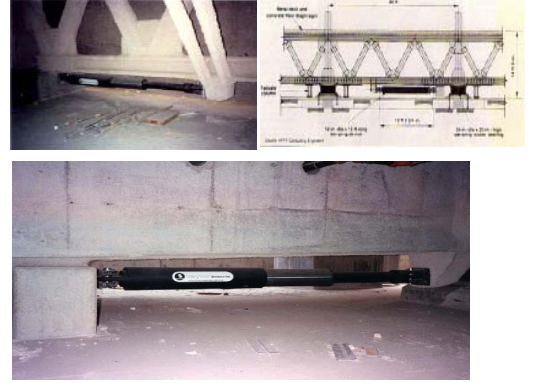
Sistemin esas gelişimi, El Centro (1940) deprem kaydı kullanılarak, % 33'lere varan büyük sönümleme oranları elde edilen çelik çerçeve deneyleri ve dinamik analizlerinden sonra olmuştur (Taylor ve Dufflot, 2003).

3.3 Viskoz Akışkanlı Sönümleyici Sistemlerin Ülkelere Göre Kullanımları

3.3.1 ABD

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Amerika'daki ilk kullanımı otel binalarında olmuş, daha sonra otel binalarının yanına ofis binaları eklenmiştir. Sönümleyiciler, **2000** yılından itibaren köprülerde, **2002** yılından itibaren de tarihi yapıların güçlendirilmesinde kullanılmıştır. Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin sismik taban yalıtımıyla birlikte kullanımı ise **2003** yılında başlamıştır (Taylor Devices, 2009).

1994 yılında güçlendirilen *The San Bernardino County Medical Center* (Los Angeles-California) binasına 184 adet Chevron tipi lineer olmayan viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir (Şekil 3.4). Yapıda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyicinin pistonunda meydana gelecek yerdeğiştirmenin en büyük değerinin $\Delta = \pm 61$ mm olacağı öngörülmüştür (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.4 The San Bernardino County Medical Center ve yapıda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyici (Taylor Devices, 2008).

1996 yılında güçlendirilen 4 katlı tarihi *Hotel Woodland* (Woodland-Colorado) binasına 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 50$ mm) (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Hotel Woodland ve yapıda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyici [2].

2000 yılında tamamlanmış olan *Triborough Bridge*'de (New York) 80 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 152$ mm) (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Triborough Bridge [3].

2000 yılında tamamlanmış olan 38 katlı *111 Huntington Avenue*'de (Boston) rüzgar etkisinin azaltılması amacıyla 60 adet alt dirsek tipi ve diyagonal tip viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 101$ mm) (Şekil 3.7) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.7 111 Huntington Avenue ve yapıda kullanılan sönümleyiciler [2; 3; 4; FEMA,2003].

2000 yılında yapılmış olan 37 katlı *Yerba Buena Tower*'da (San Francisco) sismik enerjinin yutulması amacıyla ters dirsek tipi 20 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 125$ mm) (Şekil 3.8) (Bozorgnia, ve Bertero, 2004; MCEER, 2009; Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.8 Yerba Buena Tower (Bozorgnia ve Bertero, 2004; MCEER, 2009).

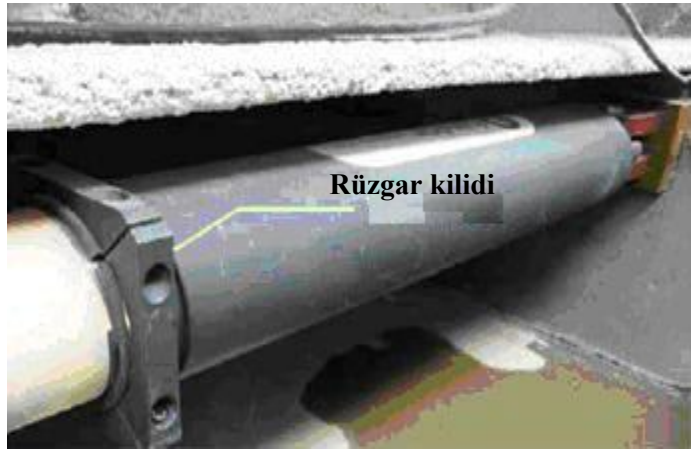
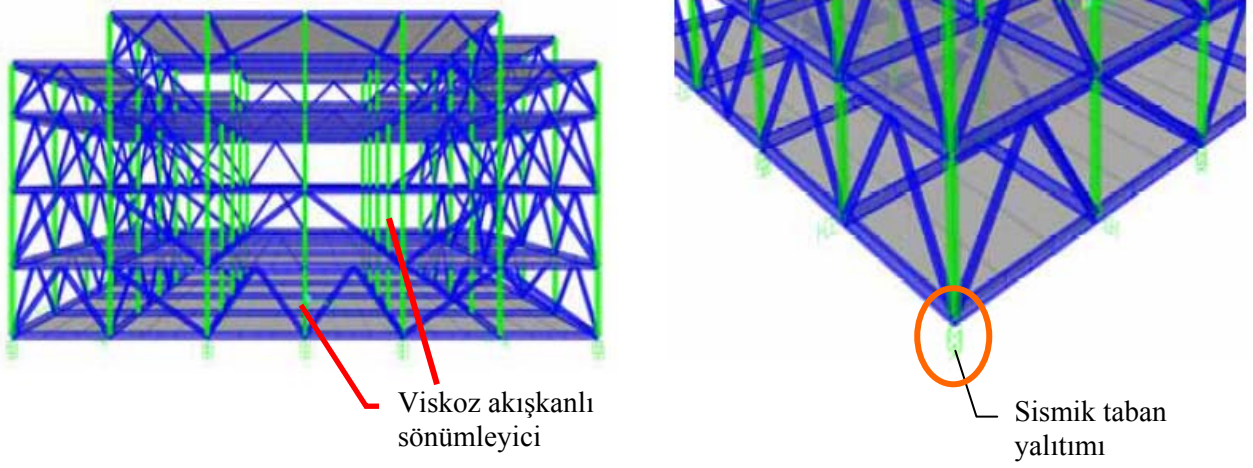
2002 yılında tamamlanmış olan *Boise Airport*'a (Boise-Idaho) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 127$ mm) (Şekil 3.9) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.9 Boise Airport [7].

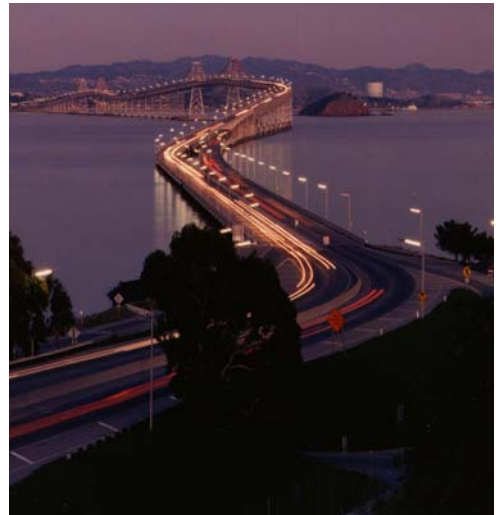
2004 yılında tamamlanmış olan *Los Angeles Regional Transportation Management Center*'da rüzgarda otomatik olarak kilitlenebilen 25 adet viskoz akışkanlı sönümleyici ($\Delta = \pm 660$ mm) sismik taban yalıtım elemanı ile beraber kullanılmıştır. (Şekil 3.10) (Taylor Devices, 2009; Hussain ve AlSatari, 2008).





Şekil 3.10 Los Angeles Regional Transportation Management Center [8; Hussain ve AlSatarı, 2008].

2004 yılında güçlendirilen 1950 yapımı *Richmond-San Rafael Bridge*'in (Richmond-Virginia) sismik yüklere dayanımı 28 adet viskoz akışkanlı sönümleyici ve ilave olarak sismik taban yalıtımı ile arttırılmıştır ($\Delta = \pm 965$ mm) (Şekil 3.11) (Taylor Devices, 2009).





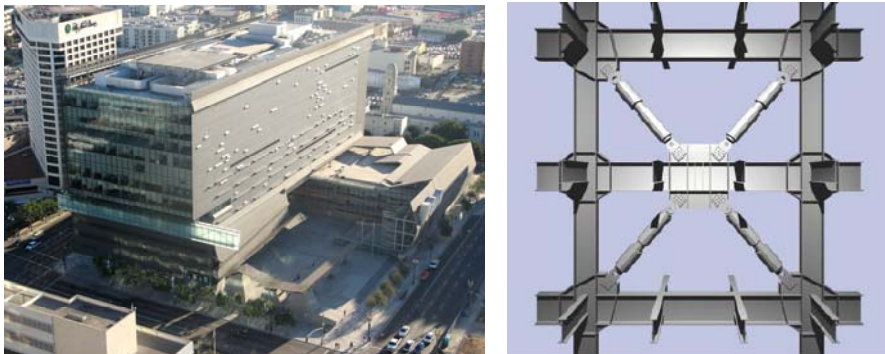
Şekil 3.11 Richmond-San Rafael Bridge [9; 10].

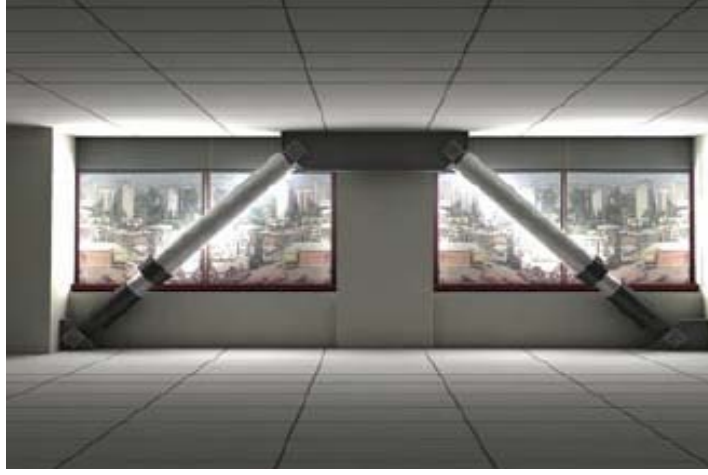
2007 yılında tamamlanan *Don Pedro High School*'a (Groveland-Florida) 8 adet Chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil 3.12) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.12 Don Pedro High School ve yapıda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyiciler [11].

2008 yılında tamamlanmış olan *California Dept. of Transportation District 4 Headquarters*'da (Oakland) 231 adet diyagonal tip viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 125$ mm) (Şekil 3.13) (Taylor Devices, 2009).





Şekil 3.13 California Dept. of Transportation District 4 Headquarters ve yapıda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyiciler [12].

2009'da kullanıma açılacak olan 250 W55 Street binasında (New York) 40 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılması planlanmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil 3.14) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.14 250 W55 Street binası [2].

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin ABD'deki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir.

3.3.2 Çin

Viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin Çin'de ilk kullanımı 1999 yılında bir demiryolu istasyonunda olmuştur. Depremlerin sıkça yaşandığı ülkelerden biri olan Çin'de bu sönümleme sisteminin kullanımına, özellikle nükleer santrallerde oldukça fazla

rastlanmaktadır. Çin’de otel, ofis binaları ve stadyumlarda kullanılan bu sistem, **2007** yılından sonra köprülerde yoğun olarak kullanılmaya başlamıştır (Taylor Devices, 2009).

2007 yılında tamamlanmış olan *Jianguyin Bridge*’e (Jiangsu Province) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici eklenmiştir ($\Delta = \pm 1000$ mm) (Şekil 3.15). Dünyanın 5. en uzun köprüsü olma özelliğine sahip yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler ile araç kaynaklı titreşimlerin de azaltılması sağlanmıştır (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.15 Jianguyin Bridge [13].

2007’de tamamlanan ve dünyanın en uzun kablo halatlı köprüsü olma özelliğine sahip *Sutong Changjiang River Bridge*’de (Sanghai) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 850$ mm) (Taylor Devices, 2009).

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Çin’deki diğer uygulama örnekleri Ek 1’de verilmiştir.

3.3.3 Endonezya

Endonezya’da viskoz akışkanlı sönümleyicilerin uygulandığı ilk ve tek yapı **2008** yılında tamamlanmış, 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici eklenmiş olan *Suramadu Bridge* (Surabaya Madura)’dır ($\Delta = \pm 450$ mm) (Şekil 3.16) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.16 Suramadu Bridge [14].

3.3.4 İtalya

İtalya’da viskoz akışkanlı sönümleyicilerin uygulandığı ilk ve tek yapı 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyicinin yerleştirildiği, **2008** yılında tamamlanmış olan *Steel Mill Project* (Udine)’dir ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil 3.17) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.17 Steel Mill Project [2].

3.3.5 Japonya

Viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin Japonya’da kullanımı genellikle ofis binalarında olmasına rağmen sisteme ait ilk yapı **2000** yılında *Tokyo Rinkai Hospital*’da sismik taban yalıtım elemanı ile birlikte kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Taylor Devices, 2009).

2007’de tamamlanmış olan *JR Tokai Shin Yokohama Station*’a (Tokyo) 377 adet viskoz akışkanlı sönümleyici eklenmiştir ($\Delta = \pm 50$ mm) (Şekil 3.18). Toplam 100 000 m² alana sahip 19 katlı yapı, otel, istasyon ve ofis gibi birimleri içermektedir (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.18 JR Tokai Shin Yokohama Station [15].

2008 yılında tamamlanmış olan *Nagoya-Port Government Office Main Building*’de (Nagoya) 20 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil 3.19). 9 katlı betonarme binanın toplam alanı 15 264 m²’dir (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.19 Nagoya-Port Government Office Main Building [16].

Ayrıca sismik açıdan çok aktif bir ülke olması nedeni ile sistem, elektrik istasyonlarında oldukça fazla kullanılmıştır. Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Japonya’daki diğer uygulama örnekleri Ek 1’de verilmiştir (Taylor Devices, 2009).

3.3.6 Kuzey Kore

2007’den itibaren kullanılan bu sistem, 2008 yılında yapılan *Kimpo Airport Phase I* haricinde, sadece köprülerde uygulama alanı bulmuştur.

2007’de tamamlanan *New Yang Soo Bridge*’e (Yangpyeong) 34 adet viskoz akışkanlı sönümleyici eklenmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil 3.20). 2180 m uzunluğundaki kutu kesitli çelik köprüde sönümleyiciler ile deprem ve rüzgar bazlı titreşimlerin azaltılması amaçlanmıştır (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.20 New Yang Soo Bridge [17].

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Kuzey Kore'deki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir

3.3.7 Güney Kore

Viskoz akışkanlı sönümleme sistemi **2005** yılından itibaren kullanılmaya başlanılmışsa da, sadece köprülerde uygulama alanı bulmuştur.

2006 yılında tamamlanmış olan *Lee Ho Grand Bridge*'e (Yeoju) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici eklenmiştir ($\Delta = \pm 310$ mm) (Taylor Devices, 2009).

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Güney Kore'deki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir

3.3.8 Meksika

Viskoz akışkanlı sönümleyiciler **2002** yılından itibaren otel, konut ve ofis binalarında kullanılmaya başlanmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan tatil ve eğlence merkezi *Marena Project*'de (Acapulco) 52 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 50$ mm) (Şekil 3.21) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.21 Marena Project [18].

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Meksika'daki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir

3.3.9 Romanya

Romanya'da, viskoz akışkanlı sönümleme sisteminin ilk örneği **2000** yılında güçlendirme alanında sergilenmiştir. Daha sonra başta tarihi yapılar olmak üzere ofis ve kamu binalarında kullanılmıştır.

2008'de güçlendirilen *Academy for Economical Studies II Project*'te (Bucharest) 18 adet viskoz akışkanlı sönümleyici ile birlikte 80 adet sismik taban yalıtım elemanı eklenmiştir ($\Delta = \pm 500$ mm) (Şekil 3.22) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.22 Academy for Economical Studies II Project [19].

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Romanya'daki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir.

3.3.10 Tayvan

Tayvan'da viskoz akışkanlı sönümleme sistemi uygulamalarına **2001** yılında başlanmıştır. Özellikle yüksek katlı ofis bina ya da bloklarında kullanılmış olan bu sistem hastane, müze, fabrika ve köprülerde de uygulama olanağı bulmuştur.

2002 yılında tamamlanmış olan *Buddhist Headquarters*'a (San Hava) 60 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil 3.23) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.23 Buddhist Headquarters (Hwang, 2002).

2004’de kullanıma açılan *Taishin Bank Headquarters*’ta (Hsin Chu City) 72 adet diyagonal tip viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil 3.24) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.24 Taishin Bank Headquarters’ın iç ve dış çerçevesinde kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyiciler [20; Hwang, 2002].

2004 yılında güçlendirilen *Uni-President Headquarters*’a (Taipei) 52 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil 3.25). Sönümleyiciler yapının sadece üst 2 katında ve diyagonal tipte kullanılmış olup, deprem enerjisinin yutulması hedeflenmiştir (Taylor Devices, 2009).

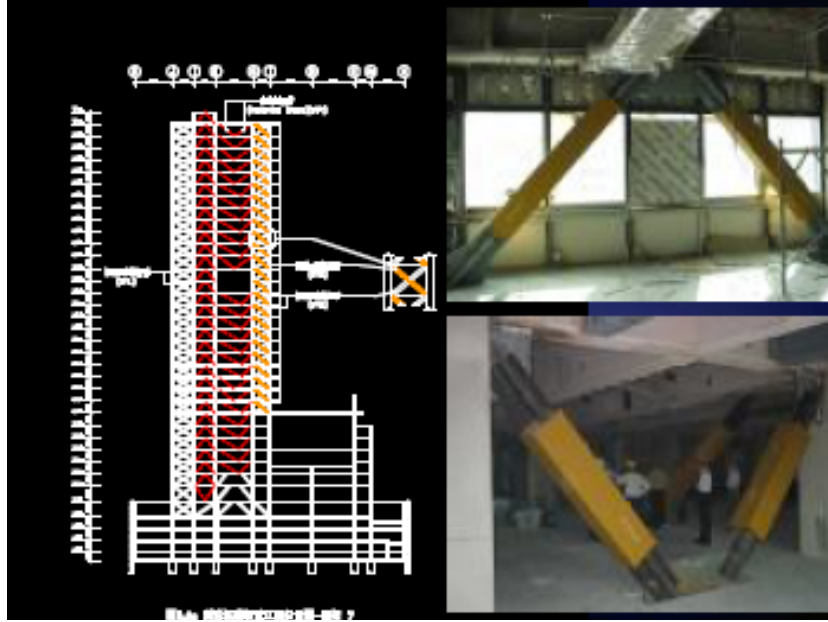


Sönümleyici
eklenen
katlar



Şekil 3.25 Uni-President Headquarters [21].

2008 yılında tamamlanmış olan 36 katlı çelik sistem *Kelti Hsin-Yi Building*'te (Taipei) 80 adet viskoz akışkanlı sönümleyici burkulması engellenmiş diyagonaller ile birlikte, taşıyıcı sistemin performansı arttırmak amacıyla kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil 3.26) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.26 Kelti Hsin-Yi Building (Hwang, 2002).

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Tayvan'daki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir

3.3.11 Birleşik Krallık

2001 yılında uygulanmaya başlanan viskoz akışkanlı sönümleme sistemleri sadece mevcut köprülerin güçlendirilmesinde kullanılmış, başka yapılarda uygulama olanağı bulamamıştır.

2001'de güçlendirilmiş *Millennium Bridge*'te (Londra) 37 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 377$ mm) (Şekil 3.27) (Taylor Devices, 2009).





Şekil 3.27 Millennium Bridge, eski-yeni hali ve kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyici [2;22].

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Birleşik Krallık'taki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir

3.3.12 Venezuela

Venezuela'da bu sistem, ilk defa **2003** yılında yüksek katlı ofis binalarında uygulanmaya başlamıştır.

2003 yılında tamamlanmış *Pietrasanta Residences*'e (Barquisimeto) 24 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm) (Taylor Devices, 2009).

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Venezuela'daki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir.

3.3.13 Yeni Zelanda

2003 yılında ilk kez konutlarda uygulanmaya başlanan viskoz akışkanlı sönümleyiciler, daha sonra ofis binalarında da kullanım olanağı bulmuştur.

3.3.14 Kanada

Kanada'da viskoz akışkanlı sönümleyiciler ilk kez **1997** yılında çelik ve titanyum fabrikasında rüzgar yükü ile sismik yükün karşılanması amacıyla kullanılmıştır. Sistem daha sonra ofis ve depolarda uygulanmıştır.

2007 yılında tamamlanmış olan *Whalley Reservoir*'da (Surrey) 17 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 125$ mm) (Şekil 3.28) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.28 Whalley Reservoir [23].

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Kanada'daki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir

3.3.15 Uruguay

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin kullanıldığı ilk ve tek yapı **2007** yılında tamamlanmış olan *Nueva Palmira Wharf* (Montevideo)'dır. 6 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil 3.29) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.29 Nueva Palmira Wharf [24].

3.3.16 Peru

Peru'da viskoz akışkanlı sönümleyiciler ile yapılmış olan ilk ve tek yapı **2006** yılında güçlendirilen *Jorge Chavez International Airport Central Tower* (Lima)'dır. Yapıda 42 adet

Chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici sismik enerjinin yutulması amacıyla kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil 3.30) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.30 Jorge Chavez International Airport Central Tower [25].

3.3.17 Fransa

2005 yılında kullanılmaya başlanan viskoz akışkanlı sönümleme sistemi sadece köprülerde uygulanma alanı bulmuştur.

2006 yılında tamamlanmış olan *Bercy Tolbiac Bridge*'e (Paris) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 65$ mm) (Şekil 3.31) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.31 Bercy Tolbiac Bridge [26]

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Fransa'daki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir

3.3.18 Avustralya

İlk kez **2005**'de *Hammersly Wharf*'ta uygulanan viskoz akışkanlı sönümleyiciler, ikinci kez de **2005** yılında tamamlanmış olan *Jackson Street Bridge* (Fyshwick)'de uygulanmıştır. 2 adet viskoz akışkanlı sönümleyici sismik enerjinin yutulması amacıyla yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil 3.32) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.32 Jackson Street Bridge [27].

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin Fransa'daki diğer uygulama örnekleri Ek 1'de verilmiştir

3.3.19 Kıbrıs

İlk ve tek örnek **2005** yılında tamamlanmış olan *Cyprus Olympic Building* (Nicosia/Kıbrıs Rum Kesimi)'dir. Yapıda 52 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 50$ mm) (Taylor Devices, 2009).

3.3.20 Yunanistan

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin kullanıldığı olan ilk ve tek yapı **2003** yılında tamamlanmış olan *Peace & Friendship Stadium* (Atina)'dır. Yapıya 128 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 85$ mm) (Şekil 3.33) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.33 Peace & Friendship Stadium [28].

3.3.21 Dominik Cumhuriyeti

İlk ve tek örnek 18 katlı çelik sistem *Intercentro* (Santa Domingo)'dur (**2003**). Sismik enerjinin sönümlenmesi amacıyla 48 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 50$ mm) (Şekil 3.34) (Taylor Devices, 2009).



Şekil 3.34 Intercentro [29]

3.3.22 Şili

2000 yılında tamamlanmış olan ilk ve tek yapı 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyicinin kullanıldığı *Amolanas Bridge* (Santiao)'dır ($\Delta=\pm 200$ mm) (Şekil 3.35) (Taylor Devices, 2009).

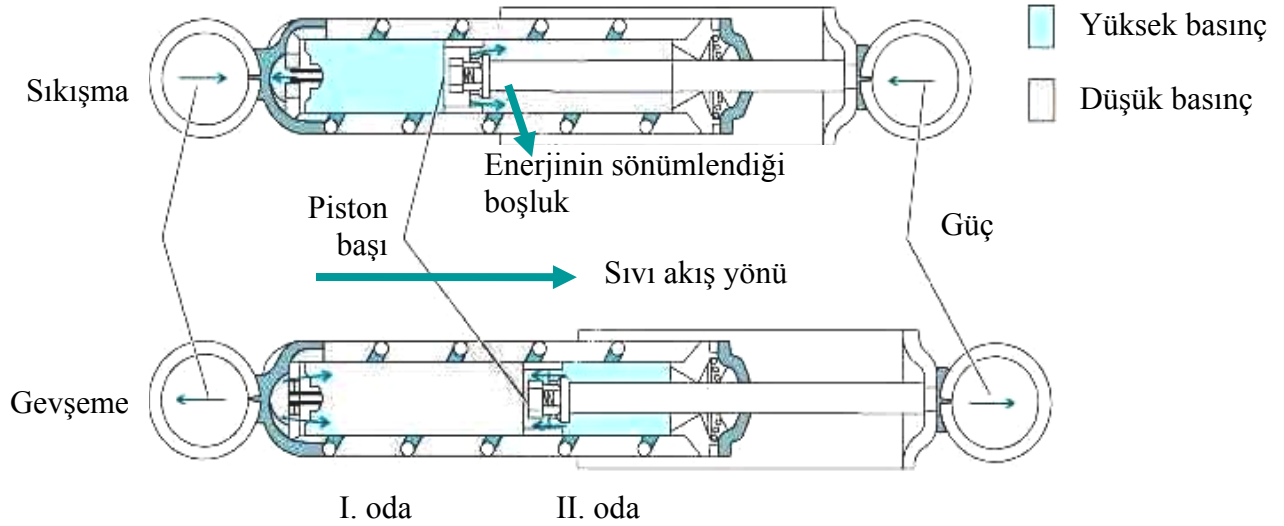


Şekil 3.35 Amolanas Bridge [30].

3.4 Viskoz Akışkanlı Sönümleyicilerin Özellikleri

Viskoz akışkanlı sönümleyiciler arabalardaki şok emici amortisörlere benzer. Bu cihazların içindeki akışkanlar yük yavaş etkidiğinde *düşük*, hızlı etkidiğinde *yüksek dayanımlıdır*.

Viskoz akışkanlı sönümleyiciler, delikleri olan bronz başlıklı paslanmaz çelik bir piston ve içindeki akışkan silikon yağ vasıtası ile çalışmaktadır. Deliklerden geçecek olan sıvı, -40°C ile 70°C arasında çalışmaya izin verecek pasif bir termostatla birlikte piston içine yerleştirilmektedir. Sönümleyici basınç kuvveti aldığı anda, piston soldan sağa hareket ederek sıvının ikinci odadan birinci odaya doğru hareket etmesini sağlamaktadır. Sönüm kuvveti ise bu odalardaki basınç farkı ile orantılı olarak değişmektedir. Sönümleyicide, piston kolunun hareket hızı ve piston çubuğunun alanı ile bağlantılı olarak I. odadaki sıvı hacmi azalmakta, hacimdeki azalma sayesinde II. odada oluşan boşlukta enerji sönümlenmektedir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 Viskoz akışkanlı sönümleyicinin çalışma prensibi [12].

Teorik olarak viskoz akışkanlı sönümleyiciler, yapıya etkiyen yükler *elastik bölgede kaldığı sürece* sönüme katkıda bulunmaz. Bu sistemde sönüm kuvvetleri ve yerdeğiştirme birlikte ele alınmak zorundadır (Aydın, 2005).

3.4.1 Viskoz Akışkanların Özellikleri

Viskoz akışkanlı sönümlenme sisteminin en önemli bileşenlerinden biri olan viskoz akışkanlar, uzay araştırmalarında keşfedilmiş patentli ileri teknoloji ürünleridir (Derdiman ve Mirkelam, 2007). Viskoz akışkanlar, genellikle silikon veya benzeri tipteki mineral yağ bileşiklerinden meydana gelmekle birlikte son zamanlarda gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda, çeşitli manyetik ürünlerin (demir tozları gibi) kullanılması sonucunda üretilen Magneto-Rheological (MR) sıvılardan da oluşabilmektedir.

3.4.1.1 Silikon- Mineral Yağ Bileşikleri (Akrilik Kopolimer)

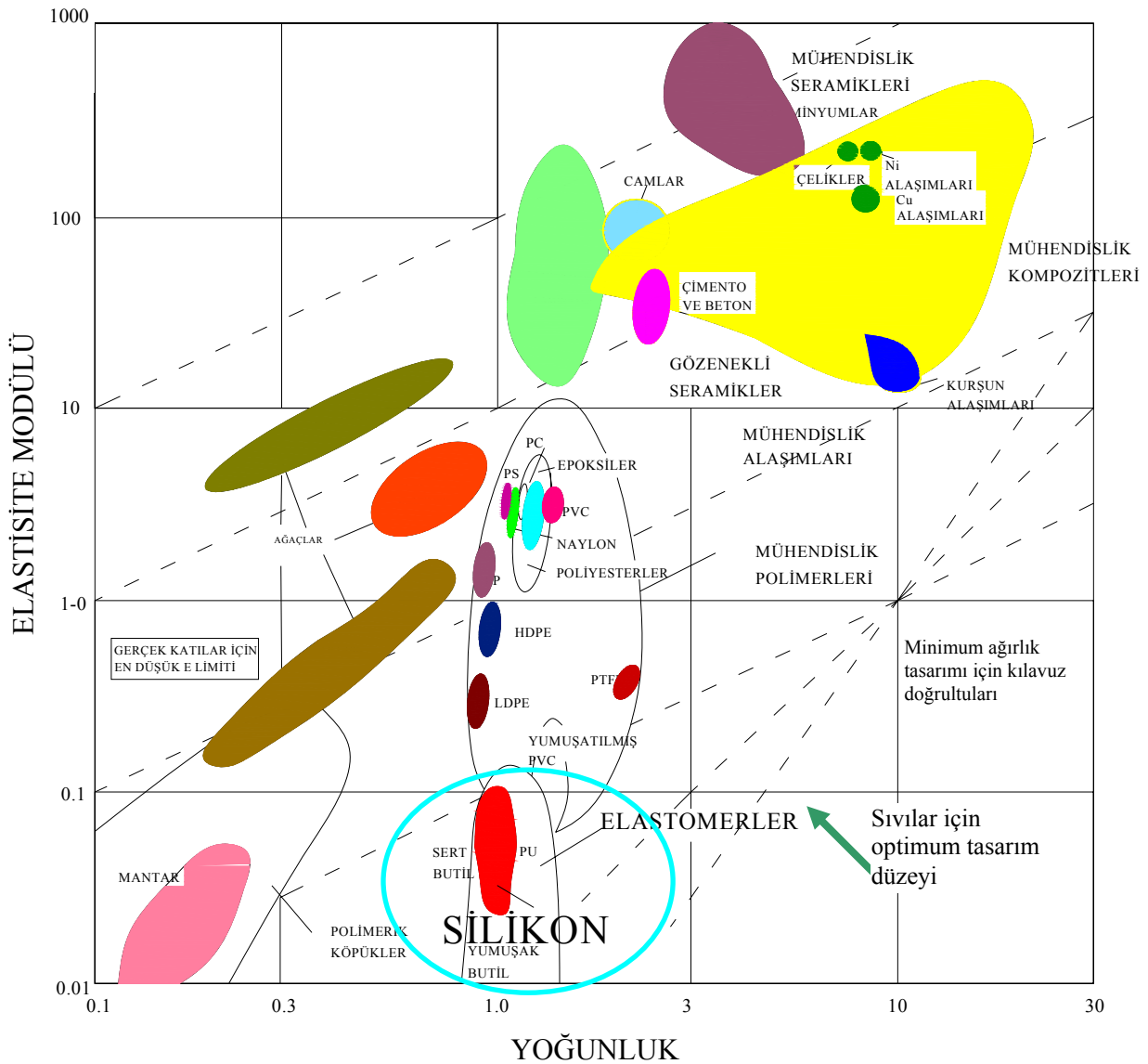
II. Dünya Savaşı sırasında, askeri uygulamalarda istenen yüksek ısı dayanımı ihtiyacını karşılamak üzere geliştirilen silikonun yapısına, en fazla yanıcı element olarak kullanılan karbon (C) yerine², ardışık olarak dizilmiş silisyum (Si) ve oksijen (O) atomları yerleştirilmektedir [34]. Silikon bileşiklerinin çoğunda silisyum atomlarına bağlı metil ya da fenil grupları yer almaktadır.

Düşük yoğunluklu silikonlar en çok sıvı, reçine veya elastomer biçiminde üretilmektedir. Silikonun, elastisite modülü-yoğunluk diyagramındaki yeri Şekil 3.37'de verilmiştir.

² Silikonun da içinde bulunduğu polimer malzeme gruplarında temel bağlayıcı element olan karbon (C), diğer elementlerle arasında Wan Der Waals bağları olan bileşikler meydana getirmektedir.[5]

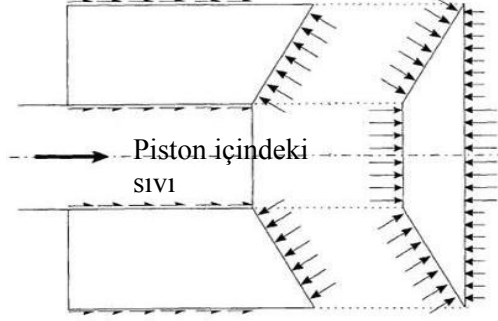
Silikonların en fazla üretimi yapılan sıvı grupları, oldukça kararlı maddelerdir; su, ısı ve yükseltgenlerden (demir v.b gibi oksitleyici maddeler) etkilenmemektedir. Çok iyi elektrik yalıtkanı olmalarının yanı sıra hidrolik (Polyglycol Ether) ve seyreltici sıvılarla (eter, su vb.), dokuma ve kağıt gibi çeşitli malzemelerin su geçirgenliğini azaltmakta kullanılmaktadır.

Sıvı silikonlar, normal basınç ve sıcaklıklarda moleküllerinin birbirlerine çok daha yakın konumda olması ve moleküler çekim kuvvetlerinin daha fazla olması nedeniyle, gaz silikonlardan daha fazla tercih edilmektedir. Ayrıca sıvı silikon molekülleri, gaz formun tersine, tersinir yükler altında, birbirleri arasındaki *kayma şekildeğiştirmelerine* karşı koyabilmektedir (Şekil 3.38). Bunun yanı sıra sıvı silikonlar, daha fazla elastik şekildeğiştirme yeteneği ve tekrar eski konumuna gelebilme özelliği ile de katı silikonlara göre daha fazla tercih edilmektedir (Rıbakov ve Gluck, 2002; Karagöz, 2005).



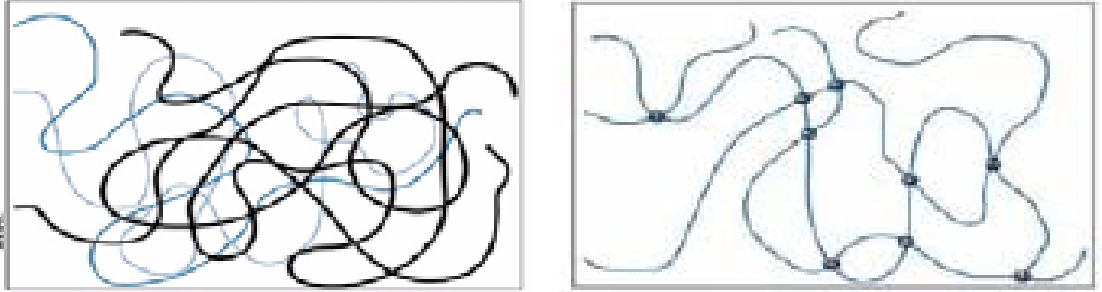
Şekil 3.37 Silikonun (katı-sıvı) diğer malzeme gruplarıyla karşılaştırmalı elastisite modülü-yoğunluk grafiği (Karagöz, 2005).

Sıvı silikonlar hemen hemen hiç sıkıştırılmaz, bu nedenle meydana gelebilecek yerdeğiştirmeyi sistemin kendisine iletirler. Şekil 3.38’da da piston içindeki sıvının, piston kolunda meydana gelen gerilmeyi sistemin kendisine iletmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.38 Piston içindeki sıvının hareketinin şematik gösterimi (Makris ve diğ., 1993).

Sıvı silikon moleküllerinin yan yana lineer ya da çapraz zincir bağlı olmasından dolayı, sisteme gerilme uygulandığında moleküllerin biri diğerine göre görece olarak hareket etmekte ve sistemde bir hareket bütünlüğü meydana getirmektedir (Şekil 3.39). Ayrıca sıvı silikonda oluşan molekül hareketlerinin rastgele olmasından dolayı, moleküller sadece *eksenel kuvveti* taşımaktadır.



Şekil 3.39 Moleküllerin birbirleriyle oluşturduğu lineer bağlı dallanmış ve çapraz bağlı dallanmış zincirler [5].

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerde, yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, silikonun sıvı hali tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra sönümleme sisteminde özellikle silikon ve/veya mineral yağın³ tercih edilmesinin sebepleri de aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Yoğunluğunun düşük olması,
- Sürtünme katsayısının aşırı düşük olması,
- Sıkıştırılmaz olması,

³ Mineral yağ, bazı kaynaklarda silikon yağ ile aynı anlamda kullanılmıştır. Yeraltında kaya tabakaları arasında bulunan petrol esaslı yağlar, mineral yağlar olarak sınıflandırılır. Petrokimyasal madde adıyla da anılan mineral yağ grubunda benzin, mazot, gazyağı, parafin mumları v.b. yer almaktadır.

- Sıvının normal koşullarda hareket yeteneğinin fazla olması,
- Çok büyük elastik şekil değiştirmelere izin verebilmesi,
- İçinde bulunduğu malzemeyi korozyona uğratmaması,
- Kısa ve uzun dönemde toksik etkisinin olmaması,
- Yanıcı olmamasıdır.

Silikon yağ (akrilik kopolimer⁴) diğer malzemelerle karşılaştırıldığında;

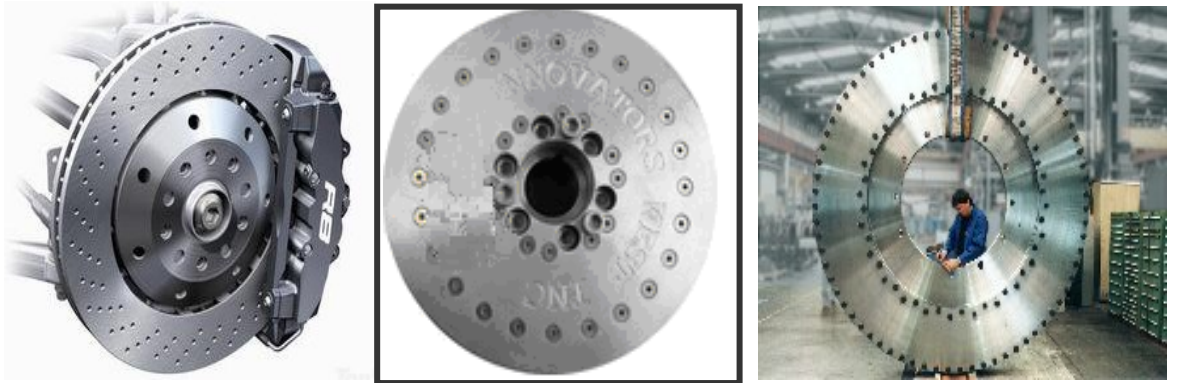
- Makro moleküller arasında kuvvetli bağlar oluşturarak üç boyutlu ağ yapısı bulunması,
- Darbe sönümleme özelliğinin olması,
- Sıcaklığın artırılmasıyla aşırı şekil değiştirip, daha sonra tekrar eski konumuna geri dönmesi özelliğiyle farklılaşmaktadır.

Silikon yağın tüm avantaj özelliklerine karşın bazı dezavantaj özellikleri de mevcuttur. Silikon yağ,

- Piston içindeki deliklerin çapı ve sayısı,
- Sistemde meydana gelen yer değiştirme ihtiyacının fazlalığı,
- Ortamın sıcaklığı

'na bağlı olarak zaman içerisinde fiziksel ve moleküler değişim gösterdiği otaya çıkmıştır.

Silikon yağ, viskoz akışkanlı sönümleyiciler içinde kullanılmaya başlandıktan sonra yapılan çalışmalar sonucunda; piston başında çapları 0.5-50 mikron aralığında değişen (Şekil 3.40) mikrokanalların çapının *artmasıyla* silikon yağ akış hızının *azaldığı*, 0.5 mikrondan daha küçük mikrokanallarda ise çapın değişiminin hızı çok *etkilemediği* tespit edilmiştir.



Şekil 3.40 Çeşitli piston başları ve silikon yağ geçiş kanalları [32; 33]

⁴ Polimerlere değişik karakteristiklerin kazandırılması amacıyla başka bir polimerin eklenmesiyle oluşan yeni polimere verilen isimdir. Polimerler birbirine monomerleri aracılığıyla bağlanmaktadır. Detaylı bilgiler Ek 2’te verilmektedir.

Pistonda sönümlemeyi sağlayan silikon yağ üzerinde yapılan tekrarlı yükleme deneyleri sonucunda oluşan renk değişimleri aşamalarıyla birlikte Şekil 3.41’de gösterilmiştir [35].

Normal durumda silikon yağın görünümü	Silikon yağın değişmesi gerektiği durum
	
Pistonun hareket ettiği durumda silikon yağın görünümü	Sistem çalışmaz duruma geldiğinde silikon yağın görünümü
	

Şekil 3.41 Silikon yağın görünümleri [35].

3.4.1.2 Magneto-Rheological (MR) Akışkanlar

Magneto-Rheological (MR) akışkanların keşfi 1940'lara dayanmakla birlikte genellikle bu konudaki araştırmaların çoğu 1990 ve sonrasında gerçekleştirilmiş olup, akışkanların üretimi ve geliştirilmesi ise ABD'de bulunan Lord Corp. ile Nevada Üniversitesi tarafından sağlanmıştır.

Genellikle aktif ve yarı aktif viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinde kullanılan MR akışkanlar, bir taşıyıcı akışkan içerisine (silikon, madeni yağ vs.) belirli oranda eklenen mıknatıslanma özellikli mikron boyutundaki demir taneciklerinden oluşmaktadır (Şekil 3.42).



Şekil 3.42 Tipik bir MR viskoz akışkanlı sönümleyici [31].

MR akışkanlar bazı önemli avantajları sayesinde son yıllarda teknolojiye geniş uygulama alanı bulmaktadır. Bu avantajları arasında;

- Tepki süresinde kısılma,
- Yüksek dinamik akma gerilmesi,
- Düşük plastik viskozite,
- Geniş sıcaklık aralığında çalışabilme (-40 °C - 150 °C),
- Kolay ve homojen karışım oluşturma,
- Homojen yapısını koruma

gibi özellikler sayılabilir (Şahin ve diğ., 2007).

MR sıvılar manyetik veya elektrik alana maruz kaldıklarında *sıvı halden yarı-katı hale birkaç milisaniyede geçebilmekte*, etkinin kalkmasıyla aynı anda ve aynı hızda sıvı önceki durumuna geri dönebilmektedir (Ayrıca bu sıvılar imalat ve kullanımdan kaynaklanabilecek kirlenmelerden olumsuz etkilenmezler. Bunun yanında MR sıvıların toksik etkisi olmayıp sıvının kararlılığını sağlamak üzere çeşitli katkı maddeleri de güvenle kullanılabilir). MR sıvının, manyetik alanın varlığı ve yokluğuna göre, değişimi Şekil 3.43’de gösterilmiştir.

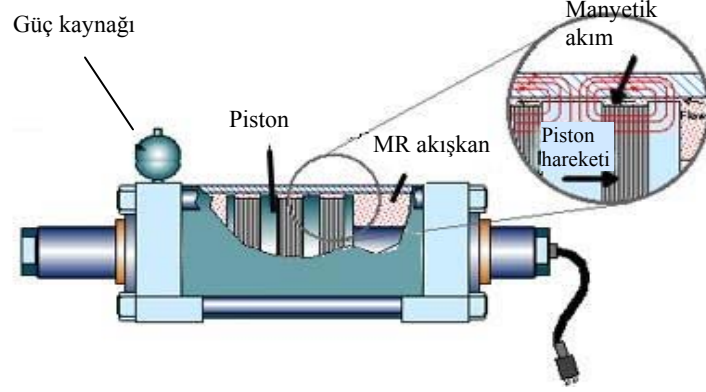


Şekil 3.43 MR sıvıda manyetik alanın varlığına ve yokluğuna göre hareketi [38].

MR akışkanlar dışarıdan manyetik alan uygulanmadığında normal sıvı karakteri (genellikle Newtonian⁵ akışkan davranışı) göstermekte olup, demir tozları sıvı içerisinde rastgele konumlarda bulunmaktadır. Dışarıdan manyetik alan uygulanmasıyla demir tozları, düşey kolonlar (zincir yapı) halinde, tıpkı bir elek görevi görerek akışkanın manyetik alan uygulanan bölgeden geçişini zorlaştırır ve akışa karşı ek bir direnç kuvveti oluşturur. Bu sayede sıvı haldeki akışkanın davranışı değişerek çok yüksek bir viskoziteye sahip yapıya dönüşmektedir. Sıvının viskozitesini, uygulanan manyetik alanın şiddeti kontrol etmektedir (Sodeyama ve

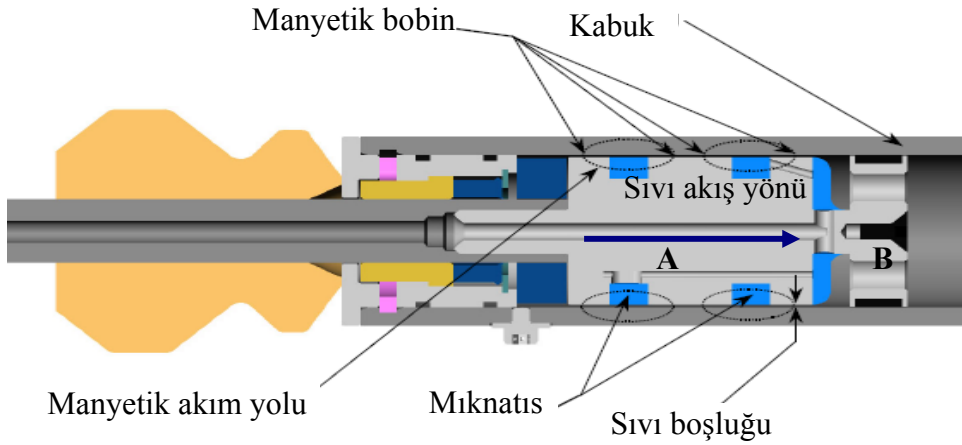
⁵Newtonian akışkanın gerilme-şekildeğiştirme değişimi, orjinden geçen lineer bir doğru ile temsil edilir. Kayma gerilmesi (τ), hız gradyanı (du/dy) ile doğru orantılıdır ($\tau = \mu \cdot du/dy$, μ =Sıvının viskozite sabiti). Bütün gazlar, su, etil alkol, benzin, hexane, süt gibi basit molekül yapısına ve molekül ağırlığına sahip çoğu sıvı Newtonian akışkan grubundadır [6].

Sunakoda, 2003). Pistonun etrafında yer alan MR sıvı, tek ve çift milli MR sönümleyici modelleri için, pistonun sağa veya sola hareketi ile bir odacıktan diğer odacığa geçmeye zorlanmaktadır (Şekil 3.44).



Şekil 3.44 MR akışkanlı viskoz akışkanlı sönümleyici [36].

Silindir bir taraftan sabitlenmiş olup, silindir ortasına konumlandırılmış mil, sağa ve sola hareket edebilmektedir. Bu hareketlerle A veya B bölgesinde bulunan MR sıvı, piston kutbunun etkisi ile hacmin azaldığı bölmeden (basıncın arttığı), hacmin arttığı bölmeye (basıncın azaldığı) doğru hareket eder (Şekil 3.45).



Şekil 3.45 MR sıvının piston içindeki hareketi (Poynor, 2007).

Sıvının hareketi, manyetik alanın durumuna göre şöyle değişir (Kiddy, 2002):

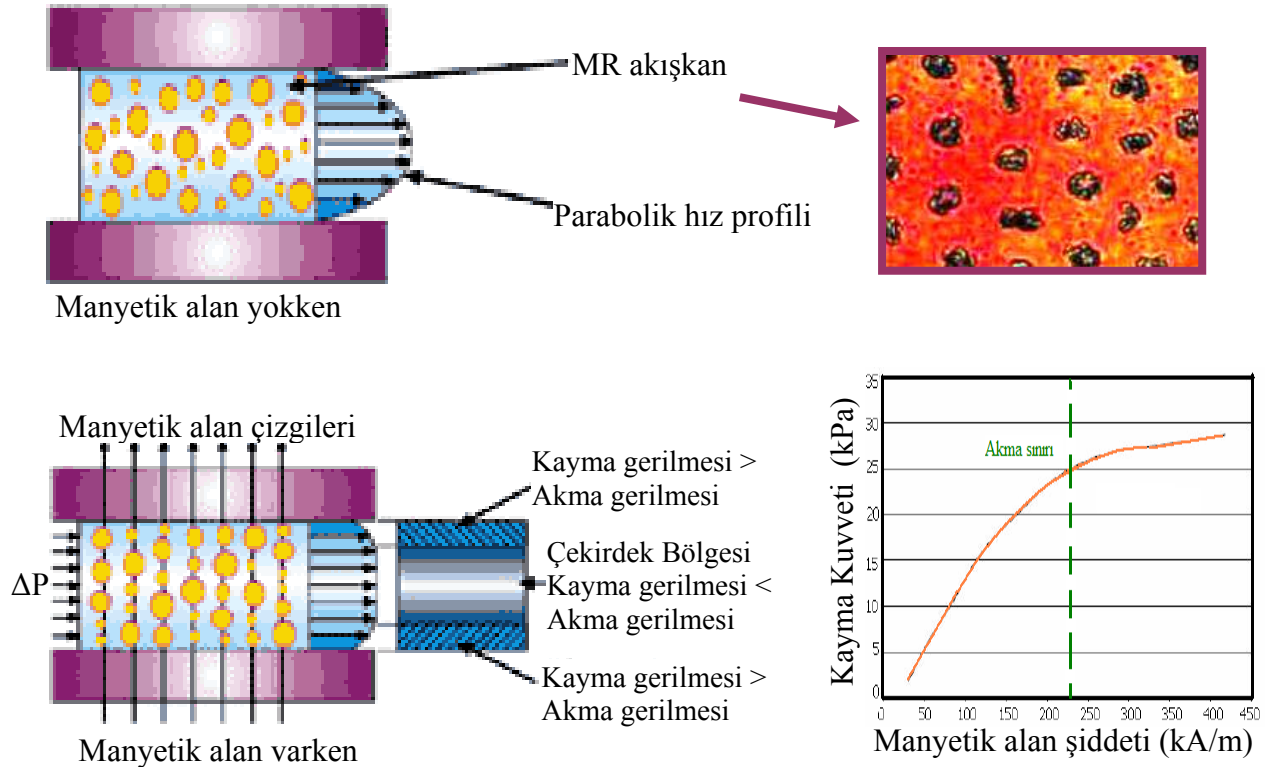
Manyetik alan yok ise;

- Pistonun sol tarafa hareket etmesi durumunda A bölgesindeki basınç artar ve bu bölmeden çıkmaya çalışır.
- Sıvı, A ve B bölgelerinden basınç nedeniyle, piston başına doğru hareket eder ve piston başındaki dairesel kesitli boşluklardan, düşük hava basıncının olduğu odalara akmaya başlar (Şekil 3.45).

- Sıvı geçişine karşı sadece MR sıvısının viskoz özelliklerinden kaynaklanan bir tepki kuvveti oluşur.
- Bu tepki kuvveti, piston hareket hızı ile ilişkili olarak bir sönüm kuvveti oluşturur.

Manyetik alan varsa;

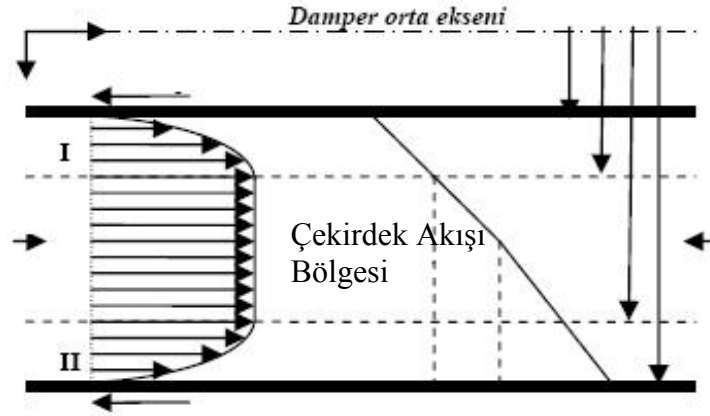
- Pistonun sol tarafa hareket etmesi durumunda A bölgesinde basınç artar ve sıvı bu bölmeden çıkmaya çalışır.
- Sıvı, A ve B bölgelerinden basınç nedeniyle, piston başına doğru hareket eder ve piston başındaki dairesel kesitli boşluklardan, düşük hava basıncının olduğu odalara akmaya başlar.
- Manyetik alan oluşturulduğu için, MR sıvı içindeki mıknatıslanabilen parçacıklar, manyetik akı çizgileri boyunca ve MR sıvının akış yönüne dik olarak dizilirler (Şekil 3.46).
- Pistonun hızı ile orantılı olarak, bu zincir yapıya bir basınç kuvveti uygulanır.
- Basınç yeterince büyük olursa, zincir yapının gösterdiği tepki kuvveti aşılarak, kuvvetin büyüklüğü ile orantılı olarak, MR sıvı A bölgesinden B bölgesine akar.
- Geçiş bölgesindeki basınç kuvveti kaldırılır kaldırılmaz, zincir yapı tekrar oluşur.



Şekil 3.46 MR sıvı içindeki manyetik parçaların mıknatıs etkisinde dizilimi [37].

MR sönümleyicinin davranışını anlayabilmek için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modellerde sıvının geçmeye çalıştığı ve aynı zamanda manyetik alanın oluşturulduğu bölgenin geometrik yapısı önem kazanmaktadır. Özellikle MR sıvının lineer olmayan davranışının, sönümleyici içindeki kanallardan akışı ve bu akışın ne ölçüde basınç düşmesine sebep olduğu önemli bir araştırma konusu olmuştur (Yanga ve diğ. 2002; Engin ve diğ., 2007).

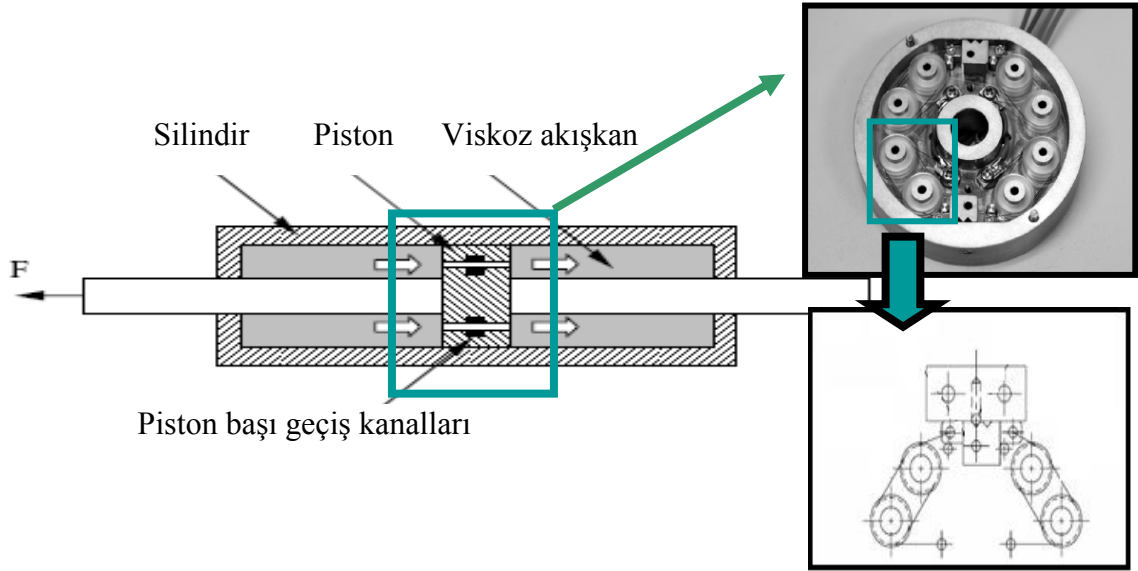
MR sönümleyicilerde akışa karşı iki tür direnç oluşur: Sıvı dar bir kanal kesitinden geçerken oluşan *sürtünme kuvveti* (F_h) ve manyetik alan oluşturulması ile MR sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç sonucu oluşan *tepki kuvvetidir*. Dairesel bir halka kesitte, tipik MR akışkanının hız profili değişimi Şekil 3.47’de görülmektedir. I ve II bölgelerinde, kayma gerilmesi akma gerilmesini aşmıştır. Çekirdek bölge içerisinde herhangi bir hız gradyeni bulunmamakta, akışkan tıpkı katı bir blok gibi akmaktadır (Gad-El-Hak, 2006).



Şekil 3.47 Akış kanalında tipik MR sıvısı kayma gerilmesi dağılımı (Engin ve diğ., 2007).

3.4.2 Pistonda Yer Alan Akışkan Geçiş Deliklerinin Özellikleri

Viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinde en büyük sönümleme etkisini, akışkandan sonra piston üzerindeki delikler sağlamaktadır. Sönümleyici kolu bir harekete maruz kaldığında viskoz akışkan, piston üzerindeki deliklerden zorlanarak bir odadan diğer odaya geçmektedir (Şekil 3.48). Piston kolunun *yavaş* hareketinde sönümleme düzeyi *düşük* iken, hızlı hareketinde daha *büyük* olmaktadır. Çünkü sistem olarak bakıldığında, piston kolu zorlayıcı bir tepki ile hareket etmektedir. Piston koluna iletilen kuvvet nedeniyle oluşan basınç, piston içerisindeki sıvının hemen o anda deliklerden tahliye olmasını sağlayamadığından, zamana ihtiyaç duymaktadır. Gereken bu zaman, basınç etkisinin zamana bağlı olarak sönümlenmesini sağlamaktadır.



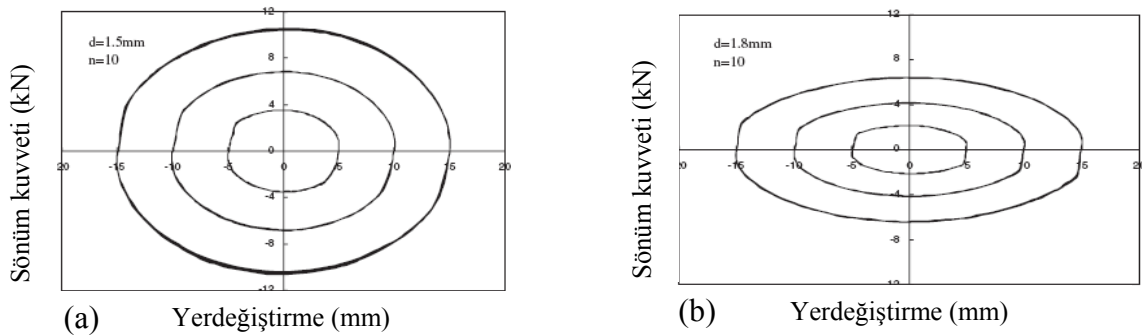
Şekil 3.48 Viskoz akışkan piston üzerindeki deliklerden geçişi (Li ve diğ., 2006; Hou ve diğ. 2007).

Piston başı üzerinde yer alan deliklerin;

- Çapı
- Sayısı
- Konumu

değiştikçe, sönüm kapasitesi değişmektedir.

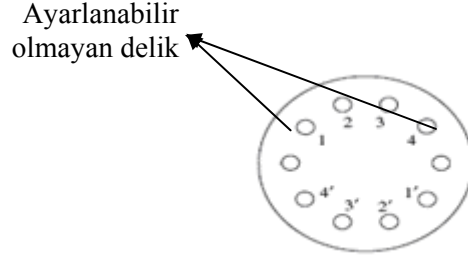
Piston başı üzerindeki delik çapı *büydükçe* viskoz akışkanlı sönümleyicinin sönümleme kapasitesi *azalmaktadır*. Örnek olarak, delik çapının 1.5 ve 1.8 mm olduğu iki durum karşılaştırıldığında, piston kolunun yerdeğiştirmesi her iki sönümleyicide de ± 15 mm olmasına rağmen sönüm kuvvetleri arasında ~ 1.5 kat fark mevcuttur (Şekil 3.49).



Şekil 3.49 Piston başı üzerindeki delik çapının a) 1.5 mm b) 1.8 mm olması durumunda sönüm kuvveti-yerdeğiştirme değişimi (Li ve diğ., 2006).

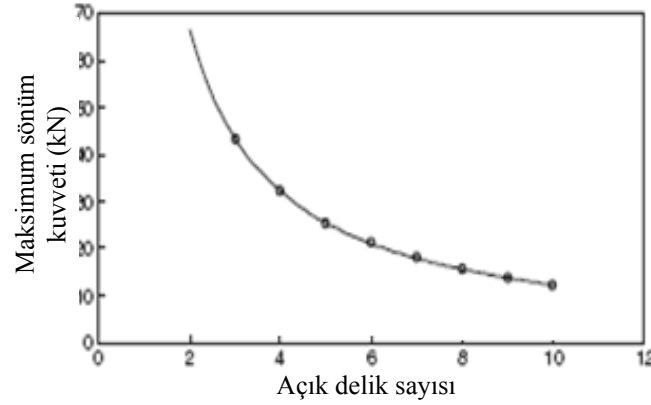
Sönümleme kapasitesi, piston başı üzerindeki deliklerin sayısı ve konumu ile de doğrudan ilişkilidir. Sönüm etkisini araştırmak üzere, Şekil 3.50 de yer alan piston üzerinde 4 üstte, 4

altta ve 2 tanede merkezde olmak üzere toplam 10 delik açılmıştır (Li ve diğ., 2006).



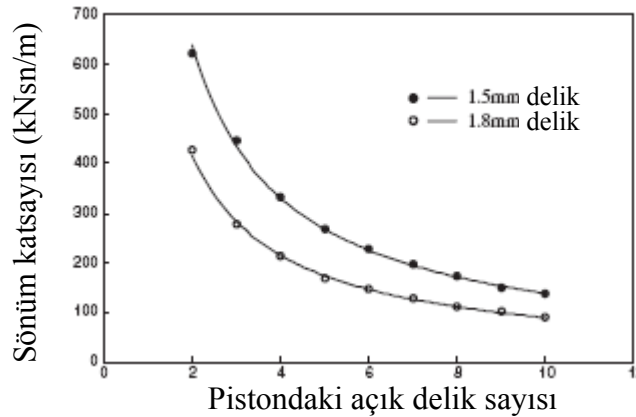
Şekil 3.50 Deliklerin konumu ve sayısı üzerinde araştırma yapılan piston (Li ve diğ., 2006).

Araştırmada piston başı üzerindeki delikler teker teker kapatılmış ve sönümlene yeteneği üzerindeki değişiklikler gözlenmiştir. Sonuç olarak; piston başı üzerindeki açık deliklerin sayısı *azaldıkça* akışkanın hızının ve dolayısı ile sönümlene kapasitesinin *arttığı*, tersine açık deliklerin sayısı *arttığında* ise akışkan hızı ve sönümlene kapasitesinin *azaldığı* tespit edilmiştir (Şekil 3.51).



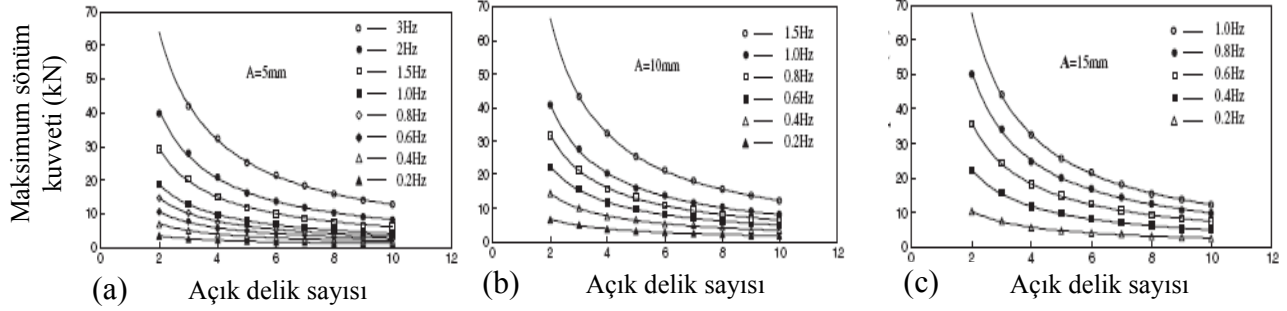
Şekil 3.51 Piston delik sayısı, çapı ve sönümlene kapasitesi arasındaki değişim (Li ve diğ., 2006).

Piston başında akışkanın geçeceği delik sayısı sabit kalmak şartıyla, delik çapı *arttıkça* sönüm katsayısı azalmıştır. (Şekil 3.52).



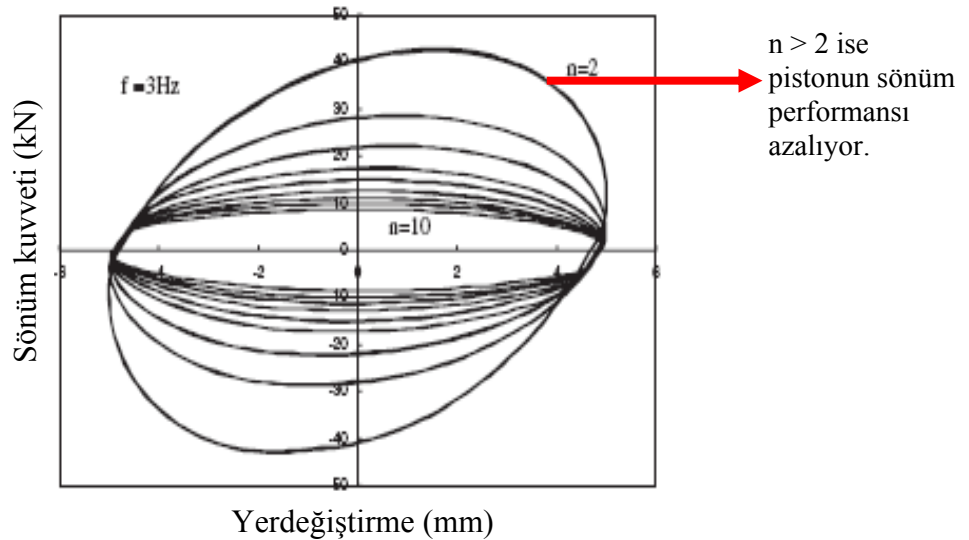
Şekil 3.52 Piston üzerindeki açık deliklerin sönüm ile ilişkisi (Li ve diğ., 2006).

Toplam delik çapındaki azalma sönümleyicinin çalışabildiği frekans aralığında *artışa* neden olmuştur. Şekil.3.53’de de görüldüğü üzere toplam delik çapı $A=5$ mm iken sönümleyici 0.2-3 Hz aralığında, $A=10$ iken 0.2-1.5 Hz aralığında ve $A=15$ iken 0.2-1.0 Hz aralığında sönümleme yapabilmektedir. Aynı açık delik sayısı için *artan frekans* ile sönüm kapasitesi *artmıştır*.



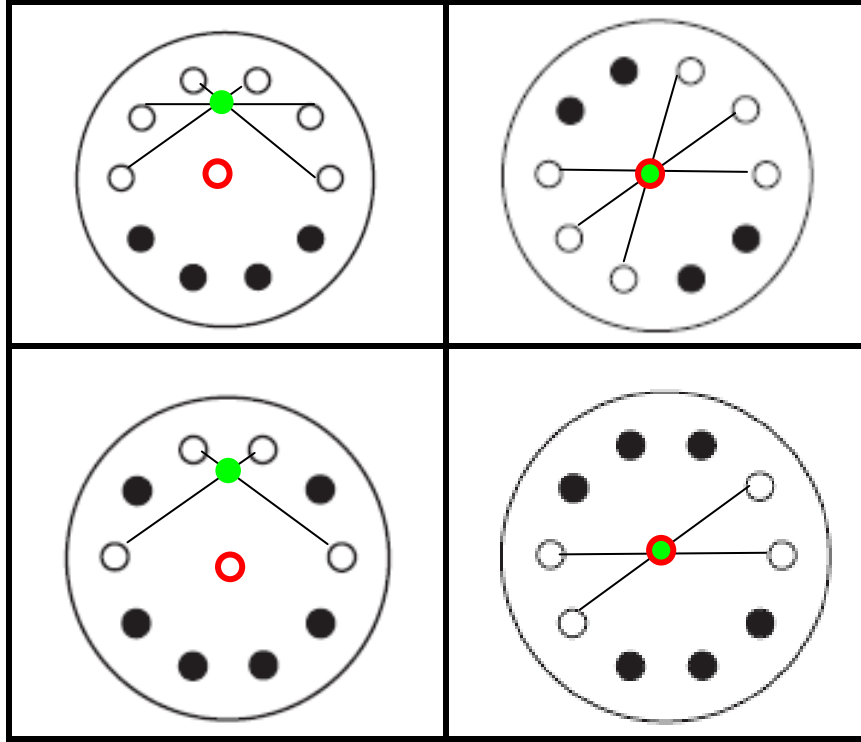
Şekil 3.53 Pistonun sönümleme kuvveti frekans ilişkisi (Li ve diğ., 2006).

Ayrıca açık delik sayısının 2’den fazla olduğu durumlarda, yerdeğiştirme-sönüm eğrisi elips şeklini almış, bu durum da sönümleyicinin lineer olmayan davranış göstermesine ve daha büyük kuvvetlerde daha az sönümleme yapabilmesine neden olmuştur (Şekil 3.54). Bu sonuçtan yola çıkılarak; uygulamalarda piston delik sayısının 6’dan fazla olması istenmemektedir.



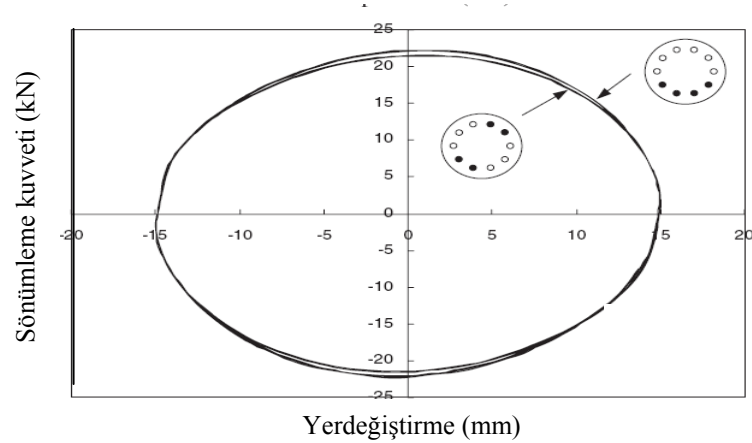
Şekil 3.54 Pistondaki sönüm kuvveti-yerdeğiştirme eğrisinin açık delik sayısı ile ilişkisi (Li ve diğ., 2006).

Piston üzerindeki delik sayısı ve çapı aynı kalmak şartıyla, açık deliklerin kuvvet bileşenleri merkezi, piston ağırlık merkezi ile çakışıyorsa, sönümleme kapasitesi deliklerin konumlarından *bağımsızdır* (Şekil 3.55) (Li, Xu ve Zhou, 2006).



Şekil 3.55 Piston üzerindeki açık deliklerin kuvvet bileşenlerinin merkezleri ile piston başı merkezlerinin gösterimi (Li ve diğ., 2006).

Açık deliklerin kuvvet bileşenlerinin merkezi piston ağırlık merkeziyle çakışmadığında (simetrik olmayan açık delik yerleşimlerinde) ise, sönümlleme kuvveti merkezlerin çakıştığı duruma oranla az da olsa ($\sim \%3$) artış göstermektedir (Şekil 3.56).



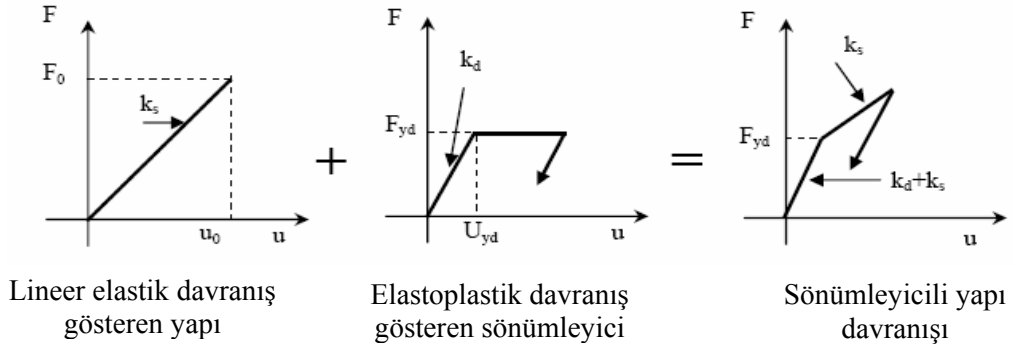
Şekil 3.56 Piston üzerindeki açık deliklerin yerleşiminin sönümllemeye etkisi (Li ve diğ., 2006).

3.5. Viskoz Akışkanlı Sönümleyici Tipleri

Viskoz akışkanlı sönümlleme sistemleri, mevcut ve yeni inşa edilecek yapılarda rüzgar hareketleri ve deprem enerjisinin sönümlenmesine yönelik olarak, mühendislerin son

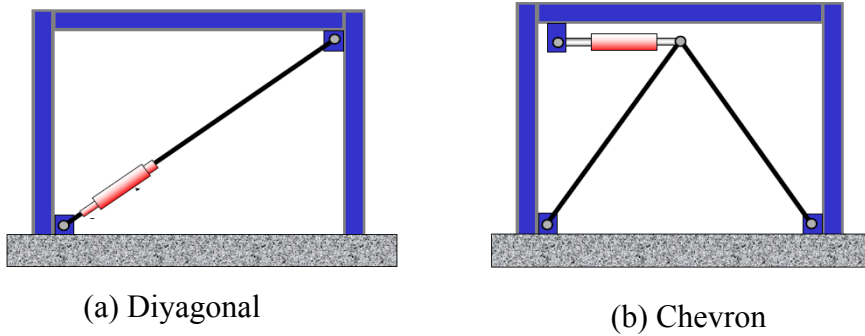
zamanlarda kullanımına aşına olduğu bir sistem haline gelmiştir.

Viskoz sönümleyicilerin boyutları ve yapı içinde yerleşimi, genellikle düşey sabit ve hareketli yükler ihmal edilerek, rüzgar ve deprem yüklerine göre saptanır. Analizler sırasında ortaya çıkacak kat ivmesi ve katlararası görelî ötelemelerin en büyük değerleri ile istenen süneklik düzeyi, sönümleyicinin boyutları ve kapasitesini belirler. Yükler ve sönümleyici kapasite gereksiniminin çok büyük olmadığı durumda sönümleyici kuvvet-yerdeğiştirme davranışının *lineer* bölgede kalması, aksi durumda ise kesit ekonomisini korumak açısından büyük yüklerin *lineer olmayan* davranış da göstererek karşılanması beklenir (Şekil 3.57). Taşıyıcı sistemde ise aşırı zorlanmalar söz konusu olmadıkça, gerilme ve şekildeğiştirmelerin her zaman lineer-elastik bölgede kalması gerekmektedir



Şekil 3.57 Yapı, sönümleyici, yapı+sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi (Xu, 2007).

Viskoz akışkanlı sönümlenme sistemlerinin ilk gelişimi; çerçeve sistemler arasında kullanılan diyagonal bağlantılarla olmuştur (Constantinou ve diğ., 2001) (Şekil 3.58a). Daha sonra, sadece sismik enerjinin yutulması konusunda etkin olan Chevron tipi geliştirilmiştir (Park ve diğ., 2005; Hussain ve diğ. 2007) (Şekil 3.58b).



Şekil 3.58 İlk geliştirilen viskoz akışkanlı sönümlenme sistemleri (FEMA, 2003).

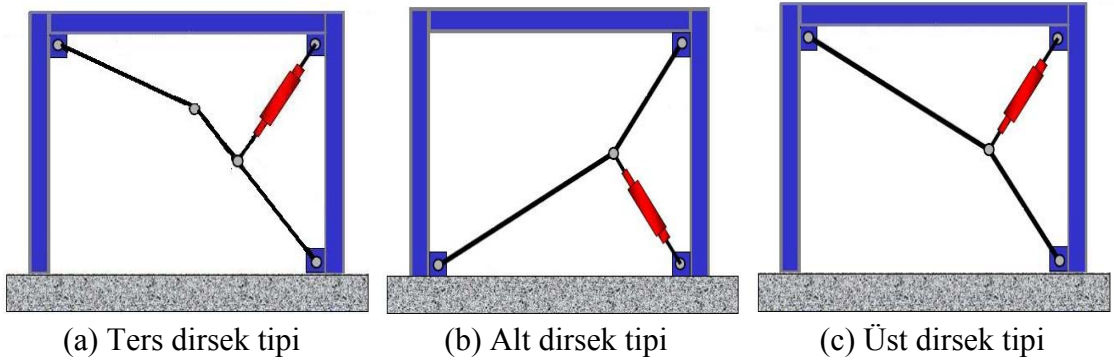
Diyagonal ve Chevron tipi sönümleyicilerde piston kolundaki yerdeğiştirme, katlararası görelî ötelemeye eşit veya daha düşüktür. Bu tip sönümleyiciler *çok rijit olmayan* yapı sistemlerinde etkin olarak deprem enerjisini sönümleyebilir. Düşük hız ve yerdeğiştirmelerin söz konusu

olduğu *rijit sistemlerde* ise, daha küçük piston kolu ile daha büyük sönümleme düzeyi ve sönümleyici kapasitesinin gerekliliği önemli *maliyet artışlarına* neden olur. Ayrıca uygulama açısından seçimi etkileyen diğer önemli faktör de tasarımcının cephede görmek istediği etkidir.

Deprem etkilerine maruz rijit sistemlerde diyagonal ve Chevron tipi sönümleyicilerin yetersiz kalması, mafsallı viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu sistemin *ilk örneği ters dirsek tipidir* (Şekil 3.59a). Ancak yapı yatay yük aldığı anda dirsek, piston hareketini düğüm noktasına tam iletemediği ve sistemin rahat hareket etmesine imkan sağlamadığı için çok fazla uygulama alanı bulamamıştır (Park ve diğ., 2005).

Ters dirsek tipi günümüzde yerini üst dirsek ve alt dirsek tiplerine bırakmıştır (Şekil 3.59 b,c). Sistemde ikinci bağlantıyı sağlayan dirsekler; değişik açılarda çerçeve içine yerleştirilmiş iki metal bağlantı elemanını destekleyerek, rijit yapılarda küçük yerdeğiştirme ve hızlara cevap vererek yapıya *yüksek sönüm yeteneği* kazandırır (Constantinou ve diğ.,2001; DeSimone ve Bongiorno,2002; Hwang ve diğ., 2005, 2008).

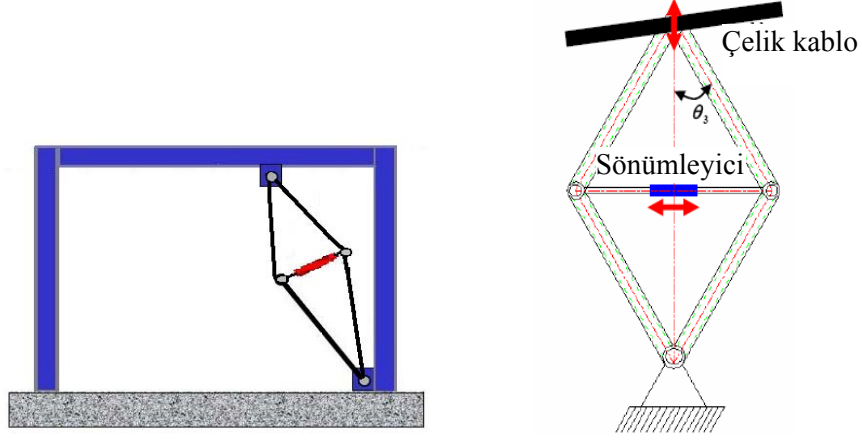
Tüm sönümleyici tiplerinde olduğu gibi üst ve alt dirsek tiplerinde de bağlantı elemanlarının *eksenel rijitliğinin yüksek* olacak şekilde boyutlandırılması, yüksek sönüm faktörünün sadece teorik olarak değil, *uygulamada* da elde edilebilmesinde önemli bir faktördür (Martinez-Rodrigo ve Romero, 2003) .



Şekil 3.59 (a) Ters dirsek tipi sönümleyici, (b) Alt dirsek tipi sönümleyici, (c) Üst dirsek tipi sönümleyici (FEMA, 2003).

Dirsek tipi sönümleyiciler üzerinde yapılan teorik ve deneysel çalışmalarda, sönümleyicinin bağlantı elemanlarının yatay ve düşey ile yaptığı açılarının sönüm oranını çok etkilediği anlaşılmıştır. Bu çıkarımdan hareketle rüzgar ve sismik yüklere karşı *sönüm oranı yüksek*, mimarideki büyük açıklık ihtiyacına cevap verilecek nitelikte küçük yüzey ve hacim kaplayan, dik veya dike yakın şekilde konumlanan *Makas tipi* geliştirilmiştir (Şekil 3.60).

Diğer dirsek tiplerine nazaran oldukça pahalı bir sistem olmasına rağmen, cephelerde serbest tasarıma imkan sağlaması nedeni ile, hem kullanıcı hem de tasarımcının ilgi odağı haline gelmiştir (Park ve diğ., 2005).



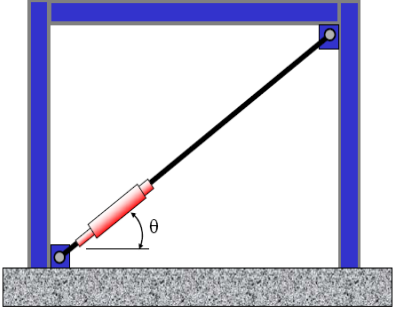
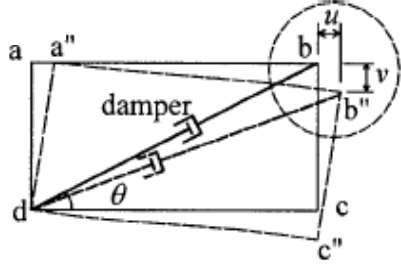
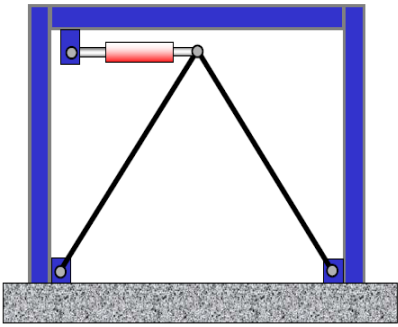
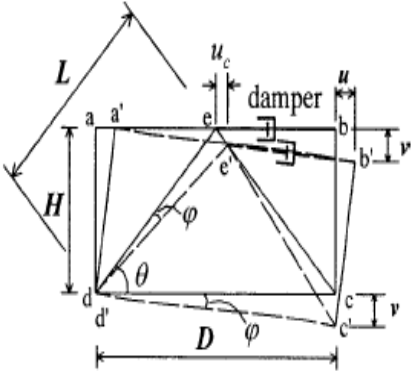
Şekil 3.60 Makas tipi viskoz akışkanlı sönümleme sistemi (FEMA, 2003; Sigaher and Constantinou, 2003).

Makas ve krikonun çalışma prensiplerinin neredeyse birebir uygulandığı sönümleyici, birbirleriyle paralelkenar oluşturacak biçimde yerleştirilmiş 4 adet çelik elemanın kısa diyagonal bağlantısına yerleştirilmiştir. Sistemde sönümleyicinin bağlantılı olmadığı çelik eleman birleşimlerinin biri çerçeve sisteme sabitlenirken diğer birleşim çelik bir kabloya hareketli olarak mesnetlendirilmiştir (Bkz. Şekil 3.60).

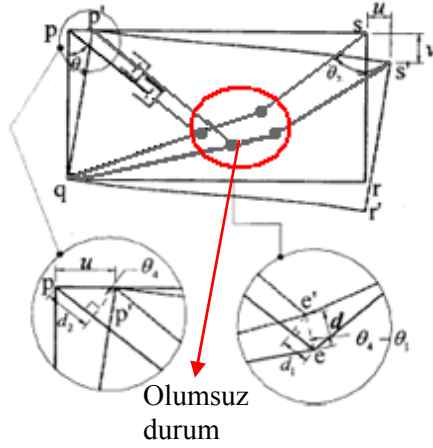
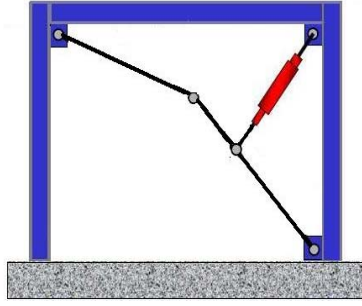
1998'den beri makas tipi üzerine yapılan her çalışmada hareketli mesneden bağlantı noktasında yüksek mukavemete sahip sabit bir çelik çubuk mu yoksa yüksek sönümleme kapasitesine sahip öngerilmeli çelik bir kablo mu kullanması gerektiğinin cevabı aranmıştır. Her ne kadar analiz çalışmalarının sonuçları tam olarak bildirilmemişse de sistemin uygulamalarında montaj kolaylığı ve malzeme hafifliği nedeniyle çelik kablo tercih edilmektedir (Park ve diğ., 2005). Ayrıca burada belirtilen sönümleyici tiplerine ait detaylı kesitler Ek 3 a, b, c, d, e, ve f' de verilmiştir.

Viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerine ait diyagonal, Chevron, ters dirsek, alt dirsek, üst dirsek ve makas tiplerinin şematik gösterimleri, genel özellikleri, kullanım nedenleri ve uygulama örnekleri MCEER, 2009; Charney ve McNamara, 2008; Hwang ve diğ., 2005, 2008; Park ve diğ., 2005; Bozorgnia, ve Bertero, 2004; Şigaher ve Constantinou, 2003; FEMA, 2003; DeSimone ve Bongiorno, 2002; Constantinou ve diğ., 2001 ve Aiken ve diğ., 1993 kaynaklarından faydalanılarak Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Viskoz akışkanlı sönümleme sistemi tipleri.

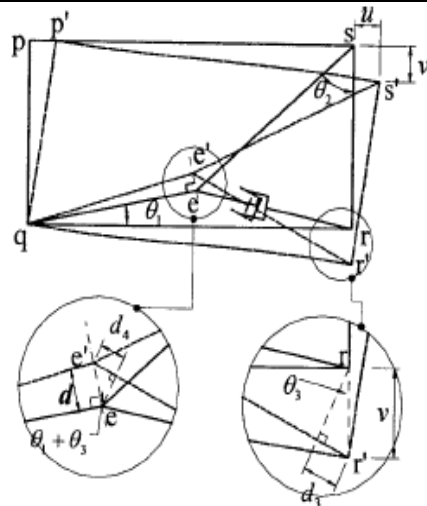
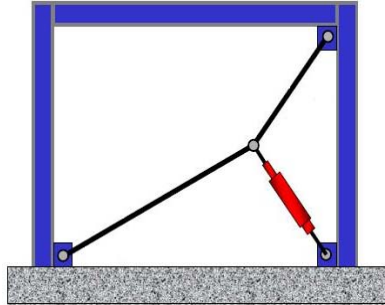
D İ Y A G O N A L		
		Viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin ilk tipi olup, gelişimini çerçeve sistem arasında kullanılan diyagonal bağlantılar sağlamıştır. Özellikle esnek yapı sistemlerinde deprem enerjisinin yutulmasını sağlamaktadır.
Ç H E V R O N		
		Viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin ikinci tipi olup, sadece depreme karşı etkindir. Diyaganol tip ile arasındaki temel fark çerçevede oluşturduğu görsel etkidir. Özellikle esnek yapı sistemleri için uygundur.

TERS DİRSEK



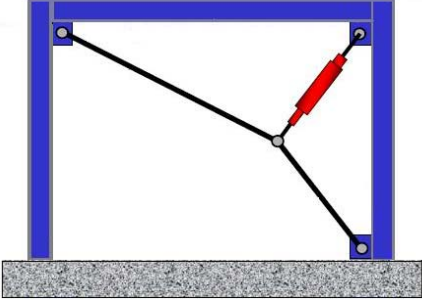
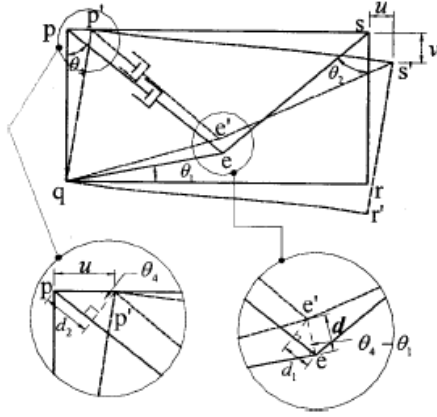
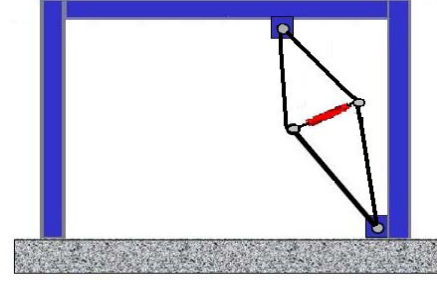
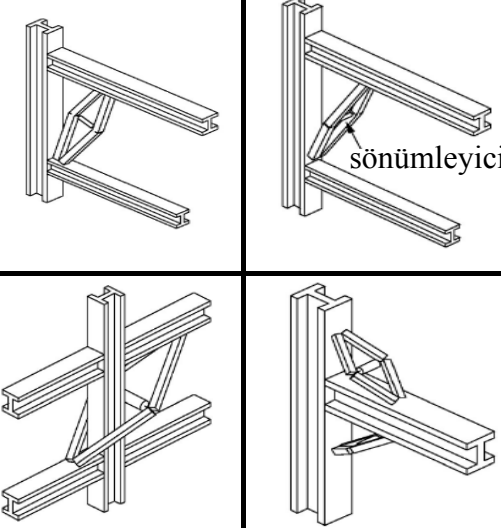
Dirsek tipi viskoz sönümleme sistemlerinin ilk örneği olup, rijit yapılarda deprem ve rüzgar enerjisinin yutulmasını sağlamaktadır. Sönümleme oranı alt dirsek tipine yakındır. Yük aktarımında meydana gelen olumsuzluklarından dolayı sistemin kullanımı günümüzde tercih edilmemektedir.

ALT DİRSEK

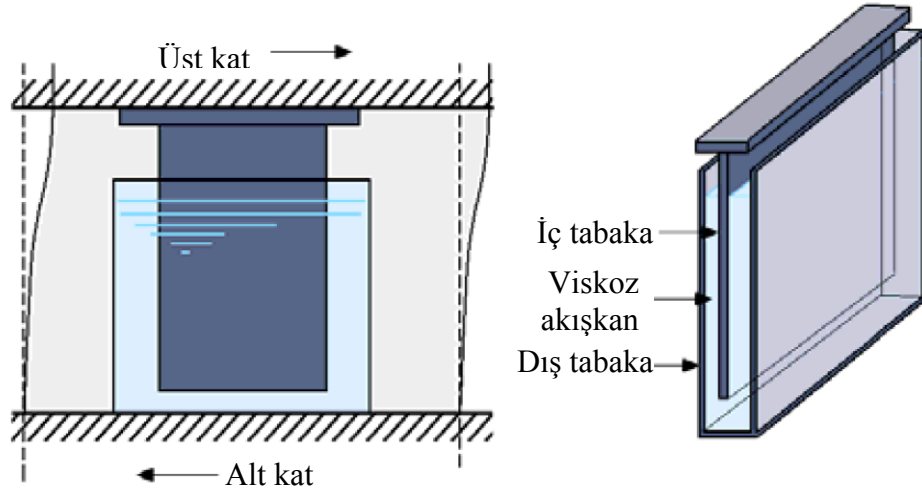


Özellikle rijit yapılar için geliştirilmiş dirsek tipi viskoz sönümleme sistemlerinin sönüm açısından etkin tipidir.

Sönümleyici, değişik açılarda çerçeve içine yerleştirilmiş olan iki metal bağlantı elemanına destek görevi görerek, rijit yapılarda deprem ve rüzgar kuvveti etkisine büyük sönüm oranı ile karşı koyar.

ÜST DİRSEK		
		Özellikle rijit yapılar için geliştirilmiş dirsek tipi viskoz sönümleme sistemlerinin diğer etkin tipidir. Rüzgar ve deprem yüklerini sönümleme oranı, alt dirsek tipine kıyasla daha yüksektir. Mimari açıdan yerleşim yeri seçimi alt dirsek tipinden farklıdır.
MAKAS TİPİ		
		Mimari bazda büyük açıklık ihtiyacına cevap verilebilmek amacıyla üretilen daha küçük yüzey-hacim kaplayan rüzgar ve sismik yük sönümleyicileridir. Küçük boyutları, dar taşıyıcı kesitleri ve dike yakın yerleştirilme pozisyonları nedeniyle rijit yapılarda son zamanların gözdesi haline gelmiştir. Karmaşık görünse de esas olarak basit bir kurgu ile üretilmiştir.

Viskoz akışkanlı sönümleme sisteminin bir diğer tipi de Japonya'da Sumitomo Construction Company tarafından üretilen yüksek viskoziteli sıvı dolu bir kap içinde hareket eden bir levhadan ibaret olan *viskoz akışkanlı duvarlardır* (Şekil 3.61) (Makro ve diğ., 2004).



Şekil 3.61 Viskoz akışkanlı duvar (Makro ve diğ., 2004).

Bulunduğu çerçevede tavana monte edilen sistemde, sönümü çelik levha içinde hareket eden sıvı sağlamaktadır. Yapı elemanlarına gelen göreceli hızların % 66-80 oranında yutulmasının sağlandığı sistem, sadece sismik yüklerin etkisinin azaltılmasında kullanılmaktadır. Sistem yapıda serbest tasarım olanağı sunmaması nedeniyle günümüzde çok fazla uygulanmamaktadır (Makro ve diğ., 2004).

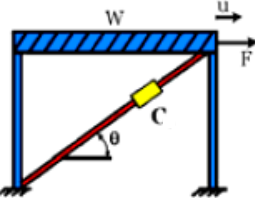
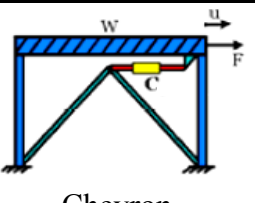
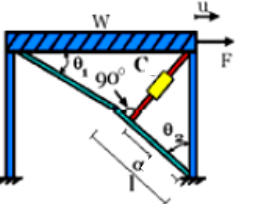
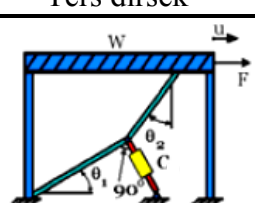
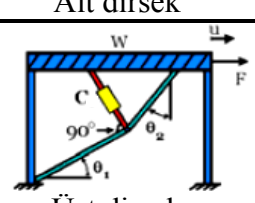
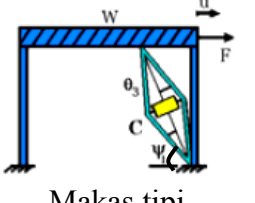
3.6 Viskoz Akışkanlı Sönümleyicilerin Teknik Özellikleri

Yapılarda kullanılan viskoz akışkanlı sönümleyiciler, otomotiv sanayisinde kullanılan şok yutucularla etki açısından benzetmekle beraber, yüksek kuvvetlerde çalışmasıyla şok yutuculardan farklılaşmaktadırlar. Bu sönümleyiciler otomobil sönümleyicilerine göre çok daha büyüktür, en az 40 yıl ömre sahip olacak şekilde ve çok dayanıklı paslanmaz çelik malzemeden üretilmektedir.

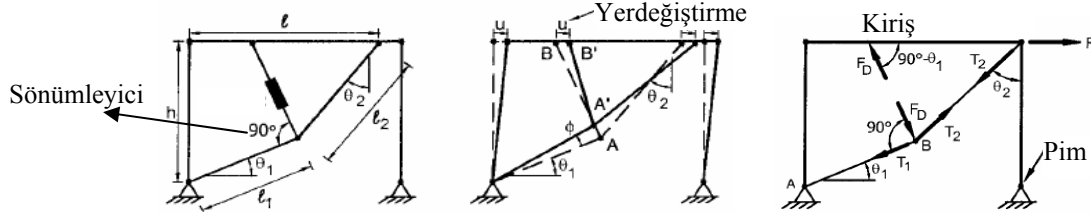
Viskoz akışkanlı sönümleme sisteminde sönümleme için kullanılan akışkan, yüksek viskoziteye sahip, yüksek sıcaklığa ve çevresel etkilere dayanıklı bir malzemedir. Bu durumda, pistonun çalışma etkinliğinde herhangi bir azalma olmadan işlevine devam etmesini sağlamaktadır (Derdiman ve Mirkelam, 2007). Viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinde piston kolunda meydana gelen kuvvetle itilen piston başı, sıvının bir odadan diğer odaya hareketine ve dolayısıyla sistemde sönümlemeye neden olmaktadır. Sistemde piston başı ile sönümleyici cidarı arasında yer alan yeter derecedeki açıklık sıvı geçişini sağlamaktadır.

Geliştirilen viskoz sönümleyici tipleri, sönüm yüzdeleri ile birlikte Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Viskoz akışkanlı sönümleme sistemi tipleri yerleşim geometrisi ve etkinliği (Constantinou ve diğ. 2001, Marko 2004, Park 2005, Şigaher ve diğ.2003’den kaynaklarından yararlanılarak).

Sistem teşkili	Büyütme faktörü bağıntısı	Tipik yerleşim açısı ve büyütme faktörü	Sönüm oranı β
 Diyagonal	$f = \cos \theta$	$\theta = 37^\circ \rightarrow f = 0.799$	% 3.2
 Chevron	$f = 1.0$	$f = 1.0$	% 5
 Ters dirsek	$f = \phi \cos \theta_1 / \cos(\theta_1 + \theta_2) - \cos \theta_2$	$\theta_1 = 30^\circ, \theta_2 = 49^\circ, \alpha = 0.7 \rightarrow f = 2.52$	% 31.8
 Alt dirsek	$f = \sin \theta_2 / \cos(\theta_1 + \theta_2)$	$\theta_1 = 31.9^\circ, \theta_2 = 43.2^\circ$ $f = 2.66$	% 35.4
 Üst dirsek	$f = \sin \theta_2 / \cos(\theta_1 + \theta_2) + \sin \theta_1$	$\theta_1 = 31.9^\circ, \theta_2 = 43.2^\circ$ $f = 3.19$	% 50.9
 Makas tipi	$f = \cos \psi / \tan \theta_3$ $f = 1 / \tan \theta_3$	$\psi = 70^\circ, \theta_3 = 9^\circ,$ $f = 2.16$ $\psi = 90^\circ, \theta_3 = 9^\circ$ (kablo tipi) $f = 6.31$	% 23
Sönüm oranı $\beta = (C f^2 g T) / (4 \pi W)$			

Tipik bir üst dirsek tipi sönümleyici üzerinde yerleşim geometrisi, şekildegıştirmiş durum ve kuvvetler dengesi Şekil 3.62’da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.62 Dirsek tipi sönümleyicilerin hareket analizi (Constantinou ve diğ., 2001).

Burada,

- Büyütme faktörü f

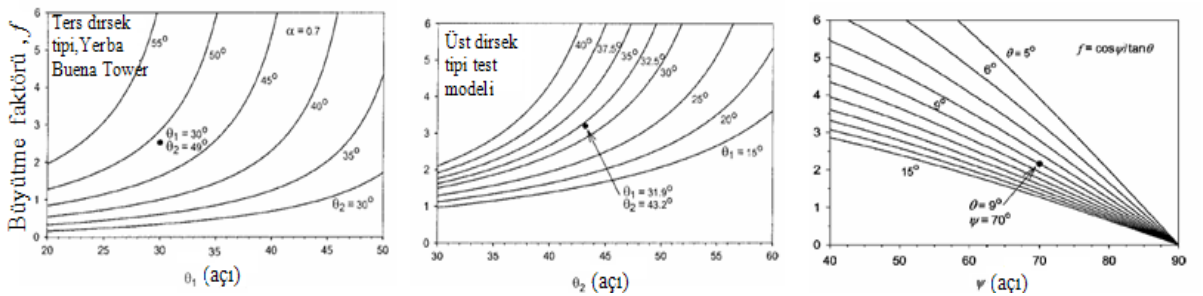
$$f = \frac{F}{F_d} = \frac{u_d}{u} = \frac{|A'B' - AB|}{u} \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanır. u katlararası görel yerdegıştirme, u_d ise pistonun eksen boyunca görel yerdegıştirmesidir. Büyütme faktörü (Çizelge 3.2) sönümleme sisteminin etkinliğini belirleyen temel faktördür.

o Diyagonal ve Chevron tipi sönümleyicilerde f , 1’e yakın ve daha küçük değerler almaktadır. Bu da sönüm oranının sırası ile % 3.2 ve % 5 gibi düşük değerler alması anlamına gelmektedir.

o Diğer taraftan mafsallı sönümleyicilerde f , 1’den *büyük* değerler alır. En dikkate değer performans, *üst dirsek* ve *makas* tipi sönümleyicilerde izlenmektedir. Sönüm oranları üst dirsek tipi için % 51’e kadar çıkarken, kablolu makas tiplerinde bu oranın da üstüne çıkılabildiği tahmin edilmektedir. Böylece aynı sönümleyicinin *sadece yerleşim şeklini degıştirerek* diyagonal tipe kıyasla 12.5 kat, Chevron tipine kıyasla 10.7 kat yüksek sönüm oranı, dolayısı ile önemli kesit tasarrufu, elde etmek mümkün olmaktadır.

Söz konusu mafsallı sönümleyicilerde θ_1 , θ_2 , θ_3 ve ψ ’nin degişimine bağlı olarak f ’in parametrik degişimi Şekil 3.63’de açıkça izlenmektedir.



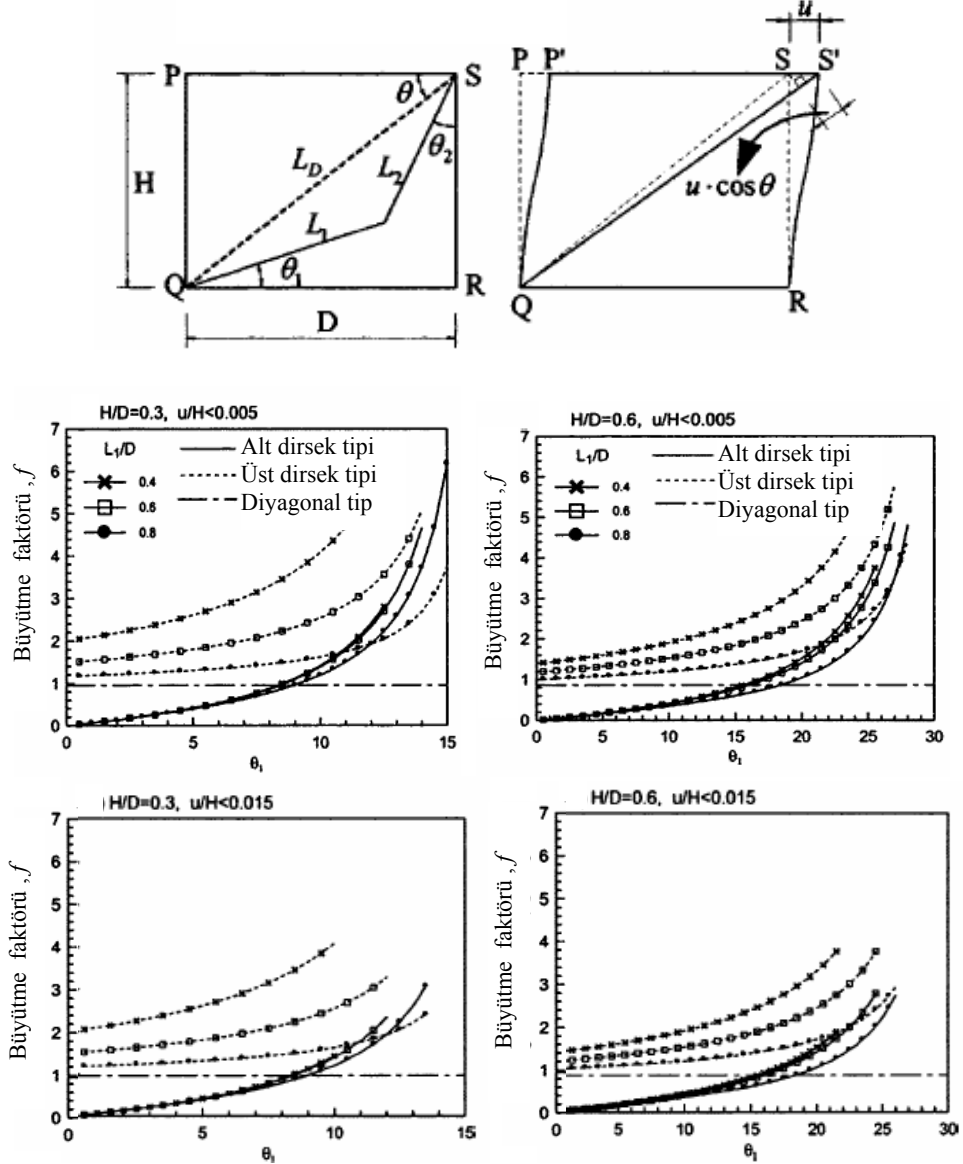
Şekil 3.63 Ters, üst dirsek ve makas tipi mafsallı sönümleyicilerde bağlantı elemanlarının açısal konumunun büyütme faktörü üzerindeki etkisi (Constantinou ve diğ., 2001).

Buna göre

o Ters, üst dirsek ve makas tipi sönümleyiciler bazında, θ_1 ve θ_2 arttıkça, büyütme faktörü f artmaktadır.

o Makas tipi sönümleyicilerde ise f değeri, θ_3 ve ψ ile ters orantılıdır.

Ayrıca büyütme faktörü çerçevenin H/D ve u/H oranının da bir fonksiyonudur (Şekil 3.64) (Hwang ve diğ., 2005).



Şekil 3.64 Büyütme faktörü f ile θ_1 arasındaki ilişkinin tasarım çizelgeleri (Hwang ve diğ., 2005).

Şekil 3.64’de incelenen büyüklüklerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

o Aynı çerçeve genişliği için çerçevenin yüksekliği arttıkça, aynı büyütme faktörüne ulaşmak için θ_1 ‘in artırılması gerekmektedir.

o L_1/D oranı, büyütme faktörü ile ters orantılıdır. Büyütme faktörünü arttırmak için L_1/D oranı azaltılmalıdır.

o θ_1 açısının 0'a yakın değerlerinde, alt dirsek tipi yerleşime ait büyütme faktörü diyagonal (veya Chevron) tipinden daha düşük ($f < 1$) olabilmektedir (Üst dirsek tipine ait büyütme faktörü ise azalsa da f , 1'in altına inmemiştir). Bu durum, dirsek tipi sönümleyicilerde hatalı tasarım olasılığı durumundaki etkinlik kaybına işaret etmektedir.

o Alt ve üst dirsek tipleri söz konusu ise, aynı H değeri için artan katlararası görelî ötelemelerde, büyütme faktöründe kayıp oluşmaması için θ_1 açısını azaltmak gerekmektedir. Ancak buna rağmen aynı büyütme faktörünü sağlamak mümkün olmayabilir.

- Piston kolunun hareketi ile ortaya çıkan sönüm kuvveti (F_d)

$$F_d = \pm C |\dot{u}_d|^\alpha \quad (3.2)$$

$\alpha = 1$ ise sönüm kuvveti basitleşerek,

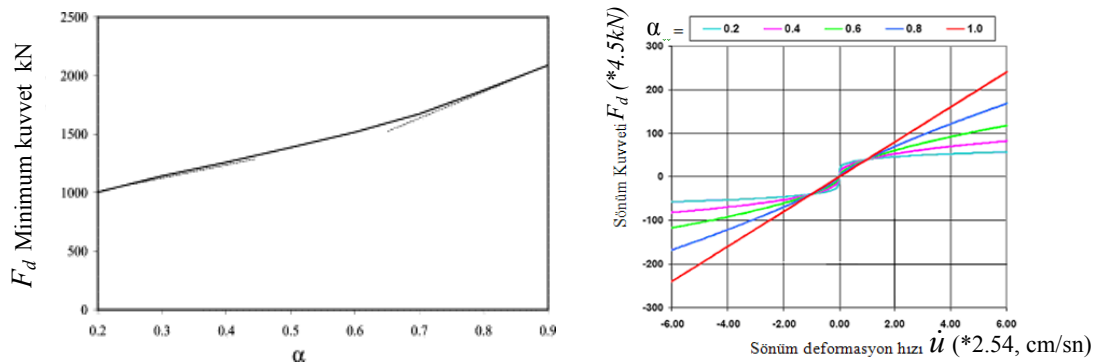
$$F_d = \pm C \dot{u}_d \quad (3.3)$$

bağıntısına dönüşür.

- Piston tarafından çerçeveye uygulanan sönüm kuvvetinin yatay bileşeni (F)

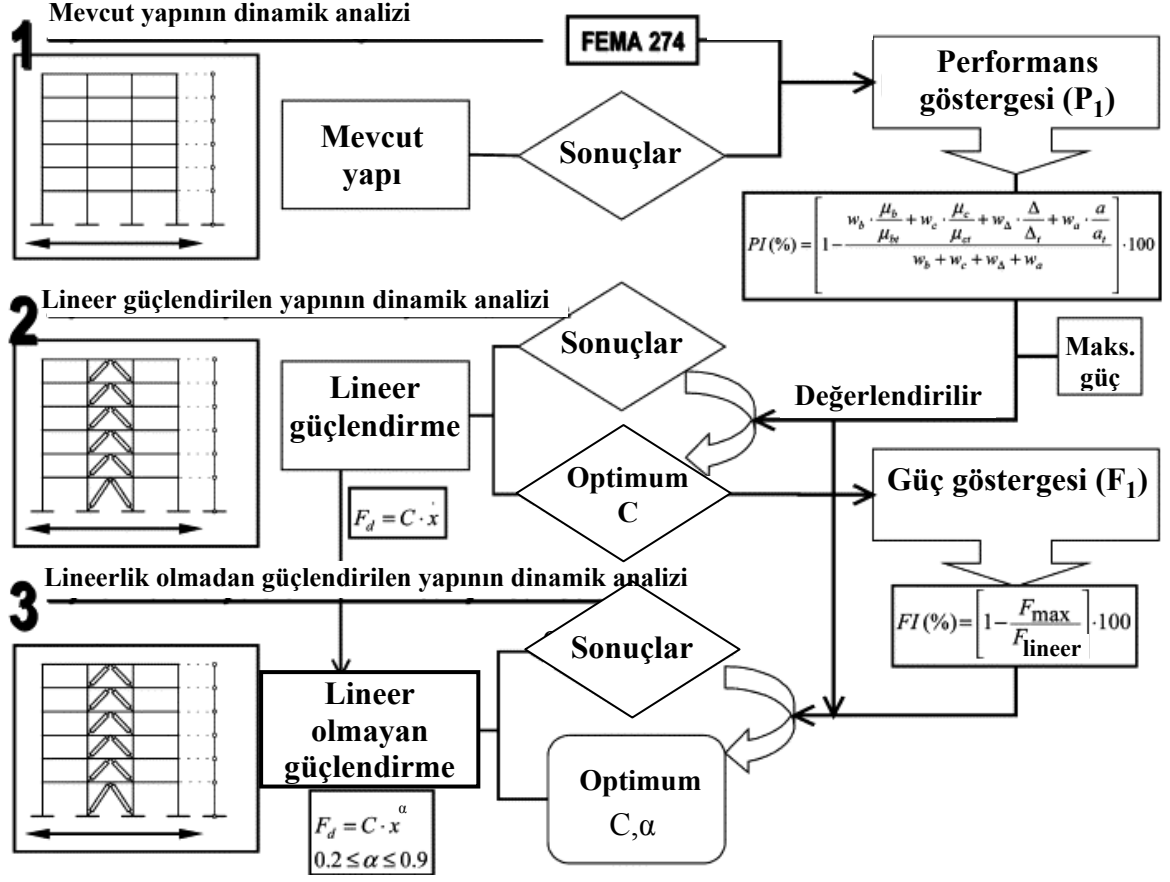
$$F = f F_d \quad (3.4)$$

olarak tanımlanır. Burada; C , silindir çapı ve akışkanın geçeceği delik alanına bağlı olarak değişen sönüm katsayısı, $\dot{u}_d$ pistonun iki ucu arasındaki görelî hız, α ise sönümleyicinin lineer olmayan davranış gösterme kapasitesinin ölçüsü olan üstel bir sabittir. α genellikle 0.2-0.9 aralığındadır. α ve C , sabit bir frekans büyüklüğünde, değişken yerdeğiştirme değerleri için, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlardan üretilen regresyon bağıntıları ile belirlenir. α , 1'e yaklaştıkça lineer davranış hakim olur, etkin lineer olmayan davranış için α 'nın 0'a yakın değerler alması gereklidir. α 'nın azalması daha küçük piston kuvveti ihtiyacı -katlararası ötelemeye dikkat etmek koşulu ile- dolayısı ile daha ekonomik boyutlandırma anlamına gelebilir (Şekil 3.65).



Şekil 3.65 α 'nın değişimi (Martinez-Rodrigo,Romero, 2003;FEMA, 2003)

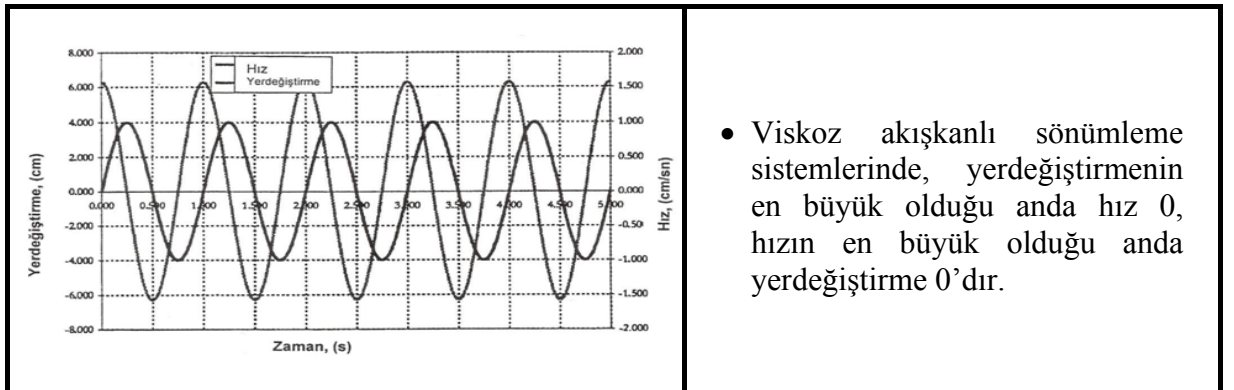
Yapıların viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesi konusunda yardımcı olabilecek bir akış şeması Şekil 3.66’de verilmiştir, bu konuda ayrıntılı bilgi anılan referanstan elde edilebilir.

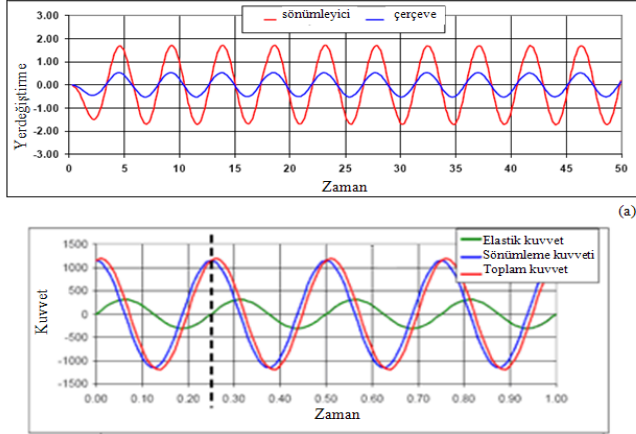


Şekil 3.66 Yapıların viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesinde izlenecek akış şeması (Martinez-Rodrigo ve Romero, 2003).

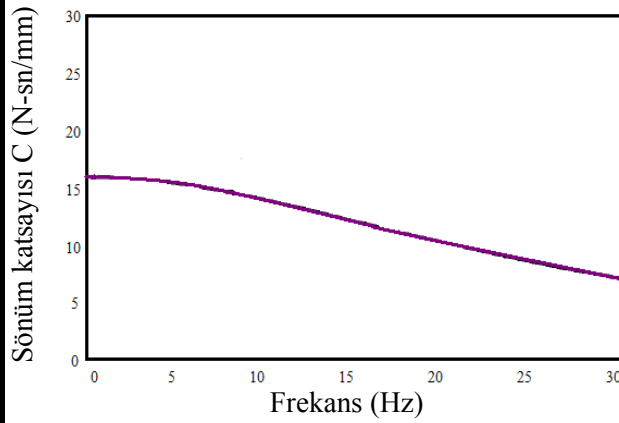
Viskoz akışkanlı sönümleme cihazlarının teknik özellikleri FEMA,2003; Polat, 2003; Taylor Devices, 2008, Murat,2005; Symans ve Constantinou, 1998 ve Black ve Makris, 2007 kaynaklarından yararlanarak Çizelge 3.3’de açıklamaları ile birlikte topluca takdim edilmiştir.

Çizelge 3.3 Viskoz akışkanlı sönümleme sistemi teknik özellikleri.

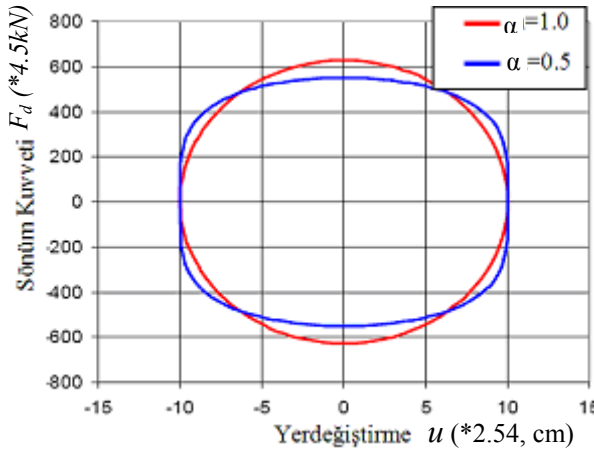




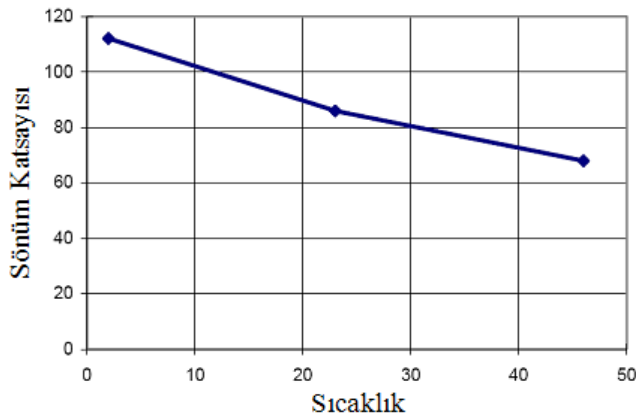
- Elde edilen yüksek sönümleme etkisi ile yapıya etkiyen kuvvet ve yerdeğiştirmelerde önemli azalmalar meydana gelir. Belirtilen yerdeğiştirme-zaman ve kuvvet zaman ilişkileri alt dirsek tipi sönümleyici için verilmiştir.



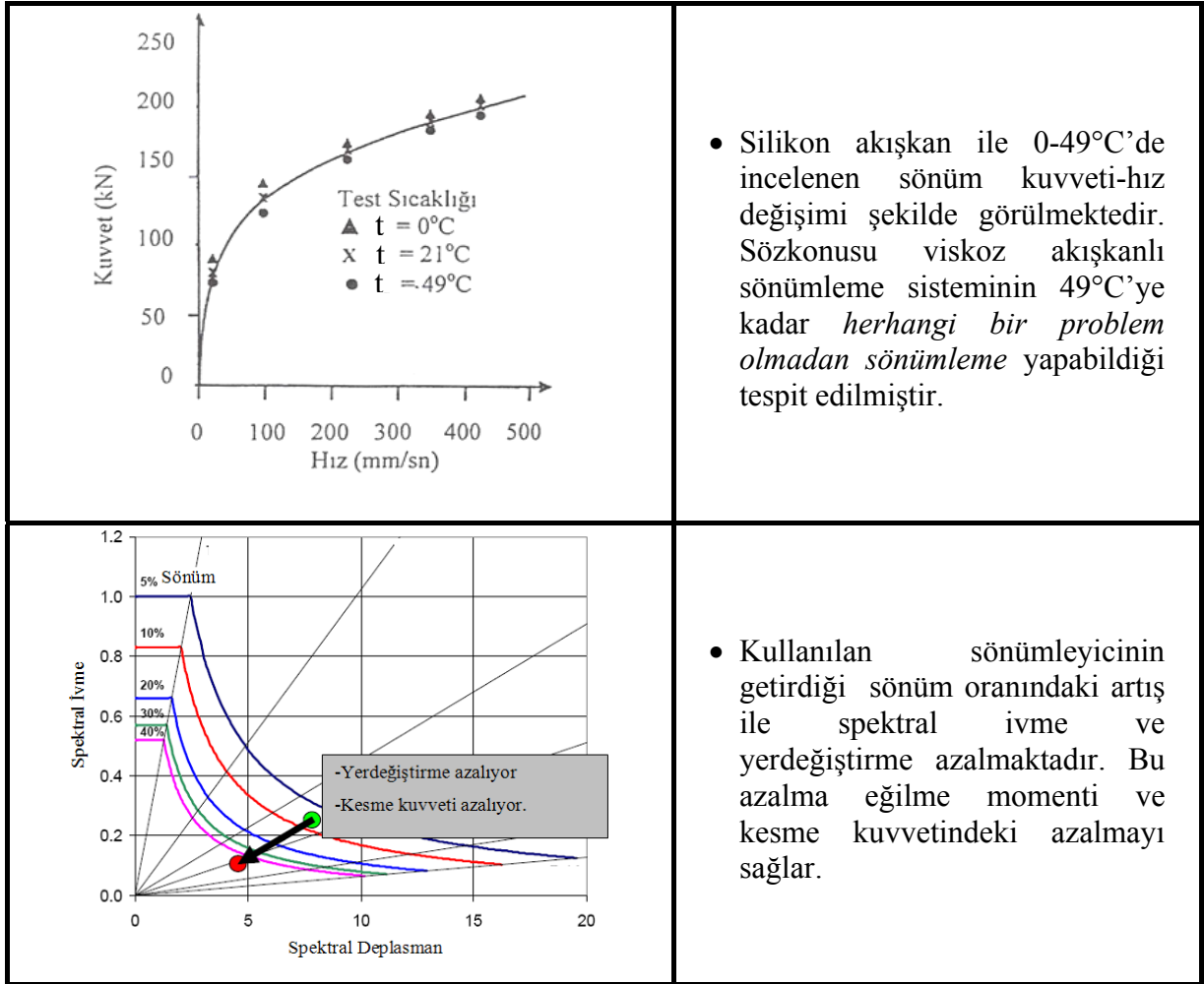
- Sönümleyicinin 2 Hz'den daha büyük frekans değerlerinde, frekansın artmasıyla sönüm katsayısı C azalmaktadır. Yapılan analizlerde sönümleyicinin 20 Hz'ye kadar optimum verimle çalışabildiği görülmüştür.



- Maksimum sönüm kuvveti, yerdeğiştirmeler küçükken oluşmaktadır. α üsteli 1.0'den 0.5'e doğru azaldıkça form, daireden dikdörtgene doğru dönüşmekte ve sönüm kuvveti azalmaktadır.



- Lineer ($\alpha=1$) viskoz akışkanlı sönümleyiciler 0-50°C aralığında test edilmiştir. Sıcaklık arttıkça sönüm katsayısı azalmaktadır.



3.7 Viskoz Akışkanlı Sönümleyicilerin Uygulanabilirliği/ Uygulamaları

Yapılara viskoz akışkanlı sönümleyici eklemenin amacı, yapısal elemanlar ve birleşim noktalarında kalıcı hasar ve yıkımların oluşmasına neden olan sismik enerjinin yutulma kapasitesini arttırmaktır.

Yapıya eklenen viskoz akışkanlı sönümleyici, yapıda taşıyıcı sistemin yerdeğiştirmesinde azalmayı, dolayısıyla da hasarda azalmayı beraberinde getirir. Rijitlik ve dayanımdaki artış yapı hakim periyodunu *azaltır*, diğer taraftan, yapı yanal kuvvetlerinde de artmaya neden olur.

Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin dinamik karakteristiklerinin pratiksel sınırlandırılmasının temelinde, sönümleyicilerin yapıya nasıl uygulanabileceğini içeren bazı genel gözlemler yatmaktadır.

3.7.1 Viskoz Akışkanlı Sönümleme Sistemlerinin Performans Düzeyleri

Yapılan araştırma ve deneyler sonucunda viskoz akışkanlı sönümleyicilerin diğer sönümleme sistemiyle beraber kullanılmasıyla, yapı performansında kesin başarı sağlayan sistemlerin uygulanmasının mümkün olduğu ortaya çıkartılmış (FEMA 274 (1997b)), sistemlerin can

güvenliği, uygulama süreci ve işletme sürecindeki verimliliği açısından Çizelge 3.4' de sınıflandırılmıştır (Murat, 2005).

Çizelge 3.4 Viskoz akışkanlı sönümleyicinin performans dereceleriyle uyumlu uygulanabilirliği (Murat, 2005).

Derece	Performans	
	Sınıf	Viskoz Akışkanlı Sönümleyici
İşlevsel	Hasar Kontrolü	Sınırlı
Derhal Kullanım	Hasar Kontrolü	Olasılıklı
Can Güvenliği	Sınırlı Güvenlik	Olasılıklı
Çökmenin Engellenmesi	Sınırlı Güvenlik	Sınırlı



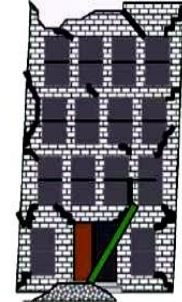
İşlevsel



Derhal Kullanım



Can Güvenliği



Çökme Engellenmesi

3.7.2 Viskoz Akışkanlı Sönümleyicilerin Mevcut Yapılarda Kullanımı ile Yeni Yapılarda Kullanımının Karşılaştırılması

Sistemin en fazla uygulandığı ABD'de sönümleyiciler genellikle mevcut yapıların yenilenmesi veya güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu sönümleyicilerin montajı; klasik güçlendirme sistemlerine kıyasla daha az iş gücü ve zaman gerektirmektedir.

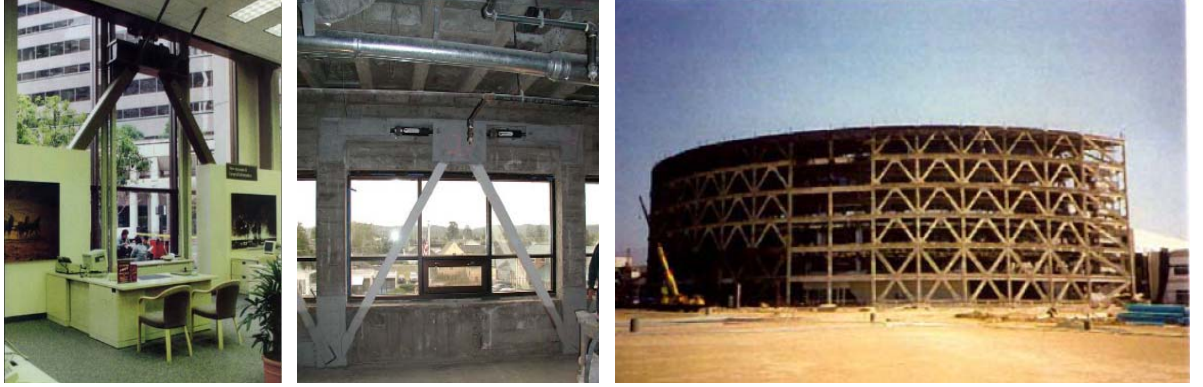
Standartlara göre tasarlanan yeni yapıların, can güvenliği açısından maksimum performans istemini karşılaması gerekmektedir. Bu durumda sönümleyiciler, yapısal eleman ve/veya birleşimleri ile yapısal olmayan sistemlere zarar verebilecek aşırı ivme seviyelerine karşı ek bir sönüm sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Murat, 2005).

Viskoz akışkanlı sönümleyiciler aynı zamanda kat ötelemelerinin kontrolünde ve yapısal rijitliğin artırılmasında kullanılabilmektedir.

3.7.3 Mimarinin Etkisi

Viskoz akışkanlı sönümleyiciler genellikle çerçeve sistemlere monte edildiğinden, duvarların ya da bölmelerin arkasına saklanabilir, bu sayede yapının mimari bütünlüğünü bozmadan

uygulanabilir. Sönümleyicinin sergilendiği yapılarda, sönümleyici binanın bir görsel ögesi olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.67).



Şekil 3.67 Viskoz akışkanlı sönümleyicilerin yapılara kattığı görsel etki (Taylor Devices, 2008; FEMA, 2003.).

3.7.4 Çevresel Etkiler

Sönümleyicilerin yorulma, geleneksel olmayan malzeme kullanımı, toz, UV etkisi, hareket, aşınma gibi faktörlerden etkilenip etkilenmediğine dair yeterli çalışma yapılmadığından sağlıklı verilere ulaşılamamıştır. Ortam sıcaklığına dair etkiler daha önceki bölümlerde belirtilmiştir.

3.7.5 Yaşlanma

Yaşlanmanın yapı üzerindeki etkisi; uzun süreli yapı güvenilirliği ve hizmet süresi-maliyet etkileşimi açısından önemli bir sorun olmasına rağmen, viskoz sönümleme teknolojisinin uygulama açısından yeni geliyor olması ve binalara monte edilen sönümleyicilerin farklı sıcaklık, nem v.b. koşullar altında zaman içindeki davranışlarının test edilmemesi nedeniyle tam anlamıyla sağlıklı bulgulara ulaşılamamıştır.

3.7.6 Maliyet ve Sönümleyici Tipinin Seçimi

Viskoz akışkanlı sönümleyici montajı yapıya ek bir maliyet getirir ve verilen projede sönümleyici kullanılıp kullanılmayacağı, kullanılacaksa hangi modelin kullanılması gerektiği önemli bir tasarım kararıdır. Maliyet analizi, tasarım, fabrikasyon ve montaj aşamaları, sönümleyici seçiminde etkin rol oynayan etmenlerdir.

Sönümleyici tipinin seçiminde rol oynayan etkenler;

- Yer hareketi ve zemin koşulları,
- Yapının tipi,

- Performans hedefi ve tasarım depreminin büyüklüğü
- İhtiyaç duyulan kuvvet, yerdeğiştirme ve hıza uygun sönümleyici sayısı ve kapasitesi,
- Varolan yapısal elemanların, birleşimlerinin ve temellerin güçlendirilmesi gerekliliği,
- Montaj ve imalat detayları,
- İnşaat süresince iş ve kullanım faaliyetlerindeki duraksama,
- Gerekli bakım, teftiş ve yenileme maliyetleri

Yukarıda belirtilen etkenlerin çoğu kabul gören şekilde literatürde yerini almamış olup, bazıları ise sönümleyici teknolojisindeki gelişmelerle birlikte değişkenlik göstermektedir. Maliyet minimizasyonu ve sönümleyici seçimi için gerekli olan iki nokta, *sönümleyici özelliklerinin tam olarak anlaşılması* ve *sönümleyici tasarımında uygulanması* gerekli unsurlardır.

Eğer küçük hareketlerde sönüm artışı isteniyorsa viskoz akışkanlı sönümleyiciler hareketin her seviyesinde enerji sönümleme kapasitesine sahip oldukları için oldukça uygundur. Ayrıca yapı güçlendirilmesinde rijitlik artışı istenmiyorsa viskoz sönümleyici, maliyet ve montaj açısından muhtemelen en iyi seçim olacaktır.

4.SİSMİK TABAN YALITIM SİSTEMLERİ

4.1 Giriş

Dünyanın pek çok ülkesinde yapılar ve içinde yaşayan insanlar için büyük bir tehdit haline gelen depremlerin yıkıcı etkilerinden yapıları koruyabilmek için, depreme dayanıklı tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Geleneksel depreme dayanıklı tasarım yöntemlerinde yapılar ya şiddetli deprem kuvvetlerine dayanabilecek kadar "*güçlü*" ya da bu kuvvetler altında en azından yapının tamamen göçmesini önleyerek can kaybını en aza indirebilecek kadar "*sünek*" olacak şekilde tasarlanmaktadır. Geleneksel tasarım yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen *sismik taban yalıtım sistemlerinde* ise, başlıca felsefe yapıya aktarılan deprem kuvvetlerini azaltmak suretiyle yapıyı şiddetli depremlerden korumaktır. Depremlerden edindiği deneyimlerle deprem mühendisliğini ve deprem mühendislik teknolojilerini iyi kavrayan ülkelerde, sismik taban yalıtım sistemlerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu bölümde bir sismik taban yalıtım sistemi olan *kauçuk* bazlı taban yalıtım sistemi incelenecektir.

4.2 Kauçuk Sismik Taban Yalıtım Sistemlerinin Tarihçesi

Kauçuk sismik taban yalıtım sistemi konusunda, bilinen ilk çalışmalar **1876** yılında Tokyo Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden İngiliz araştırmacı *J. Milne* tarafından yapılmıştır. Sismoloji alanındaki çalışmaları yanında **1876** ile **1895** yılları arasında, sismik açıdan aktif bölgelerde bulunan binalar için, depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramının temellerini oluşturmuş ve ilk taban yalıtımlı bina¹ örneğini üretmiştir. Bu sistem **1909** yılında İngiliz tıp doktoru olan *J.A. Calantariet* tarafından geliştirilmiştir (Pekgökgöz, 2004).

Geçtiğimiz yüzyılda, yapıları depremin hasar verici etkilerinden korumak amacıyla birçok yalıtım sistemi (yapı ile zemin arasına kum tabaka, silindir veya bilye yerleştirmek v.b.) denenmiş ve Sivastopol (Ukrayna) başta olmak üzere dünyanın birçok yerinde uygulanmıştır. J.A. Calantariet, Santiago (Şili) sismoloji servisi yöneticilerine gönderdiği mektupta, depreme dayanıklı yapı tasarımı stratejisinde sismik taban yalıtım sisteminin ilk tanımlamasını yapmıştır (Pekgökgöz, 2004).

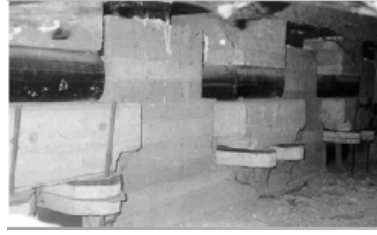
¹ Yapı, kazık tipi temel sisteminin kazık başlarına yerleştirilen iki hafif içbükey dökme demir plaka ve arasına konulan bilyeler üzerine oturtulmuştur. Bu yapı deprem ve rüzgar yüklerini de belirlemek üzere tasarlanmış tam donanımlı bir düzenek görünümündeydi. Birinci rapor sonucuna göre; yapı, sismik yüklere karşı dirençli bir tutum sergilemiş olsa da rüzgar yüklerine karşı yeterli dayanım gösterememiştir. Daha sonra J. Milne, sistemini değiştirerek 1886 yılında 2. raporunu yayınlamıştır. İlk raporda tanımlanan sismik taban yalıtımlı yapıda, 2.54 cm çapında bilyeler kullanılmışken 2. raporda bilyeler 20.32 cm ve 2.54 cm çapında alınarak rüzgar yüklerine karşı dayanım elde edilmiştir.

Kauçuk sismik taban yalıtım sistemi ilk defa **1956**'da *Pelham Bridge* (Lincoln, İngiltere)'de ısı genleşmeye karşı kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Pelham Bridge [43]

İlk kauçuk yalıtkan **1969** yılında, Üsküp'te (Yugoslavya) *Pestalozzi İlkokulu*'nda denenmiş, kauçuğun gösterdiği aşırı eksenel şekildeğiştirme nedeniyle bu tarihten sonra alternatif çalışmalara başlanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Pestalozzi İlkokulunda ilk kauçuk yalıtkan uygulaması (Apostolska, 2006).

Yapıda kauçuk yalıtım, kauçuk blokların üst üste dizilmesiyle oluşturulmuş, yapı ağırlığı ve düşük kayma rijitliği nedeniyle, yalıtkanlar yanlara doğru yayılma tarzında şekildeğiştirme yapmıştır (Şekil 4.3).



Sisteme yatay kuvvet uygulanıyor



Şekil 4.3 Kauçuk tabakalı yalıtkanın deformasyonu (Saito, 2005).

Kauçuğun tek başına tabakalar halinde yerleştirilmesinin olumsuz sonuçlar meydana getireceği görüldükten sonra **1969** yılından itibaren kauçuk taşıyıcıların arasına cam tabakalar yerleştirilmiştir. Ancak, cam tabakaların da bu defa basınç altında kırılması nedeniyle uygulamalara devam edilememiştir.

1970 yılında ise Yeni Zelanda'da kurşun çekirdekli kauçuk sismik taban yalıtım sistemleri geliştirilmiş ve testlere tabi tutulmuştur. Sistemin ilk örneği ise 1981 yılında *William Clayton* (Wellington) binasında sergilenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 William Clayton binası [40].

Kauçuk sismik taban yalıtım sistemi 1989 yılında *ilk kez restorasyon* amacıyla *City and County Building* (ABD)'te kullanılmıştır.

Bu sistem, en verimli uygulamalarını son 20 yıl içinde vermiştir. Güçlendirilmiş çelik levhalarla kauçuk tabakaların yüksek sıcaklık ve basınç altında birleştirilmesiyle çok tabakalı kauçuk taşıyıcılar geliştirilmiş ve dünyada sismik yüklerin sönümlenmesi açısından en çok kullanılan sistem olmuştur.

4.3 Kauçuk Sismik Taban Yalıtım Sistemlerinin Ülkelere Göre Kullanımları

Kauçuk sismik taban yalıtım sistemleri ABD, Kanada, İtalya, Yeni Zelanda, Japonya, Güney Kore, Tayvan, Çin Halk Cumhuriyeti, Endonezya ve Ermenistan başta olmak üzere dünyanın birçok ülkesinde yaygın olarak kullanılmıştır. (Şekil 4.5) [38;39].



Şekil 4.5 Kauçuk sismik taban yalıtım sistemlerinin yaygın uygulandığı ülkeler (Saito, 2005).

4.3.1 ABD

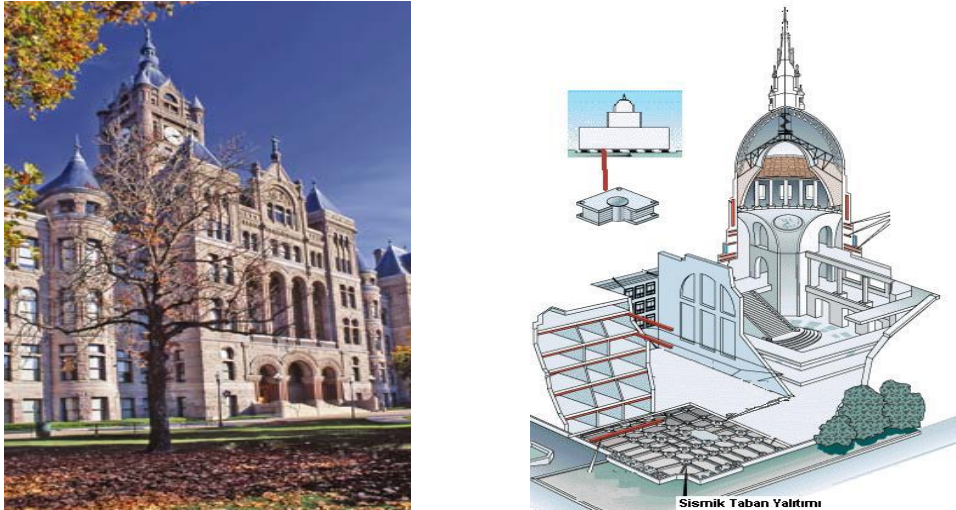
ABD’de **1985** yılından itibaren kullanılmaya başlanmış, **2005** yılının ortasına kadar, ~80 binada kauçuk sismik taban yalıtımı uygulanmıştır. Kobe ve Northridge deprem kayıtlarına göre testleri yapılan ve olumlu sonuçlar alınan sistem, bu tarihten sonra oldukça hızlı şekilde üretilmeye ve yapılarda kullanılmaya başlanmıştır.

ABD’de uygulaması yapılan *ilk bina*, **1985** yılında inşa edilen ve 98 adet yüksek sönümlü doğal kauçuk yalıtkan kullanılan *Foothill Communities Law Justice Center* (California)’dir (Şekil 4.6).Yapılan ölçümlerde yapıda % 10-20 sönüm düzeyinde artış olduğu görülmüştür (FEMA, 2005).



Şekil 4.6 Foothill Communities Law Justice Center [32].

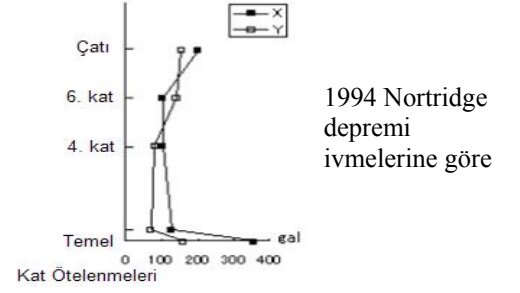
1989 yılında bu sistem ile *restore edilmiş ilk, sistemin uygulandığı ikinci yapı City and County Building* (Utah)’tir (Şekil 4.6). Binanın restorasyonu sırasında 208’i kurşun çekirdekli olmak üzere toplam 447 kauçuk yalıtkan kullanılmıştır.



Şekil 4.7 City and County Building [41; 42]

1992 yılında inşa edilmiş 7 katlı *USC University Hospital* (Los Angeles), bu sistemin kullanıldığı *ilk hastane* olma özelliğine sahiptir (Şekil 4.8). $M_0=8.2$ büyüklüğünde bir

depreme dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Yapıya 68'i kurşun çekirdekli olmak üzere toplam 149 kauçuk yalıtkan yerleştirilmiştir.



Şekil 4.8 USC University Hospital (Saito, 2005).

2002 yılında güçlendirilen 660 m uzunluğunda çelik bir köprü olan *Poplar Street Bridge* (Mississippi Nehri, St. Louis)'de 88 adet kurşun çekirdekli yalıtkan kullanılmıştır (Şekil 4.9) ($\Delta = \pm 180$ ve 230 mm). Yapı güçlendirme maliyeti 6.2 milyon \$ olmuştur. (Capron, 2004)



Şekil 4.9 Poplar Street Bridge ([43]; Capron, 2004)

4.3.2 Yeni Zelanda

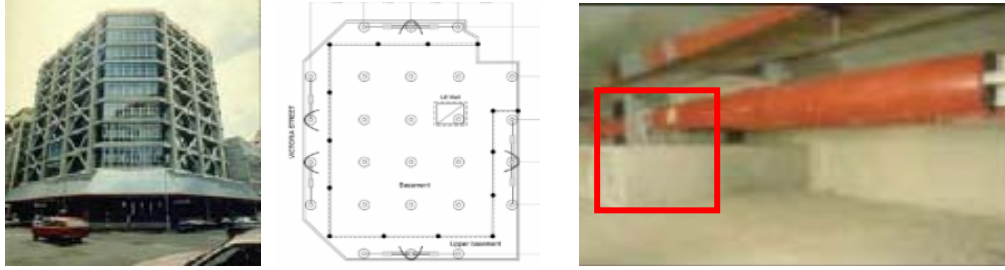
Kauçuk sismik taban yalıtım sisteminin *ilk uygulandığı ülke*, Yeni Zelanda'dır. Sistem, ilk kez düşük sönümlü kauçuk yalıtkanlar ile **1981** yılında *William Clayton* (Wellington) binasında uygulanmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 The William Clayton Building [44].

Daha sonraki aşamalarda köprülerde kullanılmaya başlanan sistem, günümüzde bütün yapı tiplerinde uygulanmaktadır.

1990 yılında tamamlanan *Wellington Central Police Station*'da 25 adet kauçuk yalıtkan kullanılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 The Wellington Central Police Station, yapıda kullanılan kauçuk taban yalıtkanı (Robinson, 2000).

1992 yılında güçlendirilen *Parliament House*'da 417 adet kauçuk yalıtkan kullanılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Parliament House ve yapıda kullanılan sismik taban yalıtkanı (FEMA, 2005).

1994 yılında güçlendirilen *Assembly Library*'de 24 tane kurşun çekirdekli kauçuk yalıtkan kullanılmıştır (Şekil 4.13)



Şekil 4.13 Assembly Library'nın güçlendirilmeden önceki ve sonraki durumu (Robinson, 2000; [45]).

1998 yılında *Te Papa Tongarewa Museum* 152 adet kurşun çekirdekli kauçuk yalıtkan kullanılarak ve %80 oranında sönüm oranı hedef alınarak inşa edilmiştir (Şekil 4.14). Sismik

yalıtkanlar daire yerine kare kesitlidir. Yapı $M_0=7.5$ büyüklüğündeki bir depreme dayanacak şekilde tasarlanmıştır. 64000 ton yapı ağırlığı ile Güney yarımkürede kauçuk sismik taban yalıtımı uygulanmış *en büyük* yapıdır.



Şekil 4.14 Te Papa - Museum of New Zealand ve yapıda kullanılan kauçuk taban yalıtkanı (Robinson, 2000; [46]).

1999 yılında *Old BNZ Building* ve *Maritime Museum* kurşun çekirdekli kauçuk yalıtkan kullanılarak güçlendirilmiştir (Şekil 4.15).



(a)



(b)

Şekil 4.15 a) Old BNZ Building b) Maritime Museum (Robinson, 2000).

2005 yılında *Christchurch Women Hospital* kurşun çekirdekli kauçuk yalıtkan kullanılarak inşa edilmiştir.(Şekil 4.16)



Şekil 4.16 Christchurch Women Hospital [47].

4.3.3 Japonya

Kauçuk sismik taban yalıtımının dünya üzerinde en fazla uygulandığı ülkelerden biri olan Japonya’da sistem, Yapı Uygulama Yönetmeliğine dahil edilmiştir.

1991 yılında güçlendirilen *Miyagawa Bridge* (Shizuoka), Japonya’nın ilk kauçuk sismik taban yalıtımlı köprüsüdür (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 Miyagawa Bridge ve yalıtım detayı (Ervin, 2002).

2000 Japonya’daki ilk kauçuk sismik yalıtımlı hastane *Kyorin University School of Medicine*’in (Tokyo) temel sisteminde 50 adet kauçuk yalıtkan kullanılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 Kyorin University School of Medicine ve yalıtım detayı (Saito, 2005).

4.3.4 Tayvan

Tayvan’da uygulamalara köprülerde başlanmış olup, günümüzde konutlarda bile uygulanır hale gelmiştir.

2003 yılında tamamlanmış olan *Taiwan High Speed Rail Section C270* (Yun Lin)’de 34 adet kurşun çekirdekli yalıtkan kullanılmıştır (Şekil 4.19). ($\Delta = \pm 125 \text{ mm}$).



Şekil 4.19 Taiwan High Speed Rail Section C270 [48].

4.3.5 Güney Kore

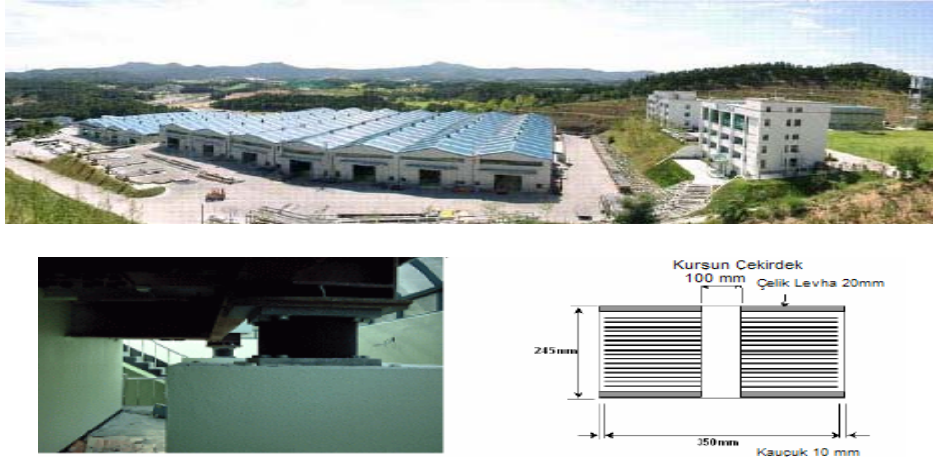
Güney Kore'deki ilk uygulamalar tank tabanlarında yapılmıştır. Daha sonra dünya üzerindeki gelişmelere paralel olarak, köprülerde ve binalarda da uygulanmıştır.

Güney Kore, kauçuk sismik taban yalıtım sistemiyle **1980**'li yıllarda yapılan *LNG terminal depo tankları* (Inchon) ile tanışmıştır. Sistem -28°C ' de test edilmiş (kauçuk tabakaların rijitliklerinde çok büyük değişimler olmamış) ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 LNG terminal depo tankı ve kauçuk sismik yalıtım detayları (Saito, 2005).

1997 yılında yapılmış olan *Unison Research and Development Center* Güney Kore'nin *ilk kauçuk sismik taban yalıtımlı binasıdır* (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Unison Research and Development Center (Saito, 2005).

2009 yılında Güney Kore'de kauçuk sismik taban yalıtımlı yeni *Jindo Bridge* (Şekil 4.22) ve 2 binanın inşası tamamlanmış olup, bir binanın yapımına da halen devam edilmektedir.



Şekil 4.22 2nd Jindo Bridge [49].

4.3.6 Çin

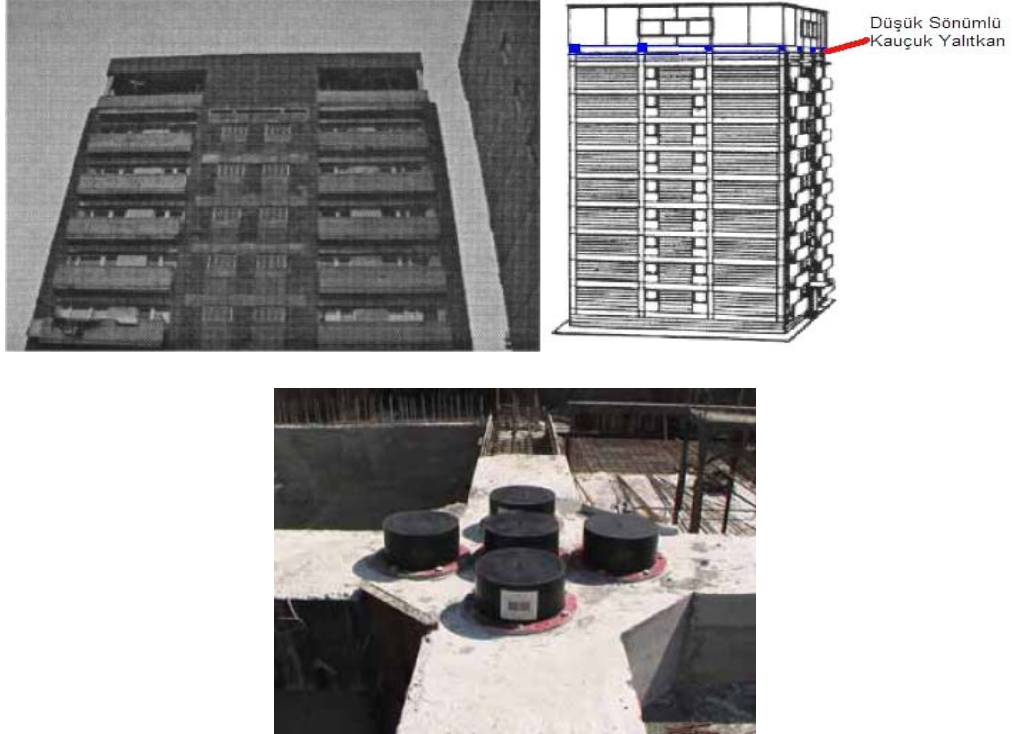
İlk kez **1991** yılında kullanılmaya başlanan sistem, günümüze kadar ~600 tane binada uygulanmıştır. Sistemin olumlu ve olumsuz yönleri maketleri yapılarak gözlemlenmektedir. Bu sistem ile metro istasyonunun üzerine 35 adet 2 katlı yapı inşa edilmiştir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Çin’de metro istasyonu üzerine inşa edilen kauçuk sismik taban yalıtımlı binalar (Saito, 2007)

4.3.7 Ermenistan

ABD, Yeni Zelanda, İtalya, Japonya, Güney Kore, Tayvan, Çin Halk Cumhuriyeti ve Endonezya’dan sonra, sistem Ermenistan’da farklı katlarda uygulama olanağı bulmuştur (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 Üst katta (9. kat) uygulanmış bir kauçuk sismik yalıtımı (Vanadzor) (Saito, 2005; Melkumyan, 2009).

Bu sistem, **1998** yılına kadar 10, **1998–2000** yılları arasında 12, son 9 yıl içinde 33 adet yapıda (bu yapılar genelde 10-20 katlıdır) uygulanmıştır (Şekil 4.25)



Şekil 4.25 Yerevan’da yapımı devam etme olan kauçuk sismik taban yalıtımlı yapılar (a) Our Yard, 10-16 katlı çok işlevli konut, (b) Elite Plaza, 20 katlı iş merkezi, (c) 13 katlı çok işlevli konut (d) Cascade, 11 katlı çok işlevli konut (Melkumyan, 2009)

4.3.8 Makedonya

Dünyada ilk kauçuk taban yalıtımı, 1969 yılında Yugoslavya’nın Üsküp şehrinde İsviçreli mühendisler tarafından üç katlı *Pestalozzi İlkokulu*’nda denenmiştir. Yapıda taşıyıcı olarak kullanılan kauçuk bloklarda, yapı ağırlığı nedeniyle büyük eksenel şekildeğişiklikler gözlenmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26 Pestalozzi İlkokulu ve kullanılan sismik taban yalıtkanları (Saito, 2005).

4.3.9 Türkiye

Sistemin Türkiye’deki ilk uygulaması *İzmit Tüpraş LNG Tankları*’dır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 İzmit Tüpraş LNG Tankları kauçuk sismik taban yalıtkanı (Forni, 2005).

Sistemin ikinci uygulaması da *Kazancı Gümüşova Anadolu Köprüsü*'dür (Şekil 4.28).

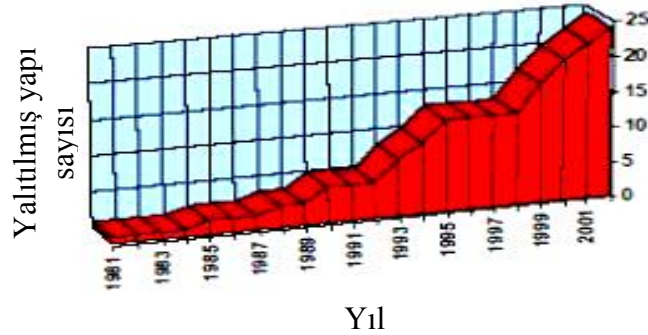


Şekil 4.28 Kazancı Gümüşova Anadolu Köprüsü [50].

Sistemin son uygulaması ise *Bolu Viyadüğü*'dür.

4.3.10 İtalya

İtalya'da deprem bölgelerine göre yapılan, projelendirilen ve yapımı tamamlanan kauçuk sismik taban yalıtımlı yapıların, ülke içindeki dağılımları son yıllarda artış göstermiştir (Şekil 4.29). 1981 yılından itibaren ilk 5 yılda yapılan yapı sayısı 1 adet ile sınırlı iken 2006 yılında uygulanan bina sayısı 50'dir.



Şekil. 4.29 Sistem uygulamalarının yıllara göre dağılımları (Saito, 2005).

1992 yılında yapılmış olan *Telekom March Bölge Merkezi* (Ancona) İtalya'da yapılmış olan 2. sismik taban yalıtımlı binadır (Şekil 4.30). Yapıda yüksek sönümlü doğal kauçuk yalıtkanlar kullanılmıştır.



Şekil 4.30 Telekom March Bölge Merkezi [51].

1992 yılında Squillace’ deki kauçuk sismik taban yalıtımı uygulaması yapılan *ilk konut*, hatalı tasarım olasılığına karşı uygulanmış yüksek dayanımlı yalıtım sistemlerinin ilk örneğidir. Dört katlı yapıda düşük sönümlü ve yüksek sönümlü kauçuk yalıtkanlar birlikte kullanılmıştır (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 İtalya’da kauçuk sismik taban yalıtımlı ilk konut (Saito, 2005).

2003 yılında tamamlanan *Rapolla House*’de (Potenza) yüksek sönümlü doğal kauçuk yalıtkanlar sürtünmeli taban yalıtkanları ile beraber kullanılmıştır (Şekil 4.32) ($\Delta = 180$ mm).



Şekil 4.32 Rapolla House (Saito, 2005).

Günümüzde İtalya’da kamu binaların büyük çoğunluğunda bu sistem uygulanmaktadır. Yapımı devam etmekte olan *Gervasutta Hospital* (Udine) bunun en güzel örneklerinden biridir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33 Gervasutta Hospital ve kauçuk taban yalıtkanlar (Saito, 2005).

4.4 Kauçuk Sismik Taban Yalıtım Sistemlerinin Özellikleri

Kauçuk sismik taban yalıtım sistemleri, temel ile temel üst yapısı arasına monte edilen ve üst taşıyıcı sistemin, zemine göre büyük yerdeğiştirme yapmasına izin veren yalıtkanlardan meydana gelmektedir. Sistemde, temel eleman olarak *kauçuk* tabakalar kullanılmakta olup, *çelik plakalar* ve gerekli görüldüğü durumda *kurşun çekirdekler* ilave edilmektedir.

4.4.1 Kauçuk Tabakalar

Kauçuk, gerilme uygulandığında molekül yapısı gereği çok büyük şekildeğiştirmeler yapabilen (%500–1000 mertebesinde), gerilme kaldırıldığında ise, ilk boyutlarına geri dönebilen, elastisite modülü çok düşük (20°C’de düşük sönümlü kauçuklarda $E=0.15-0.24$ GPa; yüksek sönümlü kauçuklarda $E=0.55-1$ GPa) malzemelerdir (Sağlam ve Özkul, 1996). Yatayda esneklik, düşeyde rijitlik özelliği ile yüksek sönüm sağlayan kauçuk tabakalar, doğal ve yapay (sentetik) kauçuk olmak üzere 2 çeşittir.

4.4.1.1 Doğal Kauçuklar

Konuşma dilinde lastik diye adlandırılan doğal kauçuk, ham maddesi tropikal ağaçlardan elde edilen bitkisel bir üründür. Kauçuk üretiminde en çok kullanılan Brezilya kauçuk ağacı *Hevea Brasiliensis*’dir.

Kauçuğun ilk seri üretim yeri de Brezilya’dır. Modern kauçuk imalat endüstrisi 1839 yılında, kauçuğun kükürtle sertleştirilmesi (vulkanizasyon²) işlemiyle başlamıştır. Kauçuğun tarihçesiyle ilgili detaylı bilgi Ek 4’de verilmektedir.

- Doğal Kauçuğun Özellikleri;

Kauçuk; yumuşaklık, dayanıklılık, elastikiyet, su ve hava geçirmeme özelliği, yapıştırıcılık ve elektriğe karşı direnciyle çok önemli bir üründür. Doğal kauçuk tekrar tekrar uzatılmasına rağmen hemen hemen orijinal boyutlarına geri gelir. Bu özelliği de kauçuğu, yapay kauçuktan (neopren) ve diğer bütün maddelerden ayırır.

- Doğal Kauçuk Üretimi;

Doğal kauçuk, kauçuk ağacının (*Hevea brasiliensis*) kabuğundan akan sütümsü öz sudan (*lateks*) elde edilir (Bu ağacın en iyi yetiştirildiği bölgeler ekvatorun çevresidir). Ağaçların gövdeleri üzerine demir bıçaklarla V şeklinde yarıklar açılır ve yarıklardan akan süt (*lateks*) kaplarda toplanır (Şekil 4.34). Lateksin ~% 30-40’ı kauçuktur. Kauçuğu elde etmek için

²VULKANİZASYON, geniş bir sıcaklık aralığında dayanıklılık göstermesi ve biçim alması için ham kauçuğun kükürtle birleştirilmesi işlemidir. İşlemle ilgili detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde verilecektir.

lateksin koagüle edilmesi (pıhtılaştırma) gerekir. Bu işlem için asetik asit veya formik asit kullanılır. Böylece elde edilen kauçuk topaklar halindedir ve çekilebilir özelliktedir. Fakat elde edilen ürün kopmaya dayanıklı değildir. Lastik haline getirilebilmesi için, kauçuğun kükürtle 135-160°C’de vulkanizasyonu gerekir. % 12-20 oranında kükürt taşıyan kauçuk, *lastik* adını alır. Daha fazla kükürt (~% 30) kullanılırsa bu takdirde kauçuk sertleşir ve *ebonit* adını alan ve elektrik yalıtkanı olarak kullanılan bir ürün elde edilir.

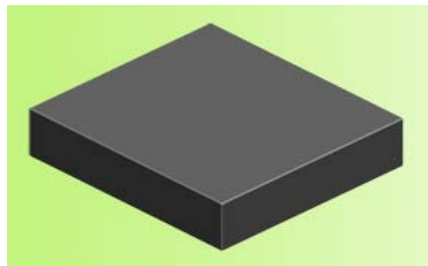


Şekil 4.34 Doğal kauçuğun kauçuk ağacının kabuğundan elde edilişi [52; 53].

4.4.1.2 Yapay (Sentetik) Kauçuklar

Yapay kauçuk, **1906** yılında Almanlar tarafından, çok ekonomik ve bol miktarda elde edebilmek için üretilmiştir. Sentetik kauçuklar, tabii kauçuğun niteliklerinde olmamakla beraber, hızlı üretim açısından oldukça elverişlidir. Günümüzde ABD başta olmak üzere en çok Japonya, Almanya ve Fransa’da petrol arıtma sistemlerinin yakınlarında kurulan fabrikalarda üretilmektedir.

Sentetik kauçuk *Neopren*, kloroprenden (klor butadien) $[CH_2-CH=CCl-CH_2]_n$ üretilir. Kloropren’e, kalıba konduktan sonra, ısı ve basınç uygulanır. Isıtmada kauçuk yumuşar ve kalıbı dolduracak biçimde akar. Aynı anda, kükürt kauçukla birleşerek kalıcı bir biçim almış vulkanize ürünü verir (Şekil 4.35) [54].



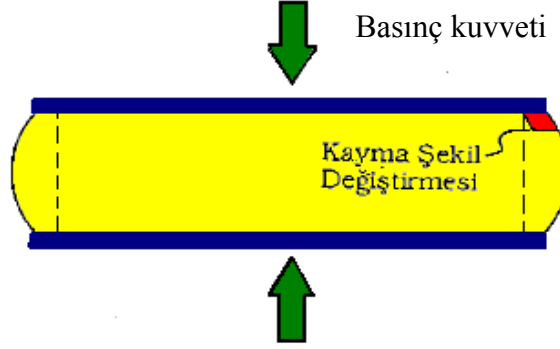
Şekil 4.35 Kalıba dökülerek yapılmış yapay kauçuk yalıtkan [63].

4.4.1.3 Kauçukların Teknik Özellikleri

Kauçukların moleküler yapıları bükülmüş ve birbirine çapraz dolanmış, çok uzun ve kıvrımlı molekül zincirlerinden oluştuğundan; oda sıcaklığında kuvvet etkimesiyle çaprazların açılması ve bağ dönmesi sonucu, çok büyük şekildeğişiklikler yapabilmektedir (Camgöz, 2002; Sağlam ve Özkul, 2000).

- Kauçuğun Basınç Altındaki Davranışı

Kauçuk tabakalara basınç kuvveti etkidiğinde, kauçukta oluşan basınç kuvveti ve şekildeğişiklikler sonucu, kauçuk tabakanın dışarı taşması ile artan düşey şekildeğişiklikler meydana gelir (Şekil 4.36). Kauçuğun tam anlamıyla sıkışmadığı ve yüklenen yüzeylerde yanal hareketlerin önlenmediği kabul edilirse; taşan kauçuğun hacmi, yalıtkanın düzlem alanının, çökme miktarı ile çarpımına eşit olur (Sağlam ve Özkul, 2000).



Şekil 4.36 Doğal kauçuğun basınç altında şekildeğişikliği (Sağlam ve Özkul, 2000).

Kauçuğun yük altındaki dayanımının büyüklüğü, mesnedin geometrisi ve içindeki katkı maddelerinin özelliklerine bağlıdır. Rijit kauçuklar, esnek kauçuklardan daha az dışarı taşarken, aynı düzlem boyutlarındaki kalın tabakalar, ince tabakalara oranla daha fazla dışarı taşmaktadır.

Sistemde rijitliği yüksek bir kauçuk kullanmak kayma şekildeğişikliklerini azaltırken, aynı zamanda yalıtkanın yapısal hareketleri karşılama yeteneğini düşürdüğünden; yalıtkan davranışını kontrol etmenin ideal yöntemi, yalıtkanın geometrisi ve mekanik büyüklüklerini her duruma göre özel tasarlamaktır (Ateş ve Dumanoglu, 2003).

- Kauçuğun Kayma Altındaki Davranışı

Kauçuk yalıtkanın lineer davrandığı kabul edilirse kayma kuvveti, kayma şekildeğişikliği

$$F = G A \gamma \quad (4.1)$$

$$\gamma = \Delta_s / t \quad (4.2)$$

olarak tanımlanır. Burada F deformasyonu oluşturan kayma kuvvetini, A düzlem alanını, G malzemenin kayma modülünü, γ kayma şekildeğiştirmesini, Δ_s yanal şekildeğiştirmeyi ve t toplam kauçuk kalınlığını ifade etmektedir.

Kauçuk yalıtkanlarda yatay rijitlik, lineer davranış gösteren kauçuğun kayma şekildeğiştirmesine bağlıdır. Kauçuğun kayma rijitliğinin düşük olması nedeniyle bu mesnetlerin yatay rijitliğinin,

$$k_h = \frac{GA}{t} \quad (4.3)$$

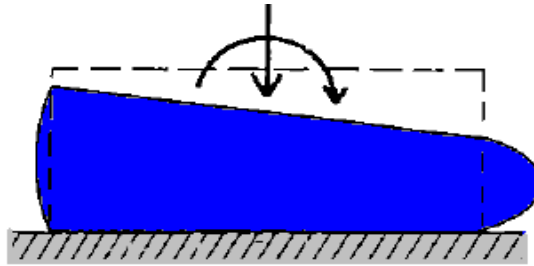
düşey rijitliğine oranı oldukça düşük mertebededir ($\sim 1/100$ - $1/500$ kadar).

Kauçuk sismik taban yalıtım sistemlerinde oluşan kayma kuvvetleri, alt yapının hasar görmeden dayanım gösterebileceği sınırlarda kalmalıdır. Kayma şekildeğiştirmeleri sadece kayma rijitliğine bağlı olduğundan, yalıtkan bu yönde oldukça esnektir (Sağlam ve Özkul, 2000).

Son yıllarda yapılan deneysel çalışmalar; yastıkların geometrik özelliklerinin, davranış ve kırılma modlarını belirleyen önemli faktörlerden biri olduğunu göstermiştir (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005).

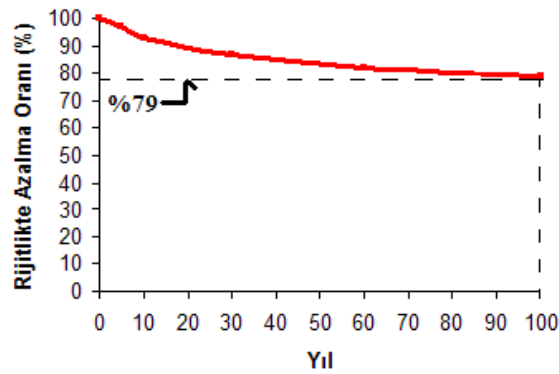
Kauçuk tabakalara eklenen katkılar ve bu katkılarının oluşturdukları molekül bağlarının farklı olması, yalıtkanın mekanik karakteristikleri üzerinde etki oluşturmaktadır. Kauçuk yalıtkanlar çevre koşulları, nem ve sıcaklık ve uzun dönemde yalıtkana uygulanan basınçtan etkilenmektedir.

Ayrıca kauçuk yalıtkanlarda, kauçukta meydana gelebilecek dönmeye karşı, yalıtkanın stabilitesini bozmadan, gerekli dönmeyi karşılayabilecek kadar esneklik istenmektedir. Çünkü moment etkisi altındaki yalıtıkanda, kauçuk tabaka basınç alan bölgeden dışarı taşarken, çekme bölgesi içeriye doğru çekilir. Ancak dönme çoğu zaman basınçla birlikte etkidiğinden, yalıtkan Şekil 4.37'deki halini alır ve önemli gerilmeler oluşur (Sağlam ve Özkul, 2000).



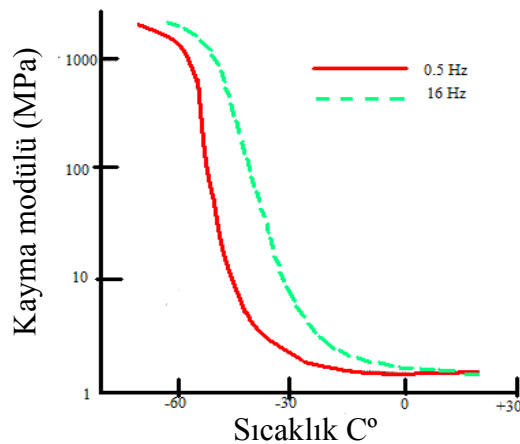
Şekil 4.37 Kauçuk yalıtıkanda dönme (Sağlam ve Özkul, 2000).

Yapılan testlerde, kauçuk yalıtkanların rijitliğinin 100 yıllık bir sürede %21 azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.38). Ayrıca Kulak ve Hughes (1994) kaynağına göre 100 yıllık bir sürede yalıtkanın frekansında da %10'luk bir azalma tespit edilmiştir. Lai ve Lunsford (1994), sismik taban yalıtımı rijitliğindeki azalmanın sebebinin, kauçuk tarafından emilen *nem* olduğunu ileri sürmüştür. Rijitlik azalmasının, yalıtkanın bir vakum fırına koyularak ısıtıldığında ortadan kaldırılabileceği ispatlanmıştır. Uzun süre (en az 150 yıl) kalacak yalıtıkanda stabil rijitlik için, yalıtkan yerleştirilmeden önce, gerçek yerleşim ve çevre şartlarının göreceli nem şartları için dengelenmesi gerekmektedir (yüksek nem koşullarında ve 40 °C gibi düşük sıcaklıklarda kauçuğun rijitliği azalmaktadır)



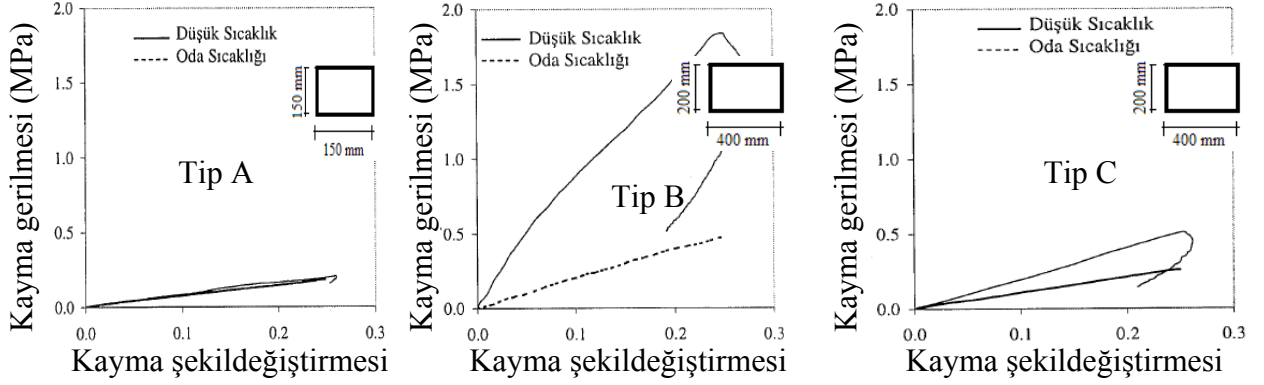
Şekil 4.38 Kauçuk yalıtıkandaki yüksek nem koşullarında rijitlik değişimi (Kulak ve Hughes, 1994 kaynağından grafikleştirilerek).

Kauçuk mesnetin rijitliği (bunun yanında çekme dayanımı ve basınç altındaki kalıcı şekildeğiştirmesi) kauçuk soğudukça artar. Örneğin, -20C°'den düşük sıcaklıklarda, sıcaklığın azalmasıyla beraber kayma modülü artmakta, sıcaklığın eski haline geri gelmesiyle mesnet eski özelliklerini geri kazanmaktadır (Şekil 4.39). -40 C°'den düşük sıcaklıklarda ise kauçuk, rijitliğindeki ani ve aşırı artış nedeniyle, çok sert ve cam gibi kırılgan hale gelir ve gevrek bir davranış sergilemeye başlar.



Şekil 4.39 Sıcaklığın kayma modülüne etkisi (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005).

Yapılan deneylerde; sıcaklıktan sonra kayma modülüne etkileyen en önemli unsurlardan birinin de, kauçuğun cinsi (yapay ya da doğal) ve boyutları olduğu tespit edilmiştir. Doğal ve yapay kauçuğun farklı kesit geometrisi için rijitlik değişimi Şekil 4.67’de verilmiştir. Buna göre doğal kare kauçuk mesnette düşük sıcaklıklarda rijitlik, normal oda sıcaklığıyla neredeyse aynı olurken; doğal dikdörtgen mesnette rijitlik iki kat, yapay kauçuk dikdörtgen mesnette ise rijitlik ~4 kat artış göstermiştir. Fakat sıcaklığın eski haline getirilmesiyle kısa sürede her üç mesnet de eski özelliklerini geri kazanmıştır (Şekil 4.40) (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005).



(a) Kare kesitli doğal kauçuk yalıtkan (b) Dikdörtgen kesitli yapay kauçuk yalıtkan

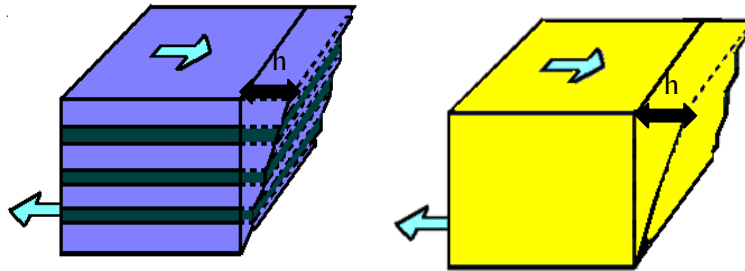
(b) Dikdörtgen kesitli doğal kauçuk yalıtkan

Şekil 4.40 Sıcaklığın kayma modülüne etkisi (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005)

4.4.2 Çelik Plakalar

Kauçuk malzemenin yapı ağırlığı altında şişerek şekil değiştirme yapmasını engelleyen ve düşey yönde yüksek rijitlik sağlayan çelik ara plakalar minimum % 20 şekil değiştirme kapasitesine (süneklik) sahiptir. Çelik plakalar, korozyona karşı zayıf malzemelerdir.

Çelik plakalar yalıtkanın kayma rijitliğine herhangi bir etkide bulunmamaktadır. Yani kauçuğun toplam yatay şekil değiştirmesi, çelik tabakaların varlığı ile (toplam kauçuk kalınlığı için) değişmemektedir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41 Kauçuk yalıtkanın çelik takviyeli ve takviyesiz halde kayma kuvveti etkisiyle meydana getirdiği yatay hareket (Sağlam ve Özkul, 2000).

Yalıtkan içindeki kayma gerilmeleri çelik üzerinde çekme gerilmelerine neden olur ve her ikisi de yalıtkan üzerine etkiyen basınç gerilmesiyle orantılıdır. Çelik, yüksek çekme dayanımı ile sistemde çekme gerilmesine bağlı olarak ortaya çıkabilecek problemleri ortadan kaldırmaktadır (Sağlam ve Özkul, 2000).

Tasarımda çelik tabakaların sayısı, yapı düşey frekansının yatay frekansa oranı 15-20 olacak şekilde belirlenmektedir.

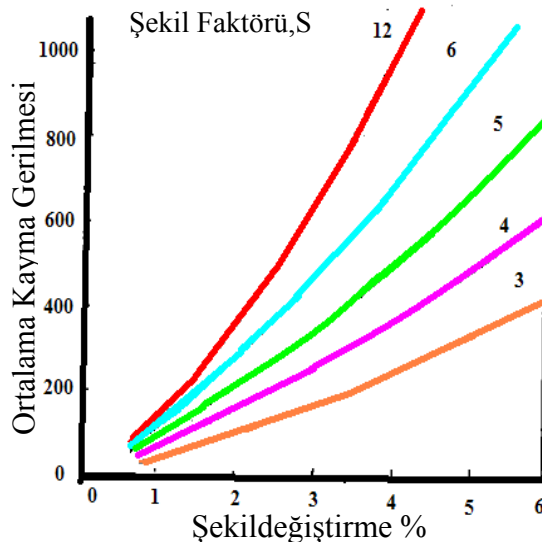
Sismik taban yalıtımlarında *performansı belirleyen unsurlar*; kauçuk yalıtkanların *geometrik özellikleri*, *kauçuğun mekanik özellikleri* ile *kauçuk tabaka ve çelik plakaların adedi/kalınlıklarıdır* (Pınarbaşı ve Akyüz, 2005).

Kauçuk tabakaların arasındaki çelik plakaların rijit kalacağı kabul edilerek, kauçuk yalıtkanın geometrisi, şekil faktörü S ile (4.4) bağıntısında ifade edilmiştir.

$$S = \frac{LW}{2t_e(L+W)} = \text{Yüklenen alan/ Taşan alan} \quad (4.4)$$

Burada L , W ve t_e dikdörtgen tabakanın sırası ile uzunluğu, genişliği ve kalınlığını ifade etmektedir.

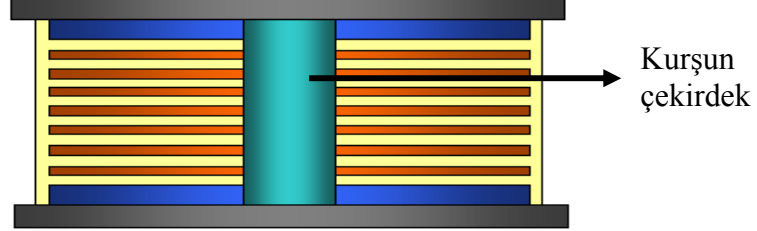
Yukarıdaki ifadede S genellikle 3-12 arasında değer almaktadır. Tabakaların ince ve taşmaların küçük olması durumunda şekil faktörü (S) büyür ve gerilmenin azalmasını sağlar. Ortalama kayma gerilmesi ve şekildeğiştirme arasında (veya yük ile çökme arasında), S 'e bağlı doğrusal olmayan bir ilişki vardır (Şekil 4.42), S 'deki artış, kayma rijitliğini arttırmaktadır.



Şekil 4.42 Şekil faktörünün ortalama kayma gerilmesi ve şekildeğiştirme ile ilişkisi (Sağlam ve Özkul, 2000).

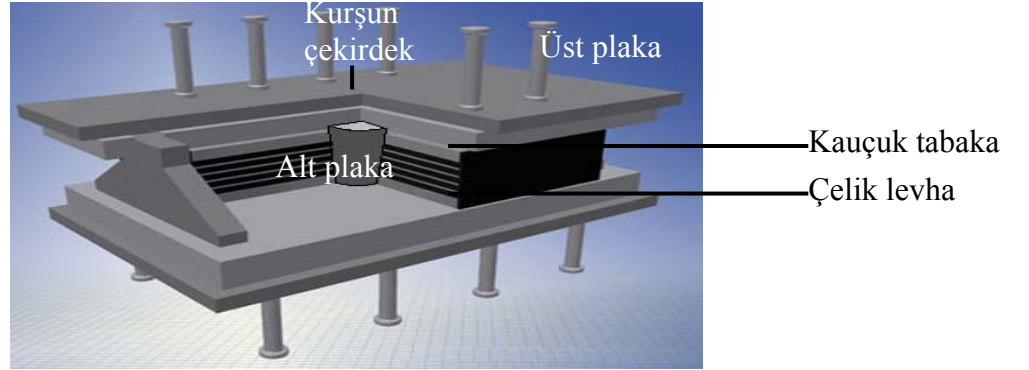
4.4.3 Kurşun Çekirdekler

Kauçuk yalıtkanların tek dezavantajları, ek bir sönüm istemine ihtiyaç duymalarıdır. Bu ihtiyacın giderilmesi için, çelik akma aletlerinden meydana gelen enerji yutan elemanlar yerine, ilk kez 1970’li yıllarda Yeni Zelanda’da kurşun³ çekirdekler kullanılmıştır (Şekil 4.43).



Şekil 4.43 Kurşun çekirdekli yalıtkan (Türker, 2005).

Kurşun çekirdek, yalıtkanın içinde çelik ve kauçuk tabakaların vulkanizasyonundan sonra kesilerek oluşturulmuş delik ya da deliklere sokulmuş olarak, bir yada birden çok sayıda kullanılabilir (Şekil 4.44). Sistemde kullanılan kurşun çekirdeklerin çapları, kurşun çekirdeğin sistemle bütünleşebilmesi için, yalıtkanın açılan delik çapından daha büyüktür. Böylece kurşun çekirdek, kauçuk ve kullanılmışsa çelik tabakalar arasında basınç uygulanarak yerleştirilmekte ve yatay etkilere karşı sistemin bütün halde çalışması sağlanmaktadır.



Şekil 4.44 Kurşun çekirdekli taban yalıtkanı [56].

Yalıtkan, yatay yüke maruz kaldığında, kurşun çekirdeği şekil değiştirmeye zorlamakta, kurşun ise fiziksel olarak şekil değiştirmemektedir. Böylece kurşun çekirdek yalıtkanın yatay

³ Kurşunun 10 MPa gibi düşük gerilmeler altında akmaya başlaması ve elasto-plastik bir katı gibi davranması, uğradığı plastik şekil değiştirmelere rağmen zamanla kendini yenileyebilmesi ve tekrarlı yükler altındaki metal yorgunluğuna karşı dirençli olması, onu en uygun çekirdek malzemesi yapmıştır (Ercan ve Nuhoğlu, 2005).

şekildeğiştirmesini azaltmakta, prensip olarak *ek bir sönümleyici* gibi davranmaktadır. Şekil 4.45’ da kurşunun gerilme-şekildeğiştirme eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.45 Kurşunun çekme kuvveti ile gerilme-şekildeğiştirme grafikleri [55].

Kurşun çekirdeğin varlığı yanal doğrultuda *lineer* davranış gösteren kauçuk *izolatörlere*, *lineer olmayan* davranış ve ilave rijitlik özelliği kazandırır. Ayrıca kurşunun akma dayanımına ulaşması ile enerji yutma ve sönüm kapasitesinde ilave artış, yerdeğiştirmelerde ise azalma meydana gelir. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtkanların kullanımı deprem ve rüzgar yüklerinin yanında, özellikle *düşük titreşim* (araç vb. etkisi) söz konusu olduğunda yerdeğiştirmenin azaltılmasında da çok etkindir.

4.5 Kauçuk Sismik Taban Yalıtkanların Üretimi

Kauçuk yalıtkanlar genelde ince çelik tabakaların arasına vulkanize kauçuk elemanların kat kat yerleştirilip yüksek ısı altında yapıştırılmasıyla meydana gelmektedir.

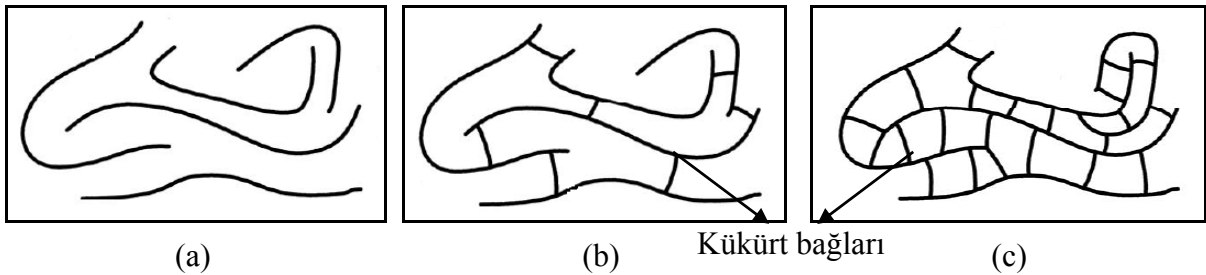
1969 yılından bu güne kadar sismik taban yalıtımında temel sönümleme elemanı olarak kullanılan kauçuk, blok haline getirilmeden önce biçim alması ve geniş bir sıcaklık aralığında dayanıklılık göstermesi için kükürtle birleştirilmesi gerekmekte olup, bu işleme *kauçuğun vulkanizasyonu* denilmektedir (Şekil 4.46).



Şekil 4.46 Kauçuğun vulkanizasyonu [56; 57; 55].

Ham kauçuk ancak sınırlı bir sıcaklık aralığında esneklik gösterdiğinden, ısıtıldığında yumuşar ve sakız gibi olur, soğutulduğunda ise sertleşip kırılganlaşır. Kükürtle karıştırılıp

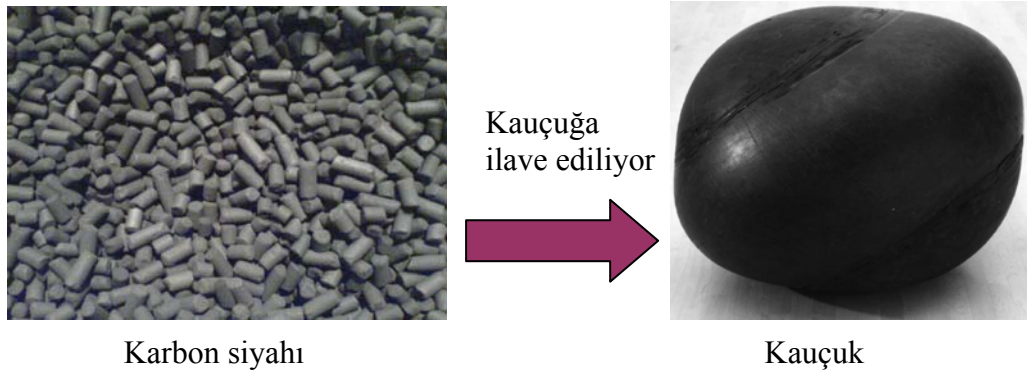
ısıtılan kauçuğun daha iyi özellikler gösterdiği, Charles Goodyear tarafından tesadüfen bulunmuştur (1839)⁴. Daha sonra kükürdün yanı sıra selenyum, tellür, organik peroksitler ve nitro bileşiklerinin de kauçuğu vulkanize ettiği bulundu. Ayrıca kimi bileşikler (bazik karbonatlar ve kurşun oksit gibi) de vulkanizasyon hızını artırmaktadır. Ham kauçuğa kükürt eklendiğinde, kükürt atomları, birbirine çapraz dolanmış, çok uzun ve kıvrımlı kauçuk molekül zincirleri arasında bağlar kurarak bunların birbirleri üzerinden kaymalarını önler. %5-8 oranında kükürt, yumuşak kauçuğu; %30-50 oranında kükürt çok daha sert bir kauçuğu (ebonit) meydana getirmektedir. Şekil 4.47’de saf kauçuğun ve vulkanize kauçuğun molekül yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.47 Doğal kauçuğun molekül yapısı a) saf kauçuk b) yumuşak kauçuk c)sert kauçuk [59].

Kauçuk kükürtle vulkanize edildikten sonra sismik taban yalıtkanı haline gelebilmesi için;

- Önce kauçuğa rijitlik ve sönüm artışı için, yapısal şekildeğiştirme kararlılığına ve yüksek mukavemete sahip karbon siyahı konulur ve karıştırılır (Şekil 4.48)



Şekil 4.48 Vulkanize kauçuğa karbon siyahı ilave edilmesi [59; 60].

- İkinci olarak dış faktörlere dayanımı, mekanik dayanım, çekme dayanımı, rijitlik ve sönüm arttırıcı katkı maddeleri karıştırılır. Bu katkı maddeleri;
 - Plastikleştiriciler (inaktif karbon),
 - Yumuşatıcılar (stearik-oleik asit, pinetar, paraffin wax v.b.)

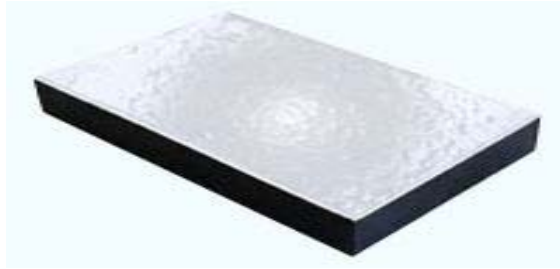
⁴ Bir soba üzerine düşürdüğü kauçuk, kükürt ve beyaz kurşun karışımının kazandığı bu özellikleri görünce, Roma Ateş Tanrısı Vulkan'ın adından, bu işleme vulkanizasyon adını vermiştir.

- Eskimeyi geciktirenler (aktif karbon),
 - Ucuzlatıcı maddeler (kireç, kaolen v.b.),
 - Dayanıklılık ve sertliği arttıranlar (en çok kullanılanı hidrazin sülfattır)
 - Boyalar,
 - Reaksiyonu hızlandıran (çinko oksit) veya yavaşlatan maddeler (aspirin vb).
- Hazırlanan kauçuk rulo yapılıdır (Şekil 4.49) [59].



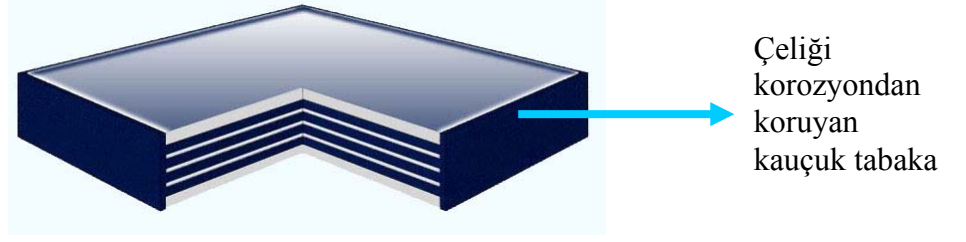
Şekil 4.49 Kauçuğun rulo yapılması [61].

- Birkaç milimetre kalınlıkta daire, kare veya dikdörtgen biçiminde kesilir.
- Kauçuklar kat kat yerleştirilir.
- Aralarına yine bir kaç milimetre kalınlıkta çelik levhalar konulur. Levhaların iyi yapışması için, *yüzeyleri parlatılır* (Şekil 4.50).



Şekil 4.50 Kauçuğun arasına çelik levhaların konulması [62].

- Yüzeylere yapıştırıcı maddeler (su ve/veya solvent bazlı poliüretan yapıştırıcılar) konulur.
- Bir kat kauçuk bir kat çelik olarak ağır çelik kalıba konulur. Alt ve üst kalıplar arasına da kauçuk konur. 135°C sıcaklıkta 14 saat bekletilir (bazı kaynaklarda bu işleme de vulkanizasyon denilmektedir).
- Bu işlem sırasında, kauçuk kalıptan taşabilir. Yalıtkanın etrafını saran kauçuk, çeliği korozyon ve yangından korur (Şekil 4.51).



Şekil 4.51 Kauçuk yalıtkan [62].

Doğal lastiğin yapısındaki değişkenlikler, katkı maddesindeki değişimler, karıştırma ve kür koşullarındaki sıcaklık ve nem farklılıkları nedeniyle; kauçuk esaslı sismik yalıtkanların mekanik özelliklerinde ve kalitesinde önemli farklılıklar olabilir.

4.6 Kauçuk Sismik Taban Yalıtkan Tipleri

Özellikle deprem sonrasında hemen kullanılabilir olması gereken hastane, telekomünikasyon binaları, köprü, enerji santralleri gibi yapılarda sık kullanılan sismik taban yalıtkanları, genellikle yapının temeli ile üst yapı arasına yerleştirilen ve yapı ile zemini birbirinden ayıran sistemlerdir. Bu sistemler kauçuk sistemler, kaymaya dayalı sistemler ve yaylı sistemler olmak üzere üç bölümde incelenmekte olup, burada sadece kauçuk esaslı sistemlerin özellikleri verilmiştir.

4.6.1 Kauçuk Esaslı Sistemler (Elastomer Sistemler)

Kauçuk esaslı sistemler, kauçuk ve çeliğin tabakalar halinde vulkanize edilmesi ile oluşan ve sismik taban yalıtımında en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Bu sistemde yalıtkanlar Şekil 4.52'deki gibi her kolonun altına gelecek şekilde temele yerleştirmek koşulu ile yalıtım sağlamaktadır



Şekil 4.52 Yalıtkanların temel seviyesinde yerleşimi (Coşkun, 2005).

Kauçuk yalıtkanların genel özellikleri:

- Kopma Birim Uzama Oranı: %425

- Emniyetli Uzama Oranı: %150
- Kayma Dayanımı: 18-20 GPa
- Kayma Modülü (G): 0.2-1.4 GPa
- Eşdeğer viskoz sönümü : %10-%16'dır [64].

Kauçuk yalıtkanlar kendi aralarında;

- o Düşük sönümlü kauçuk mesnetler,
- o Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler,
- o Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler

olmak üzere 3 grupta incelenir.

4.6.1.1 Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnetler

Düşük sönümlü kauçuk taşıyıcılar, alta ve üstte 2 adet kalın çelik plaka arasına yerleştirilmiş ve kat kat sıralanmış ince çelik ve kauçuk tabakaların vulkanizasyonu ile üretilmektedir. İmalatın ve modellemenin çok basit oluşu, mekanik davranışın oluşan tekrarlı yükleme, sıcaklık ve yaşlanmadan etkilenmemesi; ve sünme yapmaması bu sistemin avantajları olarak sıralanabilir. Bu sistemin tek dezavantajı düşük sönüm kapasitesi nedeniyle ek olarak sönüm elemanlarına ihtiyaç duyulmasıdır. Bu nedenle, Japonya'da, geniş ölçüde, ilave sönümleyicilerle (Şekil 4.53) (viskoz sönümleyiciler, çelik çubuklar, kurşun çekirdekler, sürtünmeli aletler v.b) birlikte kullanılmıştır. Bazı projelerde Japonya'da *doğal kauçuk* kullanılmasına karşın, Fransa'da sentetik kauçuk (*neopren*) kullanılmaktadır.

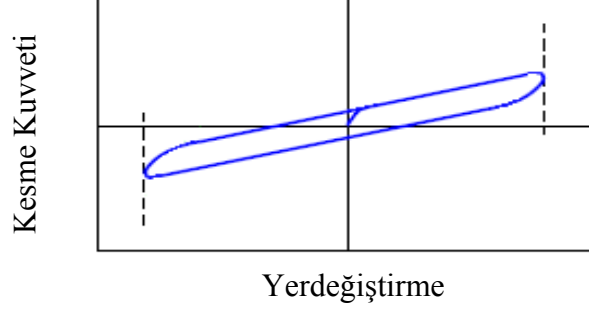


Şekil 4.53 Los Angeles City Hall'de kullanılan yalıtkanların temel seviyesinde yerleşimi (Germen, 2006; Coşkun, 2005; FEMA, 2005).

Bu sistemde yatay rijitliği, kauçuğun düşük kayma modülü (0.15-0.24 GPa) ile denetlenmektedir. Malzemenin kayma davranışı maksimum şekildeğiştirme düzeyine kadar doğrusaldır. Elde edilen sönüm oranı sadece % 2- 3 düzeyindedir (Ünal, 2001).

Yalıtkanın yüksekliğinin artması sistemde burkulmaya yol açtığından, *yükseklik çapın yarısı ile sınırlandırılmıştır*. Genellikle yalıtkan çapının 1 m' den fazla (yeterli rijitlik için minimum 60 cm) ve taşıma kapasitesinin de 500 ton civarında olması uygun görülmüştür (Bulut, 2005).

Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetlerde, yerdeğiştirme-kesme kuvveti ilişkisi neredeyse lineer bir davranış sergilemektedir (Şekil 4.54).



Şekil 4.54 Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi (FEMA, 2005).

Düşük sönümlü kauçuk mesnetlerin üstün yönleri;

- Kolay üretim,
- Malzemenin ekonomik olması ve ucuz üretim imkanı sağlaması,
- Kolay model oluşturulması,
- Mükemmel süneklik, şekillendirilebilirlik ve darbe dayanımlı olması,
- Mekanik özelliklerin zamandan, sıcaklıktan (623 °C'ye kadar) v.b. etkilenmemesi,
- Düşük yoğunluklu olan malzemede oldukça yüksek akma sınırı olması,
- Hafif olması,
- Korozyon dirençlerinin oldukça yüksek olması,
- Metallerden daha düşük elastisite modülü bulunması,
- Beton malzemelerden daha fazla mukavemetli olması,
- Oldukça düşük sürtünme katsayısı bulunması,
- Mesnetlerin enerji depolamaması
- Şiddetli depremlerden sonra bile hemen kullanım
- Hemen kullanım sayesinde iş kaybının önlenmesi ve pazar payının korunması
- Yapının değerli eşya ve cihaz içeriğine etkin koruma
- Ulaşım yapılarında süreklilik
- Yıkılma ve hasar olmayacağından yeniden inşaat ya da onarım maliyetlerine gerek kalmaması
- Minimum bakım gereksinimi

- Tarihi bina ve değerlerin korunmasıdır .

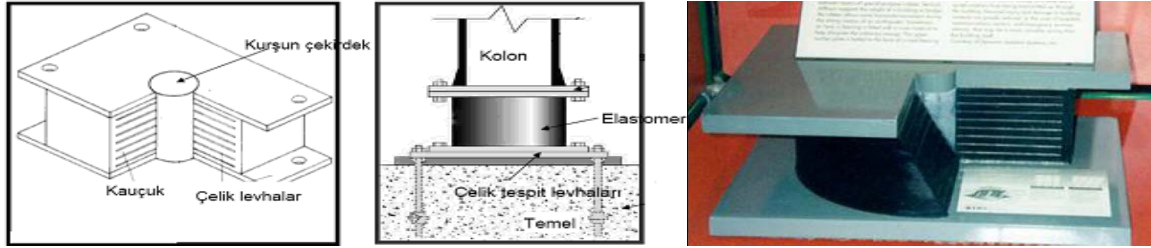
Zayıf yönleri;

- Genel olarak, ek bir sönüm sistemi gerektirmesi,
- Yanal şekildeğişimlerinin çok fazla olması,
- Sistemin düşük sıcaklıklarda (-40°C 'den düşük sıcaklıklarda) kırılğan hale gelebilmesidir (Bulut, 2005;).

4.6.1.2 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler

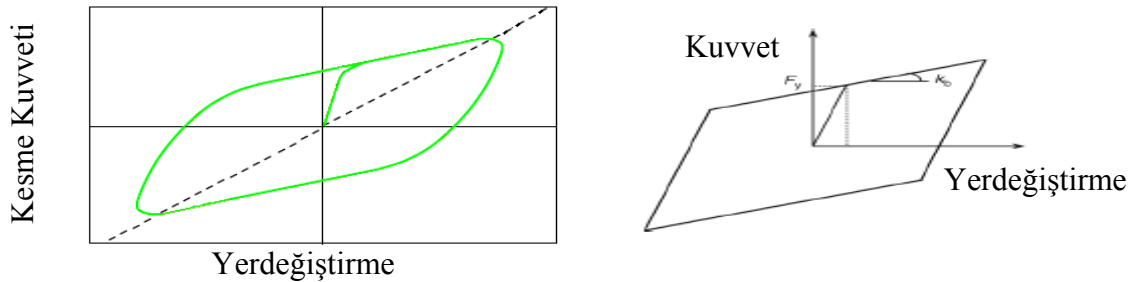
1970'lerde Yeni Zelanda'da geliştirilen bu mesnet tipi, bugün en çok kullanılan yalıtım sistemidir. Kurşun çekirdekli mesnet (Şekil 4.55), düşük sönümlü kauçuk mesnetlerdeki gibi kauçuk tabanlara ek olarak bir veya daha fazla sayıda uygun deliklere yerleştirilmiş kurşun çekirdeklerden oluşur.

Bu tip mesnetlerin tasarım ve modellenmesiyle ilgili olarak, Yeni Zelanda'da tamamlanmış tasarım esasları mevcuttur. Bu mesnetlerin kullanıldığı yapılar, 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde üstün performans göstermişlerdir [60] .



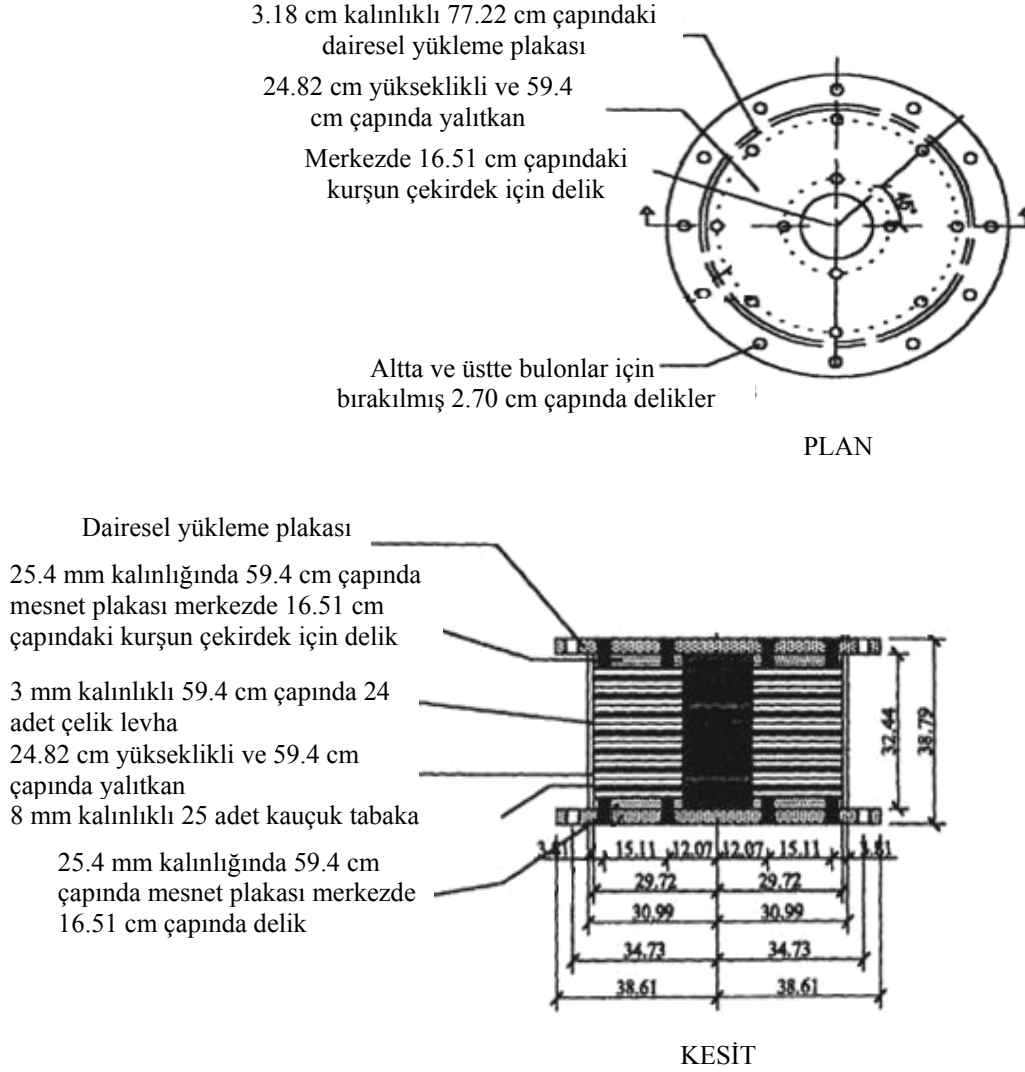
Şekil 4.55 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet (Coşkun, 2005; FEMA, 2005).

Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerde bilineer davranış gözlenir. Kesme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi, *kurşun çekirdekten dolayı, lineer olmayan davranış* sergilemektedir (Şekil 4.56). Yalıtkanın başlangıçtaki yatay rijitliği, kauçuk ve kurşun çekirdeğin yatay rijitliğinin toplamı iken, kurşun çekirdeğin akma noktasına geldiği (F_y) kesme kuvveti değerinden itibaren yatay rijitlik sadece kauçuğun rijitliği ile denetlenir.



Şekil 4.56 Kurşun çekirdekli kauçuk mesnette a) Gerçek b) İdealleştirilmiş kesme kuvveti yerdeğiştirme değişimi (FEMA, 2005).

Bu sistemin *dezavantajı şiddetli depremlerden sonra kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin anlaşılamamasıdır*. Sistemle ilgili detaylı uygulama örnekleri Şekil 4.57’de verilmektedir (Bulut, 2005).

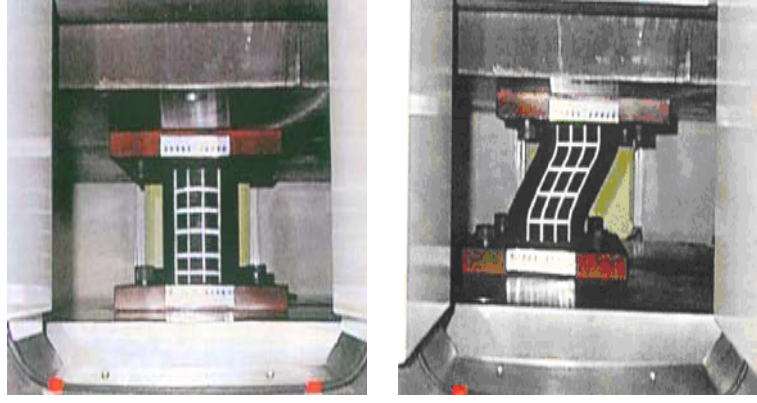


Şekil 4.57 Tipik bir kurşun çekirdekli kauçuk mesnet plan ve kesiti (Ünal, 2001).

4.6.1.3 Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnetler

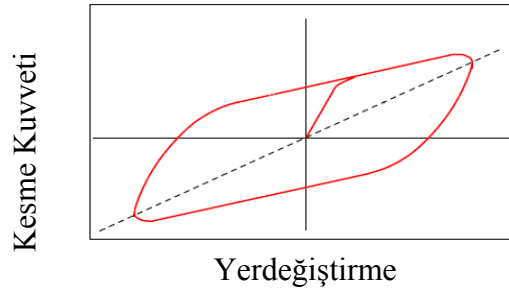
Düşük sönümlü mesnetlerdeki ek sönüm ihtiyacını gidermek amacıyla, yeterli derecede sönüme sahip karbon blok, yağ ya da özel dolgu maddeleri (kül, kağıt v.b.) ilave edilmiş doğal kauçuklar, **1982** yılında Malaysian Rubber Producers Research Association kurumunda geliştirilmiştir (Şekil 4.58).

Sistemin üretim ve uygulama teknikleri açısından düşük sönümlü kauçuk mesnetlerden *farkı yoktur*. Kayma deformasyonları altında düşük sönümlü kauçuk mesnetlerde sönüm oranı % 2–3 iken, yüksek sönümlü kauçuklarda bu oran % 20'lere kadar ulaşmakta, böylece ek bir sönüm elemanı gerektirmemektedir.



Şekil 4.58 Yüksek sönümlü kauçuk mesnet (Coşkun, 2005).

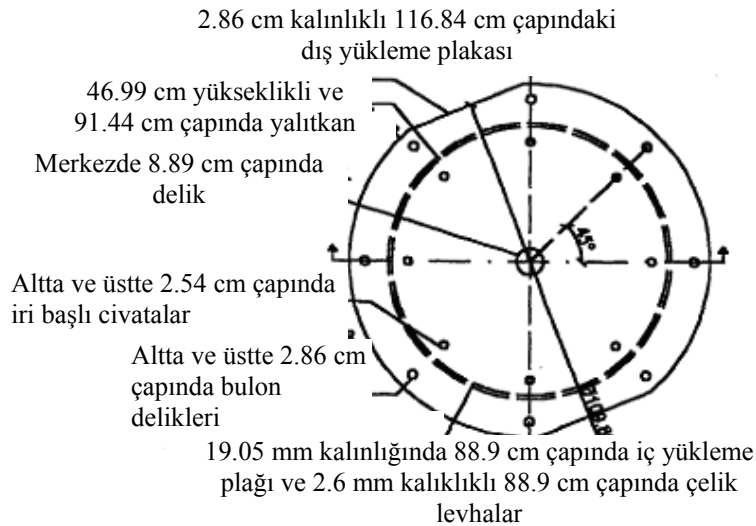
Yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerde, tıpkı kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerde olduğu gibi yerdeğiştirme-kesme kuvveti ilişkisi lineer olmayan bir davranış sergilemektedir (Şekil 4.59).



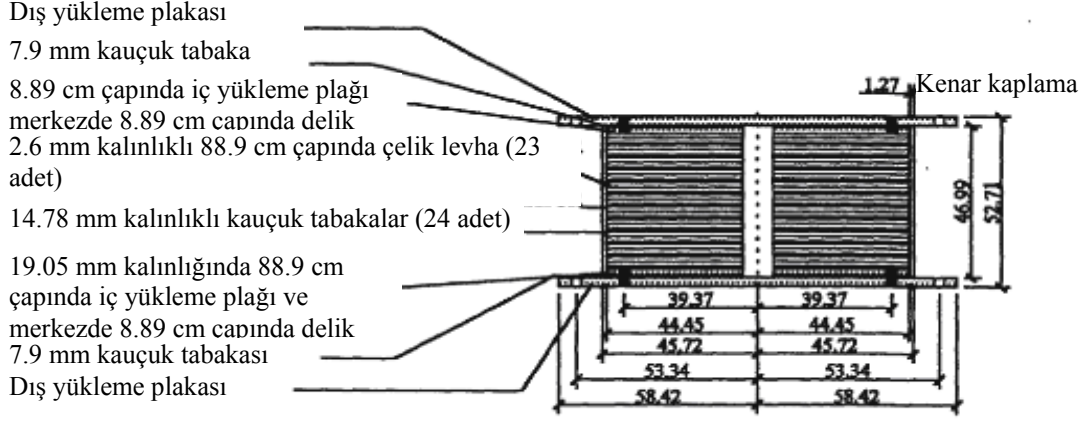
Şekil 4.59 Yüksek sönümlü kauçuk mesnette kesme kuvveti yerdeğiştirme ilişkisi (FEMA, 2005).

Maksimum lineer olmayan kayma şekildeğiştirme oranı % 20'dir. Sistem, rüzgar yükleri ve deprem hareketlerini en düşük düzeye azaltacak şekilde yüksek rijitlik ve sönüm karakterlidir.

Şekil 4.60'de uygulama detaylarıyla sunulan mesnetlerde lineer olmayan bir davranışa sahiptir.



PLAN

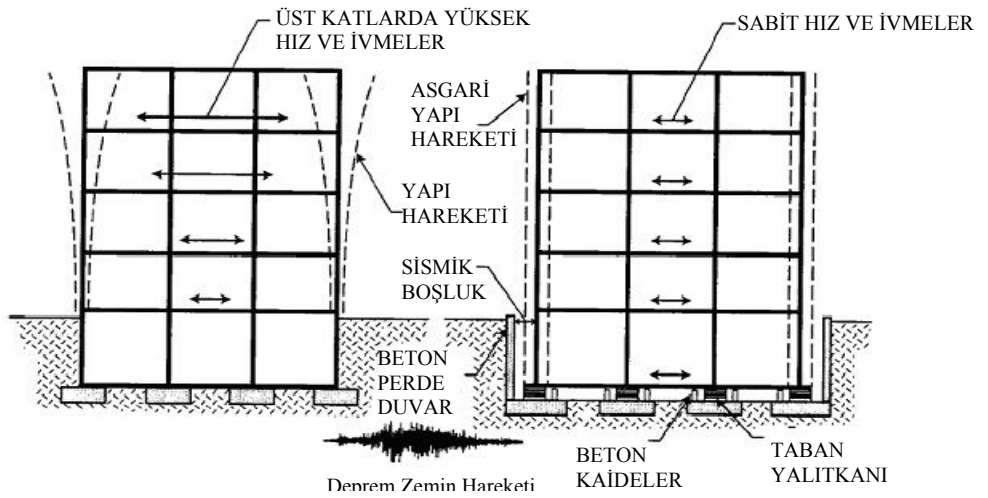


KESİT

Şekil 4.60 Tipik bir yüksek sönümlü kauçuk mesnet plan ve kesiti (Ünal, 2001).

4.7 Kauçuk Esaslı Sistemlerin Teknik Özellikleri

Sismik enerjinin yapıya aktarılmadan yutulmasını sağlayan sistemlerin tasarımında karşılaşılan en büyük zorluk; aynı zamanda hem görelî kat ötelemelerinin hem de kat ivmelerinin sınırlandırılması gerekliliğidir. Yapının rijitliği artırılarak görelî kat ötelemeleri *azaltılabilmekte*, ancak bu durumda yapının ağırlığındaki artış, zemin hareketlerinin yapıda *güçlenmesiyle* kat ivmelerinin artmasına neden olmaktadır. Kauçuk sismik taban yalıtım sistemi görelî kat ötelemelerini ve kat ivmelerini aynı anda azaltmaktadır. Şekil 4.61’de gösterildiği gibi, sismik yalıtımlı bir yapı, hem büyük yerdeğiştirmelerin odaklandığı yalıtım sistemleriyle kat ivmelerinin azaltılması için gereken “*esneklik*”; hem de bir deprem hareketinde hemen hemen rijit bir şekilde hareket eden üst yapısıyla görelî kat ötelemelerinin azaltılması için gereken “*rijitlik*”te olmalıdır.

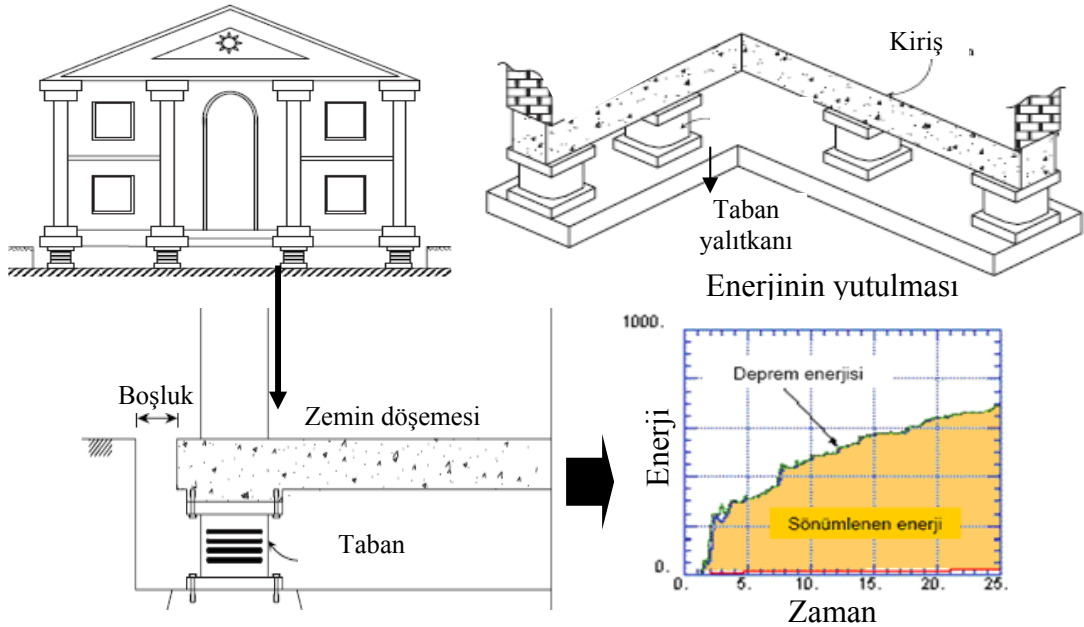


Şekil 4.61 Deprem esnasında, sabit tabanlı ve sismik taban yalıtım sistemli yapıların şekil yer değiştirme durumları (Reigles, 2005).

Yapıda deprem sırasında meydana gelebilecek hasar potansiyelini düşürmek için kullanılan ve birçok depremde başarılı sonuçlar sağlayan sismik taban yalıtım sistemlerinin sahip olması gereken temel özellikler şunlardır;

- Yeterince *düşük yatay rijitlik* (yapının ve çok şiddetli depremin frekansından çok daha düşük),
- Nispeten *yüksek yatay rijitlik* (rüzgar ve küçük deprem yükleri altında yapının hareketini engelleyecek kadar yüksek),
- *Yüksek düşey rijitlik* (üst yapının ağırlığını deforme olmadan taşıyabilecek kadar),
- Yeterince *sönüm* (yerdeğiştirmeler kabul edilebilir düzeyde kalacak ve olası bir rezonans durumunu bastırabilecek kadar),
- Göçmeyi önleyici sistem,
- Çekme kuvvetlerine karşı yeterince *dayanım*,
- Üst yapıyı zemin hareketi öncesi konumuna geri getirebilmesidir.

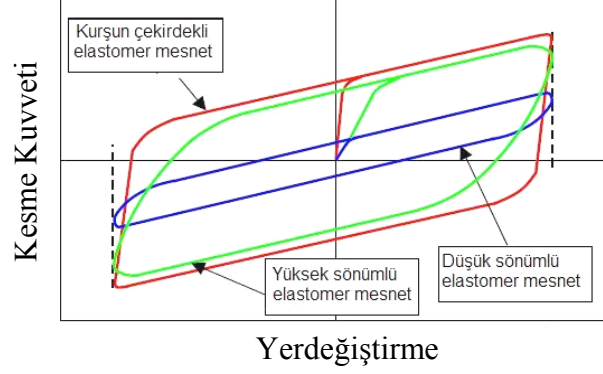
Depreme dayanıklı yapı tasarımında birleşim bölgelerindeki lineer olmayan şekildeğiştirmeler ile sismik enerjinin sönmülenmeye çalışılması yerine; sismik taban yalıtımı ile, sismik enerjinin büyük bir bölümü temel seviyesindeki sönmüleyici sistemler tarafından yutulur (Şekil 4.62).



Şekil 4.62 Sismik taban yalıtımları ile sönmülen enerji-zaman ilişkisi (Coşkun, 2005; Matsagar ve Jangit, 2008).

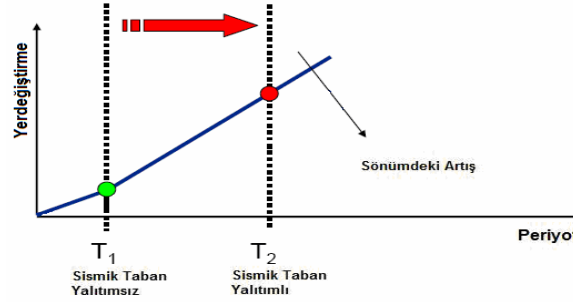
Kullanılan kauçuk malzemesi değiştirilerek daha yüksek sönmümlü kauçuk mesnetler oluşturulabilir. Normalde %2-3 olan sönmüm, yüksek sönmümlü kauçuk malzeme durumunda

%8-15 ve kurşun çekirdek kullanılan durumunda %20-30 değerine kadar çıkartılabilir (Bulut, 2005). Şekil 4.63'deki kesme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisinde de görüldüğü üzere, kurşun çekirdekli yalıtkanlarda maksimum yerdeğiştirme daha büyük kesme kuvvetlerinde oluşmakta, böylece daha küçük yerdeğiştirme ile daha fazla sönüm sağlamaktadır.



Şekil 4.63 Kauçuk yalıtkanların tiplerine göre kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi (FEMA, 2005).

Bu sistemde, hasarsız kalması istenen önemli yapılarda, yapının hakim periyodu (T) arttırılıp, zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetleri azaltılmaktadır (Şekil 4.64).



Şekil 4.64 Yapı temel seviyesinde yerdeğiştirmenin periyot ile değişimi (FEMA, 2005).

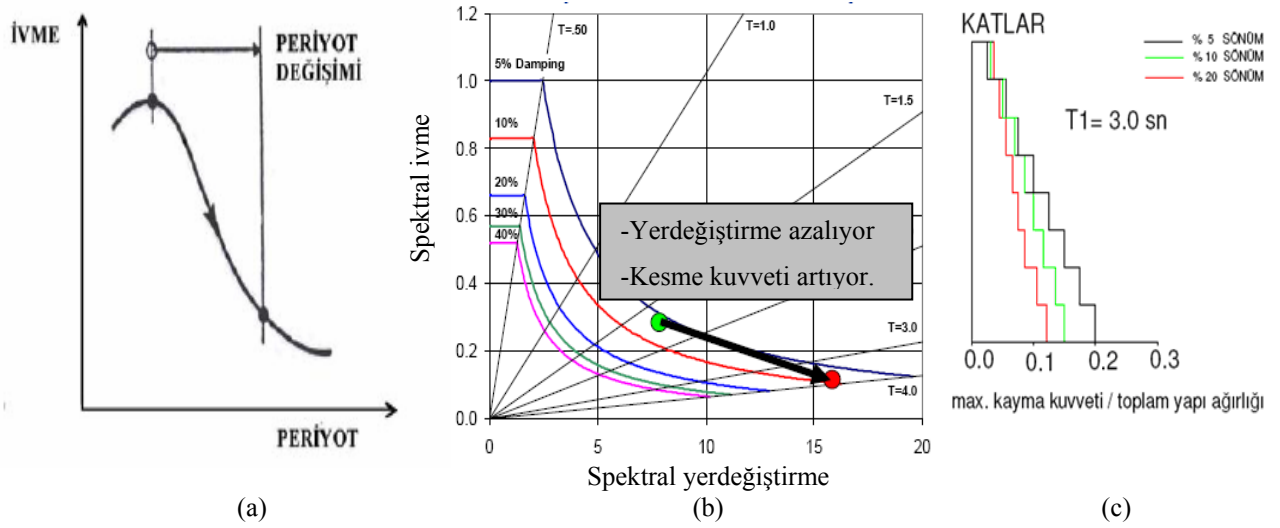
Yalıtımlı yapının hakim periyodu (T), üst yapının rijit davranış sergilediği, şekildeğiştirmelerin sadece yalıtım sisteminde olduğu periyottur (0.1 ile 10 sn); birbirine dik iki doğrultuda aynı olmak üzere

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_h}} \quad (4.5)$$

yatay rijitlik ve yapı toplam kütesinin (m) fonksiyonudur.

Kauçuk yalıtkanlar, zeminden gelen düşük periyotlu (yüksek frekanslı) titreşimleri, yaptığı büyük yanal yerdeğiştirmelerle yüksek periyotlu (düşük frekanslı, $\omega=2\pi/T$) titreşimlere dönüştürür (Şekil 4.65 a). Deprem enerjisi bu büyük yerdeğiştirmeye yutulmuş olur ve katlararası göreceli ötelemeler en aza iner (Şekil 4.65 b, c). Bunun sonucunda da yapıdaki ivme büyüklüğü, zemin ivme büyüklüğünden daha küçük değerlerde kalır (Örneğin, 5 katlı

tabandan ankastre bir yapının periyodu $T=0.5$ sn iken, taban yalıtımı uygulandıktan sonra yalıtım sisteminin periyodu 3-3.5 sn düzeyindedir). Şekil 4.65'deki spektral ivme-spektral yerdeğiştirme diyagramında yapı periyodunun artmasıyla yapıya etkiyen ivmenin nasıl azaldığı görülmektedir (Ercan ve Nuhoglu, 2005).



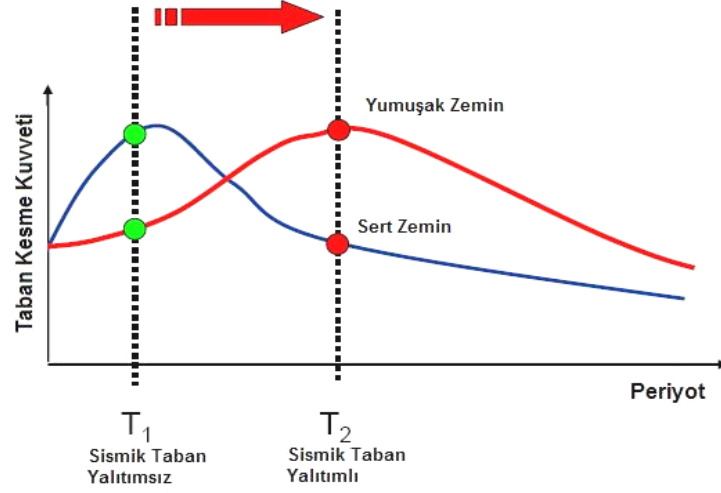
Şekil 4.65 Sismik taban yalıtımlı yapıda a) ivme-periyot ilişkisi b) spektral ivme-yerdeğiştirme ilişkisi c) katlara dağılan maksimum kayma kuvveti / toplam yapı ağırlığı oranı (Germen, 2006; Ercan ve Nuhoglu, 2005; FEMA, 2005)

Kauçuk sismik taban yalıtımı ile spektral ivmenin azaltılması depremde yapı üzerine daha az sismik yük aktarılacağı anlamına gelmekte, böylece yapıyı daha *küçük yüklere göre boyutlandırarak*, taban yalıtımının binaya getireceği ek maliyette *ekonomi* sağlanmaktadır.

Orta yükseklikteki yapıların periyotları az katlı yapılara göre daha büyük olduğundan, taban yalıtımının periyodu arttırması yüksek yapılarda daha fazla olmakta, dolayısıyla daha fazla verim alınabilmektedir. Ancak yüksek yapılarda, taban yalıtım sistemi devirici momentlere karşı dayanım gösteremeyebilir, bu stabilite sorunundan dolayı taban yalıtımı az ve orta yükseklikte yapılar için etkin bir çözümdür.

Yumuşak zeminlerin hakim periyotları, sert zeminlere göre daha büyüktür. Taban yalıtımı kullanılmasının amacı, yapının doğal periyodu ile zeminin hakim periyodunun çakışmasını engellemektir. Sert zemin üzerindeki yapıların periyot süresi uzatılmakta, böylece taban yalıtımı için oldukça başarılı sonuçlar elde edilmekte ve yapıda oluşan dinamik kuvvetler çok büyük oranda azalmaktadır. Sismik taban yalıtım sistemi ile yumuşak zemine oturan yapılarında periyot süreleri uzatılarak, ivmenin azaltılması sağlanabilir. Ancak, yumuşak zemin koşullarında, taban yalıtımı ile yapı periyodunu arttırmak, zeminin periyodu ile yapının hakim periyodunun yakınlaşmasına neden olur. Bunun sonucunda yapıya etki eden dinamik

etkiler, tersine, artış göstererek, rezonans koşullarına yaklaşılabılır. Dolayısıyla yumuşak zemin koşullarında taban yalıtımlı sistemlerin kullanılması iyi bir çözüm olmaz (Şekil 4.66).



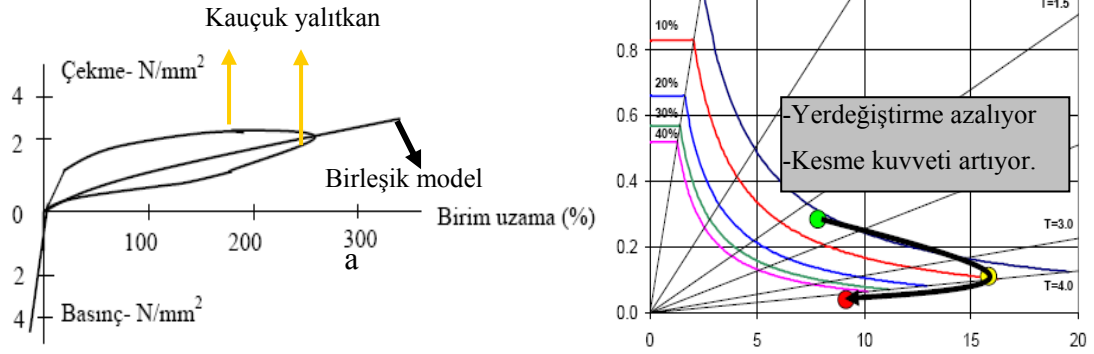
Şekil 4.66 Yumuşak ve sert zeminin taban kesme kuvvetinin etkisi (FEMA, 2005).

Yakın fay etkisi sözkonusu olduğunda, yüksek periyotlu zemin hareketi yapıda büyük yerdeğiştirmelere neden olacağından kauçuk taban yalıtkanları kötü performans sergileyebilir. Örneğin, 7.0 büyüklüğündeki bir depremde yakın fay etkisi yalıtkanlarda, % 25 sönüm düzeyinde bile, 50 cm'i aşan büyük yerdeğiştirmeler yaratmakta, bu da büyük ikinci mertebe etkilerinden dolayı izolatörün yırtılması veya burkulması sonucunu doğurmaktadır.

Ayrıca sönümün yüksek oranlarında; yapı hakim modunda yalıtkanadaki yerdeğiştirme azalırken, özellikle uzun periyotlu esnek yapıların *yüksek modlarında* kat ivmeleri ve göreceli kat yerdeğiştirmeleri artabilmektedir.

Tüm bu verilerin ışığı altında; İngiltere'deki Central Electricity Generating Board tarafından geliştirilen viskoz akışkanlı sönümleyicilerle birlikte kullanılmak şartıyla, tam doğrusal kayma davranışı sergileyen düşük sönümlü bir yalıtkan üretmenin mümkün olduğu Earthquake Engineering Research Center (EERC/Berkeley) Laboratuvarlarında yapılan testler sonucunda ispatlanmıştır (Şekil 4.67 a).

Bu yalıtkanlar kompozit bir yalıtım örneği olmuştur ve sistem % 150 kayma şekildeğiştirmesine kadar tam doğrusal ve tam sönümsüz bir davranış göstermiştir. Doğrusal viskoz dinamik model oluşturma amacı taşıyan bu birleşik modelde, viskoz akışkanlı sönümleyici, kauçuk modele tam uygunluk sağlarken, sönümleyici lineer özellik göstermemektedir (Şekil 4.67 b). Yani sönümleme hızının artma oranıyla yerdeğiştirme oranı aynı olmamakta, hızın artmasıyla birlikte yerdeğiştirmedeki sönüm miktarı azalmaktadır. (Celep, Kumbasar, 2004; Ünal, 2001).



Şekil 4.67 Kauçuğun kayma-birim uzama ilişkisi (Sarıtaş ve Hasgür, 2007; FEMA, 2005).

Yapıda deprem sırasında meydana gelebilecek hasarları düşürmek için kullanılan bu sistemin uygulama alanları;

- Yüksek deprem performansı istenen tüm yapılar,
- Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları,
- Stratejik öneme sahip binalar (askerî, sivil savunma vb. binalar),
- İtfaiye bina ve tesisleri,
- PTT ve diğer iletişim tesisleri,
- Ulaşım istasyonları, hava alanları ve terminaller, köprü, viyadük gibi sanat yapıları,
- Enerji üretim ve dağıtım tesisleri,
- İlk yardım, kriz merkezleri, afet planlama merkezleri,
- Toksin, patlayıcı vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı tesisler,
- Bilgi işlem merkezleri,
- Tarihi binalar, müzeler (mevcut yapılarda da kullanılabilmek özelliği)

'dır (Ünal, 2001).

4.8 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtkanla Güçlendirilmiş Yapının Karşılaştırılmalı Maliyet Analizi

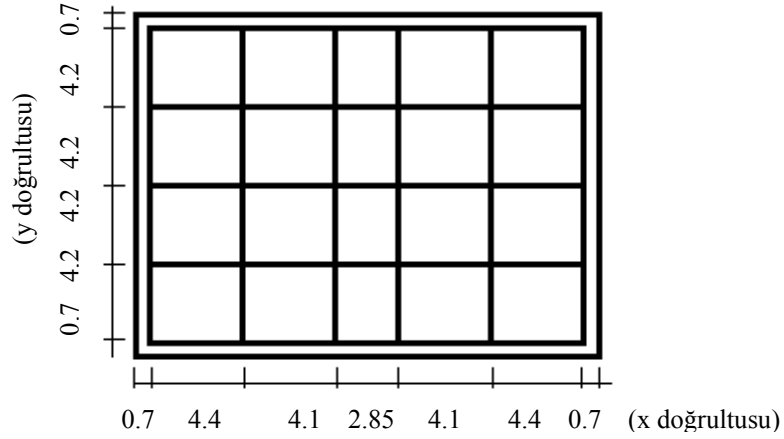
Bu bölümde yapılmış olan maliyet analizi için Hoşboş (2005) ,Türker (2002) ve Pekpekgöz ve diğ.(2006) kaynaklarından faydalanılmıştır.

Yapılan maliyet karşılaştırmasında malzemelere ait fiyatlar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yayınlanan 2006 yılı birim fiyatlarının karne katsayıları ile 2009 yılına dönüştürülmüş ve inşaat, elektrik, makina imalatları TL cinsinden hesaplanmıştır. Sismik taban yalıtımlı binada kullanılacak, kurşun çekirdekli kauçuk yalıtkanlar için, yurt dışında

sismik yalıtım konusunda deneyimli firmaların Türkiye temsilciliklerinden fiyatlar alınarak bunların ortalaması kullanılmıştır. Sismik yalıtkanın 50 adet üzerinden her birinin Türkiye liman teslimi (gümrük vergisi ve montaj maliyeti hariç) fiyatı 5500 \$'dır. Yalıtkan bedeline gümrük vergisi için % 8, montaj için ise adet başına ~500 \$ maliyet tespit edilmiştir. Yapılan maliyet analizi, 1 \$ - 1.55 TL döviz kuru esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

4.8.1 Analiz 1

Yedi katlı mevcut betonarme çerçeve sistem yapıya (Şekil 4.68) ilk olarak geleneksel güçlendirme (kolon, kiriş, perde ilave edilerek) yöntemleri uygulanmış, ikinci olarak da kurşun çekirdekli kauçuk tabakalı yalıtkanlar eklenmiş ve SAP 2000 bilgisayar programında modellenerek doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir (Türker, 2002).



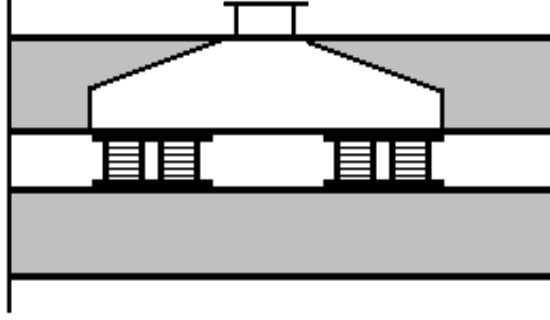
Şekil 4.68 Yedi katlı yapı planı (Türker, 2002 kaynağından faydalanılarak oluşturulmuştur).

Analizde, toplam ağırlığı 2395 ton olan yapının zemin tipi Z4, yapıya etkiyen yer hareketinin ivme değeri 12 Kasım 1999 Düzce depreminin doğu-batı değeri $a_{max} = 513.8 \text{ cm/sn}^2$, kuzey-güney değeri $a_{max} = 407.7 \text{ cm/sn}^2$ kabul edilmiştir. Yapının döşeme kalınlığı 12 cm olup, taşıyıcı sistem betonu C25 kalitesindedir.

Yapıda yetersiz durumda olan kolon kesitlerine ilk önce geleneksel güçlendirme uygulanmıştır. Bu amaçla plan düzleminde her iki doğrultuda 70 cm ampatman boyu olan 70 cm kalınlıklı radye temel plağı düzenlenmiş ve mevcut tekil temellerin altına yerleştirilmişlerdir. Ayrıca binaya, plan düzleminde en dış iki aks arasında x doğrultusunda ikişerden 4 tane, iç akslar arasında ise yine simetriyi koruyacak şekilde y doğrultusunda 2 adet olmak üzere kat başına toplam 6 adet perde eklenmiştir (Türker, 2002).

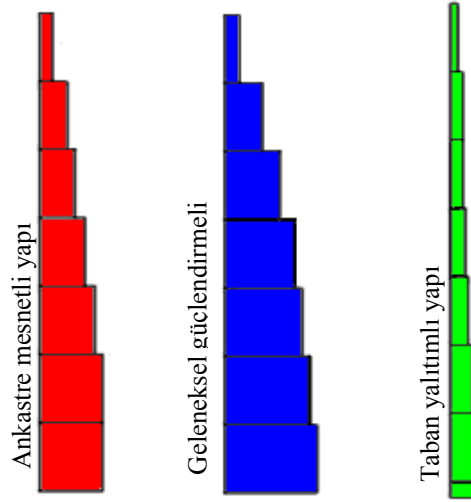
Yedi katlı eski binanın depreme karşı dayanımını yeterli hale getirmek için ikinci olarak sisteme sismik taban yalıtımı uygulanmıştır. Her bir kolonun altına ikişer adet kurşun çekirdekli kauçuk yalıtkan yerleştirilmiş ve deprem etkisi durumunda binanın yaptığı yer

değiştirme ve görelî kat ötelemeleri sınırlandırılmıştır (Şekil 4.69). Yapılan analizler sonucunda binada meydana gelen toplam yer değiştirme x doğrultusunda 13 cm, y doğrultusunda ise 5.5 cm olarak tespit edilmiştir (Türker, 2002).



Şekil 4.69 Yedi katlı yapıda kullanılan kauçuk yalıtkan (Türker, 2002).

Maksimum taban kesme kuvveti 17530.78 kN olan 7 katlı mevcut yapıda yapılan analizler sonucunda maksimum taban kesme kuvvetleri kauçuk taban yalıtkanlı yapı için 6235.3 kN, geleneksel güçlendirmeli yapı için 25321.35 kN olarak elde edilmiştir (Şekil 4.70) (Türker, 2002).



Şekil 4.70 Zaman tanım alanında dinamik analizde oluşan kat kesme kuvvetleri (Türker, 2002).

Yapının maliyet karşılaştırılmasının yapılabilmesi için geleneksel güçlendirmeli yapının metrajları hesaplanmış ve Hoşboş (2005) kaynağından derlenerek oluşturulmuş Çizelge 4.1 birim fiyatlarıyla beraber sunulmuştur

Çizelge 4.1 Yedi katlı yapının geleneksel güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesinin maliyet analizi.

İmalat Cinsi	Metraj	Birim Fiyat	Maliyet
Çelik Donatı	88.96 ton	1050 TL/ton*1.3065 ⁵	122037.55 TL
Beton	470.08 m ³	95.25 TL/m ³ *1.3065	58498.69 TL
Kalıp	4050.88 m ²	11.95 TL/m ² *1.3065	63245.07 TL
Filiz Ekimi	4640 adet	3.5 TL/adet*1.3065	21217.56 TL
İnce İşler	1354.2 m ²	130 TL/m ² *1.3065	230004.10 TL
Nakliye	1354.2 m ²	130 TL/m ² *1.3065	230004.10 TL
TOPLAM			725007.07 TL

Kauçuk taban yalıtkanları ile güçlendirilmiş yapının metrajları hesaplanmış ve Hoşboş (2005) kaynağından derlenerek oluşturulmuş Çizelge 4.2 birim fiyatlarıyla beraber sunulmuştur

Çizelge 4.2 Yedi katlı yapının kauçuk taban yalıtkanları ile yöntemiyle güçlendirilmesinin maliyet analizi.

İmalat Cinsi	Metraj	Birim Fiyat	Maliyet
Kazı yapılması ve nakliyesi	69.70 m ³	20.56 TL/m ³ *1.3065	1872.26 TL
İstinat için gerekli çelik donatı	3.58 ton	1050 TL/ton*1.3065	4911.13 TL
İstinat için gerekli beton	49 m ³	95.25 TL/m ³ *1.3065	6097.76 TL
İstinat için gerekli kalıp	254.80 m ²	11.95 TL/m ² *1.3065	3978.11 TL
Kolon kesimi	36 adet	350 TL/adet*1.3065	16461.90 TL
Yapının askıya alınması	-	35600 TL*1.3065	46511.40 TL
Yalıtkan maliyeti	36 adet	9982 TL/adet	359352 TL
Mekanik revizyonlar	-	14000 TL*1.3065	18291 TL
TOPLAM			457475.56 TL

Yedi katlı eski betonarme yapının geleneksel yöntem ile güçlendirilmesi ve kauçuk taban yalıtkanları kullanılması durumunda ortaya çıkacak maliyetler hesaplanmış, sismik taban yalıtım yönteminin geleneksel güçlendirmeye göre %58 oranında daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu karşılaştırmada unutulmaması gereken diğer bir durum ise sismik taban yalıtım sistemi yapıya uygulanırken yapı fonksiyonunu güçlendirme aşamasında da koruyacak olmasıdır. Geleneksel güçlendirme yönteminde ise yapı en iyi ihtimalle iki ay süre ile boşaltılmalıdır (Türker, 2002).

4.8.2 Analiz 2

Bu analizde aynı özelliklere sahip iki farklı yapı için maliyet hesabı yapılmıştır. Her iki bina için ayrı ayrı metraj hazırlanmış ve kullanılan malzeme miktarları tespit edilmiştir. Bu

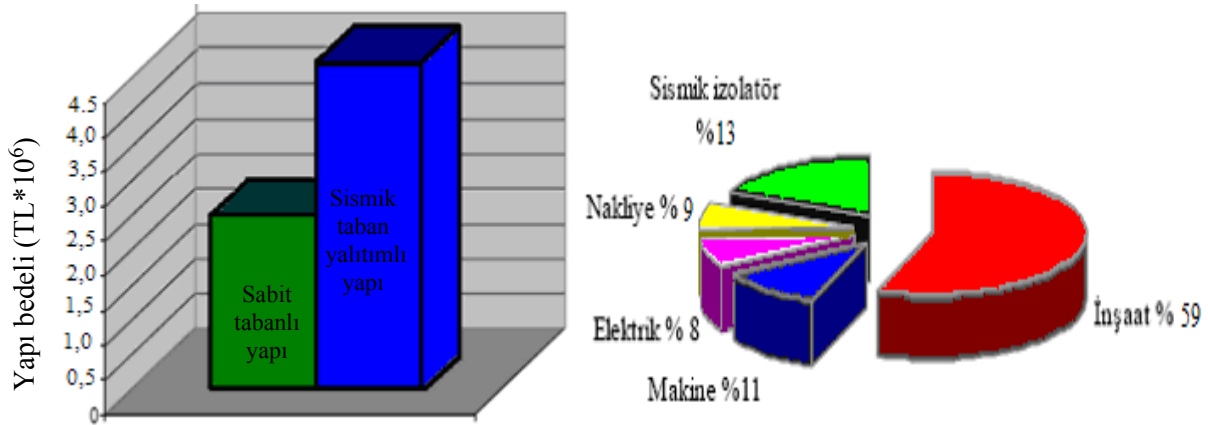
⁵ 28/3/1981 tarih ve 17293 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 2009 yılı karne katsayıları tebliğinde 2006 yılını 2009 yılına dönüştürmede uygulanacak katsayı.

değerlendirmeler ışığında yapılan maliyet analizi sonucu, sabit tabanlı bina ve sismik taban yalıtımlı bina için hazırlanan keşif özeti, Pekpekgöz ve diğ. (2006) kaynağından derlenerek Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Yedi katlı yapının kauçuk taban yalıtımı ile yöntemiyle güçlendirilmesinin maliyet karşılaştırması.

	Sabit tabanlı yapı (TL)	Kauçuk sismik taban yalıtımlı yapı(TL)
İnşaat	$1332430 \cdot 1.3065 = 1740819$	$1611000 \cdot 1.3065 = 2104771$
Makine	$25778 \cdot 1.3065 = 33678$	$305728 \cdot 1.3065 = 399433$
Elektrik	$220000 \cdot 1.3065 = 287430$	$238000 \cdot 1.3065 = 310947$
Sismik taban yalıtımı		499100
Nakliye	$164000 \cdot 1.3065 = 214266$	$200000 \cdot 1.3065 = 261300$
Toplam	2276193	3575551
KDV	409714	643599
GENEL TOPLAM	2685907	4219150

Çizelge 4.3’te sismik taban yalıtımlı yapı maliyetinin, sabit tabanlı yapının maliyetine göre ~% 57 arttığı görülmektedir. Uygulanan yapıda, kauçuk yalıtkan maliyetlerinin ise bina yapım maliyetinin ~% 13’ü olduğu belirlenmiştir. İki yapı sisteminin maliyet karşılaştırması ve sismik taban yalıtımlı yapıda yalıtım sisteminin oluşturduğu maliyetin, bina toplam maliyeti içindeki payı Şekil 4.71 a ve b’de ayrıntılı bir şekilde grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.71 a) Sabit tabanlı ve sismik taban yalıtımlı yapının maliyet diyagramı b) sismik yalıtımlı yapının imalat dağılım yüzdeleri (Pekpekgöz ve diğ.,2006 kaynağından derlenmiştir).

5. VİSKOZ AKIŞKANLI SÖNÜMLEME SİSTEMLERİNİN YAPILARDA MODELLENDİRİLMESİ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Viskoz akışkanlı sönümleme sistemleri deprem ve/veya rüzgar yüklerinin yutulması amacıyla yapılarda farklı uygulama olanakları bulmuştur. Sistemin yapılarda uygulanmasını kontrol eden ana etmenler;

- Tasarımcı ve/veya kullanıcı istek ve beklentileri,
- Viskoz sönümleyicinin tipi ve etkinliği,
- Yapı ve zeminin karakteristik büyüklükleri,
- Maliyet

olarak sıralanabilir.

Sönümleme sisteminin tasarım aşamasında önce yapıda *çerçeve sistem ile ~%5*, eklenecek olan *sönümleyici ile %20* ve *toplamda %25 sönüm düzeyinin* sağlandığı kabulü yapıldıktan sonra, uygulama ve maliyet açısından en uygun sönümleyici tipi belirlenir (Tarassoly, 2003).

Daha sonra sistemin uygulanacağı yapıda oluşacak kesit tesirleri, görelî kat yerdeğıştirmeleri, kat ivmeleri v.b., ile kullanıcı ve/veya tasarımcının yapıda görmek istediğı yada istemediğı etki saptanır.

Yapıda, kesit ve plan bazında sönümleyici yerlerinin belirlenmesinde, katlararası görelî yedeğıştirmeler ve bunların minimum görelî yerdeğıştirmeye her kat için oranı (ν) ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Çerçeveyi güçlendirmeye gerek kalmadan, 10 kata kadar, lineer sönümleyiciler ile kesit tesirleri ve yerdeğıştirmelerde yeterli azalma sağlanmaktadır.

5.1 Uygulama 1

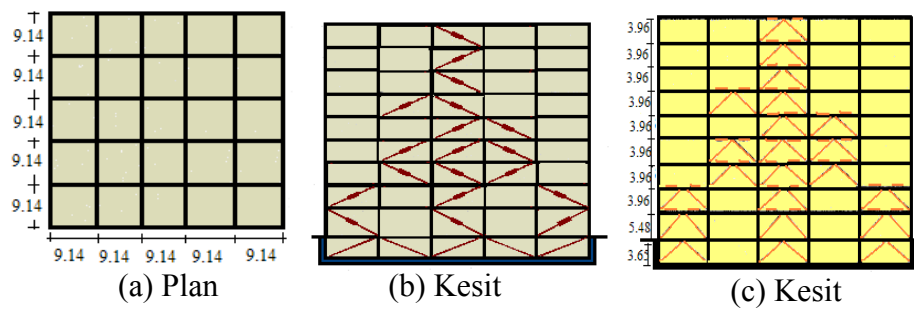
Uygulamada çelik çerçeve olarak tasarlanan 9 katlı yapıda (9 kat + 1 bodrum) normal kat yükseklikleri 3.96 m, zemin katı 5.48 m ve bodrum katı 3.65 m olacak şekilde modellenmiş ve yapının yakın fay deprem etkisinde olduğı düşünölmüştür.

Yapıda orta katlı yapıların güçlendirilmesinde birbirlerine çok benzer nitelikte sönümleme özelliğı gösteren ve birbirinden bağımsız hareket edebilen diyagonal ve Chevron tipi lineer viskoz sönümleyiciler seçilmiş, hesaplanan ν değeri ise Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 Yapıda her kat için gerekli sönümleyici sayısının tespiti (Tarassoly, 2003).

Kat Sayısı	Katlararası Görelî Yerdeğiştirme -%25 Sönüm İçin- mm	v = Katın Görelî Yerdeğiştirmesi / Minimum Yerdeğiştirme	Sönümleyici Sayısı
1	0.1001	3.054	3
2	0.1082	3.302	3
3	0.0945	2.884	3
4	0.0737	2.248	3
5	0.0465	1.419	2
6	0.0330	1.008	2
7	0.0335	1.023	1
8	0.0376	1.147	1
9	0.0328	1.000	1

Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere v değeri, kata yerleştirilecek sönümleyici sayısının tespitini sağlamaktadır. v ’nın 1 ve 1’e çok yakın değelerinde sönümleyici sayısı 1, 2’ye yakın değelerinde 2, 3’e yakın değelerde 3 olarak belirlenmiştir. Ayrıca yapıya etkiyecek dinamik yatay kuvvetlerin büyük bölümünün zeminden aktarılacağı düşünöldüğünden risk hesabı yapılarak, 5. ve 6. katlarda sönümleyici sayısı v değeri yukarı yuvarlanarak saptanmıştır. Sönümleyicilerin yapının hangi çerçevesine yerleştirilmesi gerektiğini, *eksenel kuvvet ve eğilme moment* değeri ortaya koymaktadır (Tarassoly, 2003). Sönümleyiciler yapının zemin katında eksenel kuvvetlerin daha fazla olduğı köşe çerçevelere, üst katlarda iç çerçevelere yerleştirilmiştir (Şekil 5.1). Üst kat dış çerçevelerinde sönümleyici konumunu belirleyen ana etmen ise tasarımcının görmek istediğı cephe etkisidir. Yapının bodrum katının, tamamen toprak altında kalması nedeniyle, viskoz sönümleyici yerine, diyagonallerle takviye edilmesi uygun görölmüştür.



Şekil 5.1 Sönümleyicilerin 9 katlı yapıda uygulanması (a) plan (b) diyagonal tip yerleşim, (c) Chevron tipi yerleşimi. (Tarassoly,2003 kaynağından geliştirilerek).

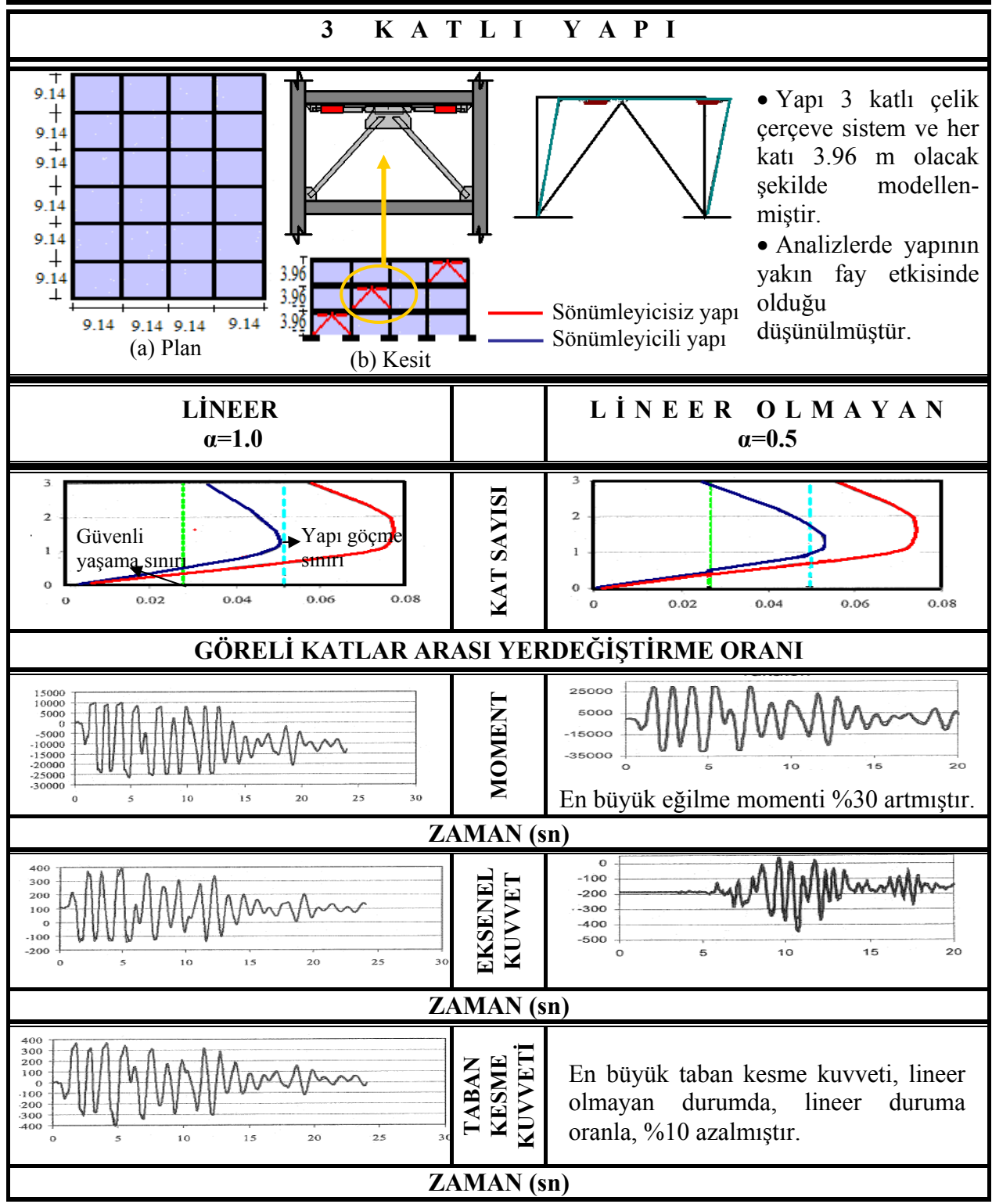
Yapıda 7-9. katlara 1, 5-6. katlara 2, 3-4. katlara 3 ve 1-2. katlara 3 sönümleyici eklenmiştir. Her sönümleyicinin diğeri bir sönümleyiciden bağımsız olarak yerdeğiştirme yaptığı bu sistem sayesinde;

- Yapıda kesit tesirleri ve görelî yerdeğiştirmelerde sağlanan ilave sönüm nedeni ile önemli oranda azalma,

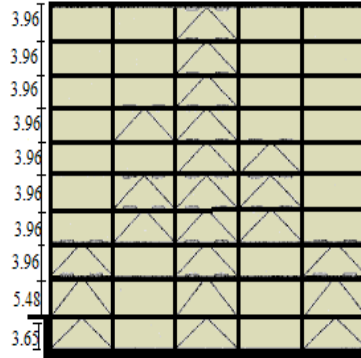
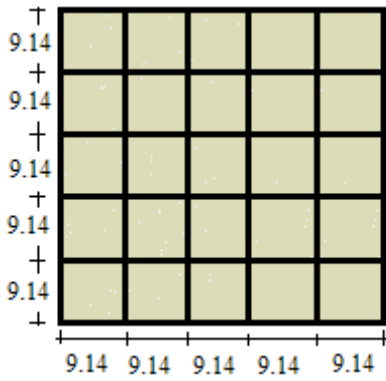
- Yapıda tek tip sönümleyici seçildiği için güçlendirme maliyetinde tasarruf sağlanmıştır.

Chevron tipi sönümleyicilerin 3, 9 ve 20 katlı yapılarda uygulanmasıyla ilgili örnekler Tarassoly (2003) kaynağından faydalanılarak Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Chevron tipi sönümleyicilerin 3, 9 ve 20 katlı yapılarda uygulanması (Tarassoly, 2003’den geliştirilerek).



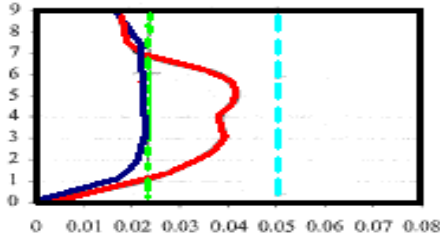
9 K A T L I Y A P I



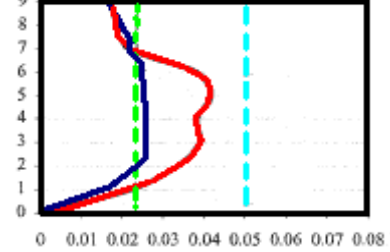
- Yapı 9 kat+1 bodrum kat, çelik çerçeve sistem, normal kat yükseklikleri 3.96 m, zemin katı 5.48 m ve bodrum katı 3.65 m olacak şekilde modellenmiştir.
- Analizlerde yapının yakın fay deprem etkisinde olduğu düşünülmüştür.

LİNEER
 $\alpha=1.0$

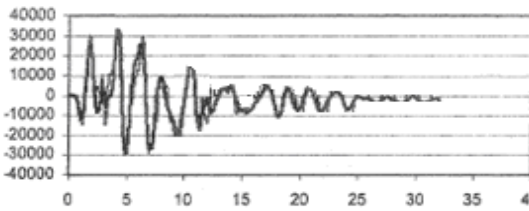
LİNEER OLMAYAN
 $\alpha=0.5$



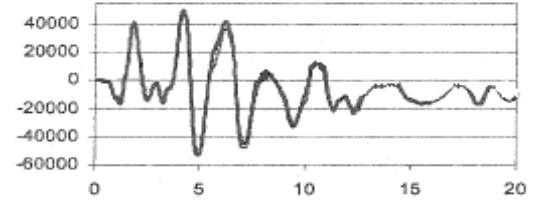
KAT SAYISI



GÖRELİ KATLAR ARASI YERDEĞİŞTİRME ORANI

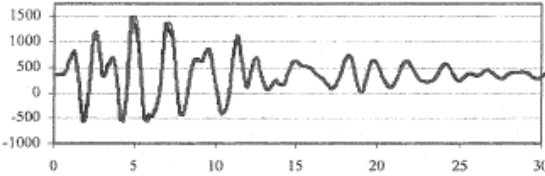


MOMENT

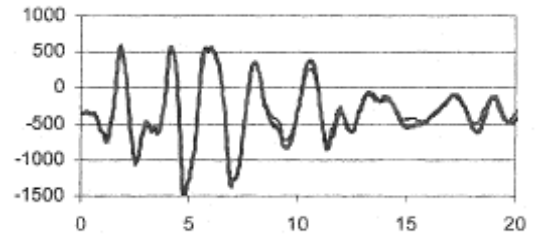


En büyük eğilme momenti %32 artmıştır.

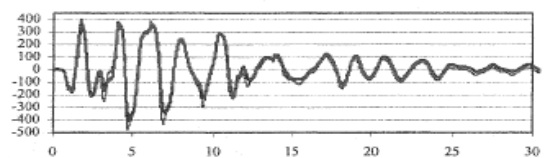
ZAMAN (sn)



EKSENEL KUVVET



ZAMAN (sn)

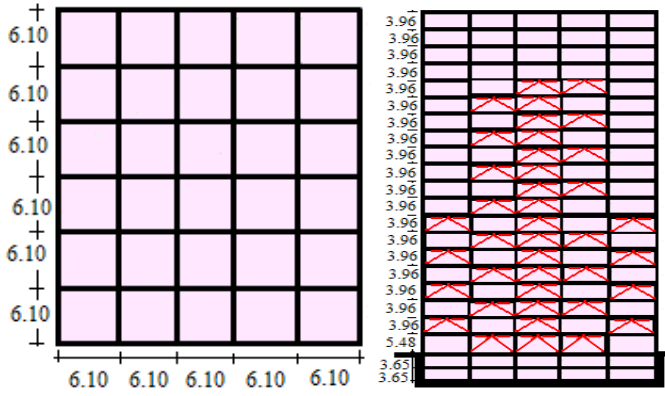


TABAN KESME KUVVETİ

En büyük taban kesme kuvveti, lineer olmayan durumda, lineer duruma oranla, %25 azalmıştır.

ZAMAN (sn)

20 K A T L I Y A P I



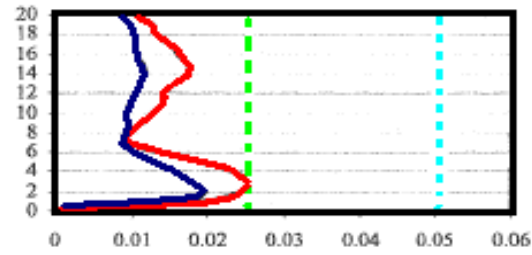
- Yapı 22 kat+2 bodrum kat hariç, çelik çerçeve sistem, normal kat yüksekliği 3.96 m, zemin katı 5.48 m ve bodrum katları 3.65 m olacak şekilde modellenmiştir.
- Analizlerde yapının yakın fay deprem etkisinde olduğu düşünülmüştür.

LİNEER

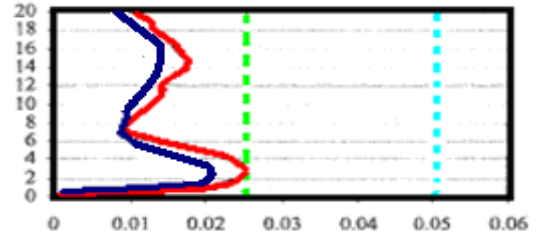
$$\alpha=1.0$$

LİNEER OLMAYAN

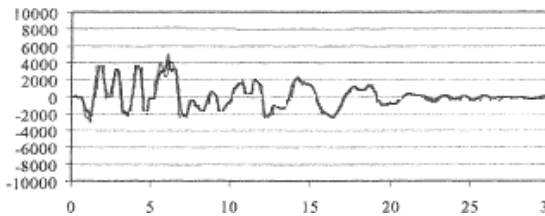
$$\alpha=0.5$$



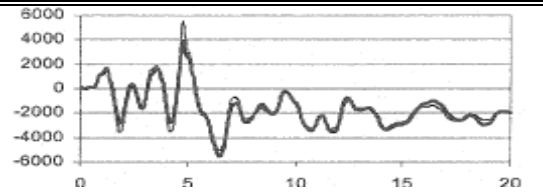
KAT SAYISI



GÖRELİ KATLAR ARASI YERDEĞİŞTİRME ORANI

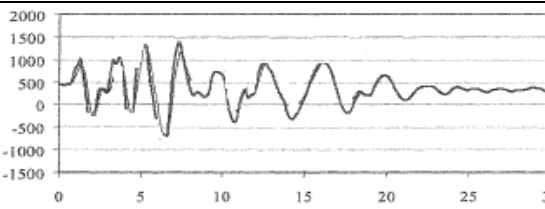


MOMENT

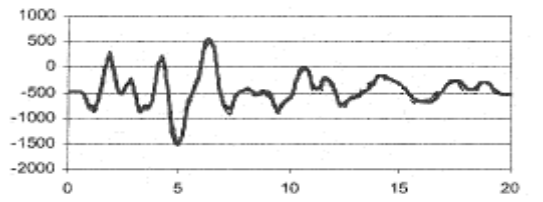


En büyük eğilme momenti %18 artmıştır.

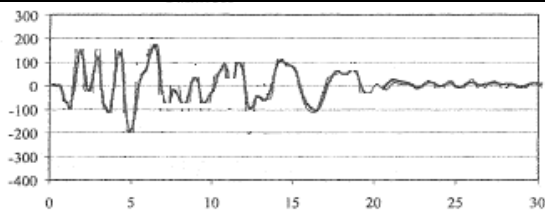
ZAMAN (sn)



EKSENEL
KUVVET



ZAMAN (sn)



TABAN
KESME
KUVVETİ

En büyük taban kesme kuvveti, lineer olmayan durumda, lineer duruma oranla, %20 azalmıştır.

ZAMAN (sn)

Çizelge 5.2’ de verilen deney ve uygulama çalışmalarının sonucunda aşağıdaki saptamalara ulaşılmıştır :

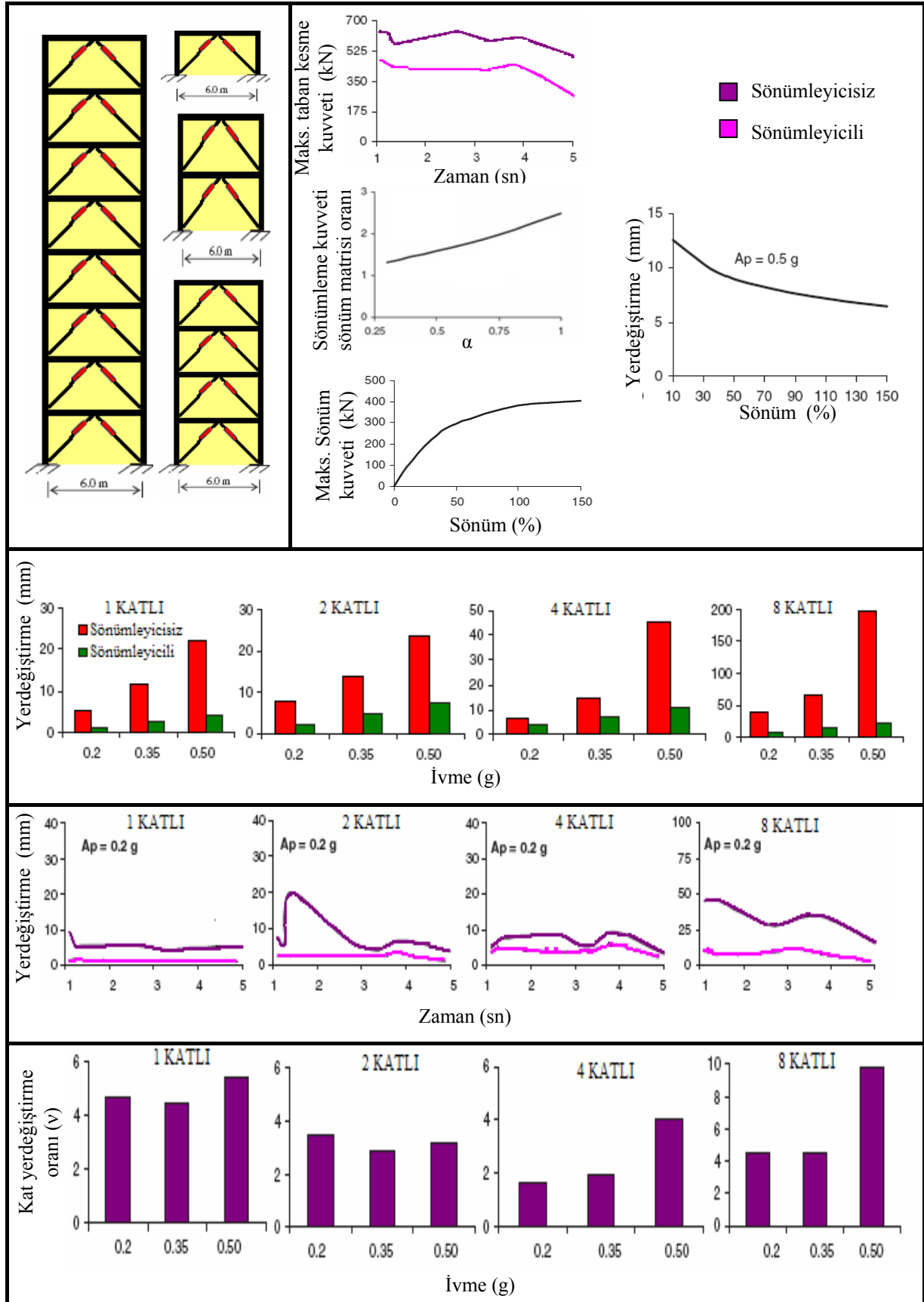
- Lineer ve lineer olmayan sönümleyiciler ile; taban kesme kuvvetleri, eğilme momentleri, aksenal kuvvetler ve görelî yerdeğıştirmelerin azaltılması sağlanmıştır. Ancak *lineer* viskoz akışkanlı sönümleyicili sistemler ile, lineer olmayan sönümleyicili sistemlere göre, her üç yapıda da, görelî yerdeğıştirmelerde *daha fazla azalma* elde edilmiştir.
- Lineer ve lineer olmayan sönümleyicilerin eklenmesiyle, yapılarda sismik açıdan güvenlik yaşam standartlarına (kabul edilebilir yerdeğıştirme oranları) ulaşılmıştır. Fakat ekonomik açıdan değerdendirme yapıldığında, düşük kat sayısına sahip yapılarda, lineer olmayan sönümleyicilerin kullanılması uygun değildir. Yüksek katlı yapılarda (Örneğın 20 katlı) lineer sönümleyiciler (birinci modda maksimum sönüm sağlasa da) yerine, *taban kesme kuvveti* ve *aksenal kuvvetlerde* daha fazla sönüm (3 katlı yapıda %10, 9 ve 20 katlı yapıda %20) sağlayan *lineer olmayan* sönümleyicilerin kullanımı daha uygundur. Çünkü lineer sönümleyici kullanılması durumunda, yapının taşıyıcı sisteminin güçlendirilmesi gerekliliğı ortaya çıkmakta, bu da lineer olmayan duruma göre maliyeti daha fazla arttırmaktadır. Ancak yapılarda lineer durumda, lineer olmayan sisteme göre, *daha düşük kat ötelenmeleri* ve *kolonlarda daha düşük eğilme momentleri* gözlenmektedir. FEMA 356 güvenli yaşam performansı kriterlerine göre, yapıda her zaman için tercih edilmesi gereken en önemli etken, yapıya etkiyen *taban kesme kuvvetini en düşük* seviyelere ulaştırmaktır.
- Uygulama kolaylığı ve tek tip sönümleyici kullanımıyla, klasik güçlendirme yöntemleri ile yapıya gelecek maliyet ve yük artışı azaltılmıştır.
- Tasarımcıya serbest modelleme imkanı sunulmuştur.
- Ayrıca alt katlarda aksenal kuvvet ve zeminden yapıya etkiyen farklı hız etkileriyle oluşan frekans değışimlerinin yutulması sağlanmıştır.

5.2 Uygulama 2

Uygulamada kat yükseklikleri 3.6 m olan 1, 2, 4 ve 8 katlı yapılara Chevron tipi sönümleyiciler eklenmiş, farklı ivme değerdeleri ve sönüm yüzdeleri açısından değerdendirilmiştir.

Analiz çalışmaları, Dicleli ve Mehta (2006) kaynağından derlenerek oluşturulmuş, Çizelge 5.3’ de verilmiştir.

Çizelge 5.3 1, 2, 4 ve 8 katlı yapıların Chevron tipi viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesi. (Dicleli ve Mehta,2006 kaynağından geliştirilerek).



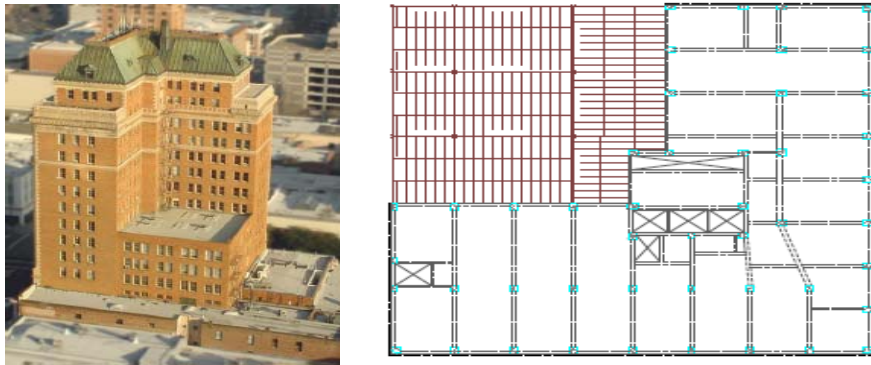
Yapılan uygulamaların sonuçlarından aşağıdaki sonuçlar üretilmiştir.

- Özellikle zemin periyodu ile yapı periyodunun yakın olduğu durumlarda, yapılarda meydana gelebilecek yerdeğiştirmeler büyük ölçüde azaltılmıştır.
- Yapıda yüksek ivme değerlerinde meydana gelen görelî kat yerdeğiştirmelerinde %60'a varan azalmalar elde edilmiştir.
- Sönüm oranının %50'den küçük olduğu durumlarda görelî kat yerdeğiştirmeleri çok daha fazla azalmaktadır. En fazla sismik enerji sönümü ise %10-30 sönümleme oranlarında gerçekleşmektedir. (Yüksek sönüm oranlarında daha fazla kuvvet ile daha az kat yerdeğiştirmesi sönümlenmektedir)
- Genellikle sönümleyici eklenmiş *yüksek katlı* yapılarda sismik enerjinin sönümlenme hızı, *az katlı* yapılarla kıyaslandığında daha *düşük* olmaktadır.
- $\alpha < 1$ sabit değerlerinde sönüm hızının 1m/sn' den daha küçük olması tercih edildiğinde, sistem ile oldukça etkili sönümleme sağlamıştır (Dicleli ve Mehta, 2006)

5.3 Uygulama 3

Bu bölümde, 1920 yılında inşa edilmiş tarihi bir yapının (Sacramento/California) (Şekil 5.2) viskoz akışkanlı sönümleyiciler ile güçlendirilmesi ele alınmıştır. Kullanılan tüm bilgi ve resimler için Miyamoto International, 2007 kaynağından faydalanılmıştır. 61 m uzunluğundaki betonarme yapı, 14 katı yer üstünde ve bir katı yeraltında olmak üzere 15 katlıdır. Toplam alanı 6500 m² olan yapıya 1924 yılında 6 kat, 1932 yılında ise 2 kat daha eklenmiş ve yapının statik anlamda zayıflamasına neden olunmuştur.

Yapıyı güçlendirilecek kadar değerli kılan, dış cephedeki terra cotta kaplama dahil tüm mimari unsurların tarihi dokuyu simgelemesidir. Bu nedenle yapı güçlendirilirken göz önüne alınan en önemli husus; yapının çatıdaki kiremitleri dahil, hiç bir unsuruna zarar verilmemesi olmuştur.



Şekil 5.2 Viskoz akışkanlı sönümleyici eklenen tarihi yapı ve normal kat planı.

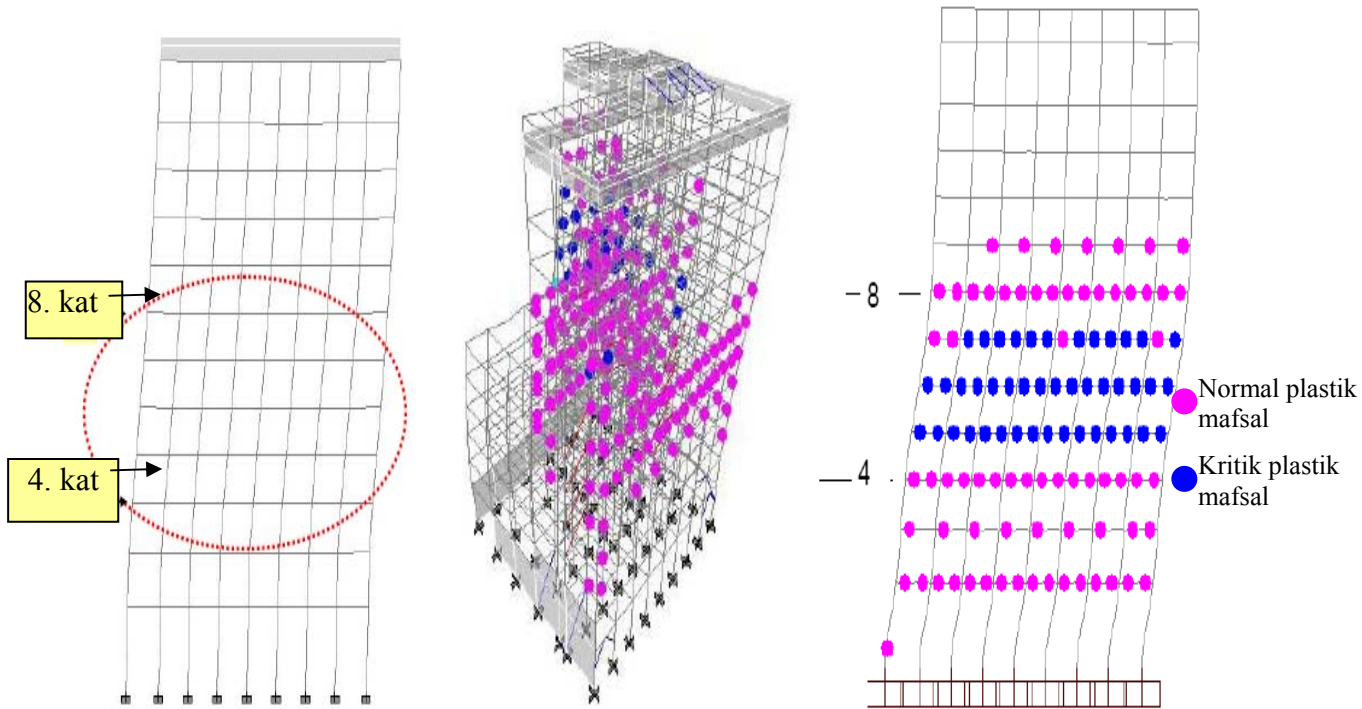
“Structural and Earthquake Engineers West Sacramento” tarafından yapılan araştırmalarda, tarihi betonarme binaların güçlendirmesinde en uygun ve ekonomik çözümün viskoz akışkanlı sönümleyiciler olduğu görülmüştür. Bu sistem, gelişen teknoloji ve yerinde üretimin sağladığı ucuz maliyet nedeniyle, Kaliforniya’da şimdiye dek birçok tarihi binada uygulanmıştır.

Tarihi yapının SAP2000 programı ile matematik modellemesi ve analiz çalışmaları yapılmış, ve sonucunda;

- Yapının ilk altı modu için en fazla hasarın meydana geldiği bölümün 4 ile 8. kat arası olduğu,
- Yapıya 1. modda ($T=2.1$ sn) toplam yapı kütesinin %60’ı kadar kuvvet etki ettiği

belirlenmiştir .

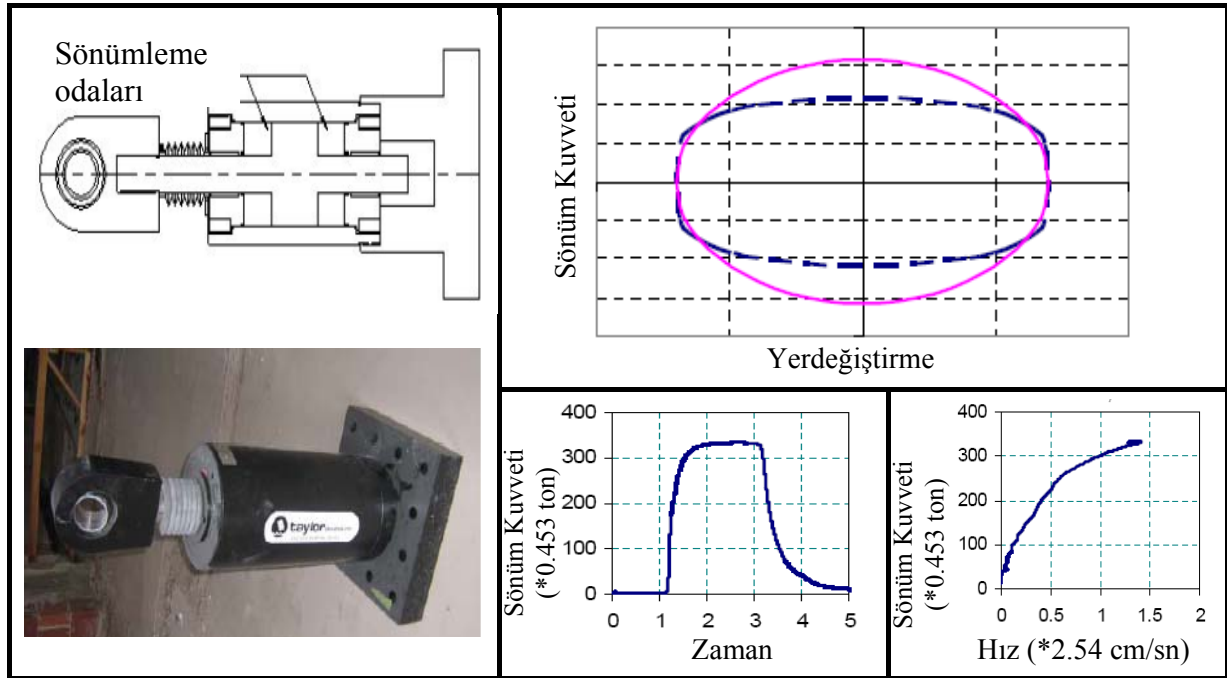
Tasarım depremi için yapıda, mevcut hali ile meydana gelecek plastik mafsallar ve oluşacak yerdeğiştirmeler güçlendirme öncesinde belirlenmiştir (Şekil 5.3).



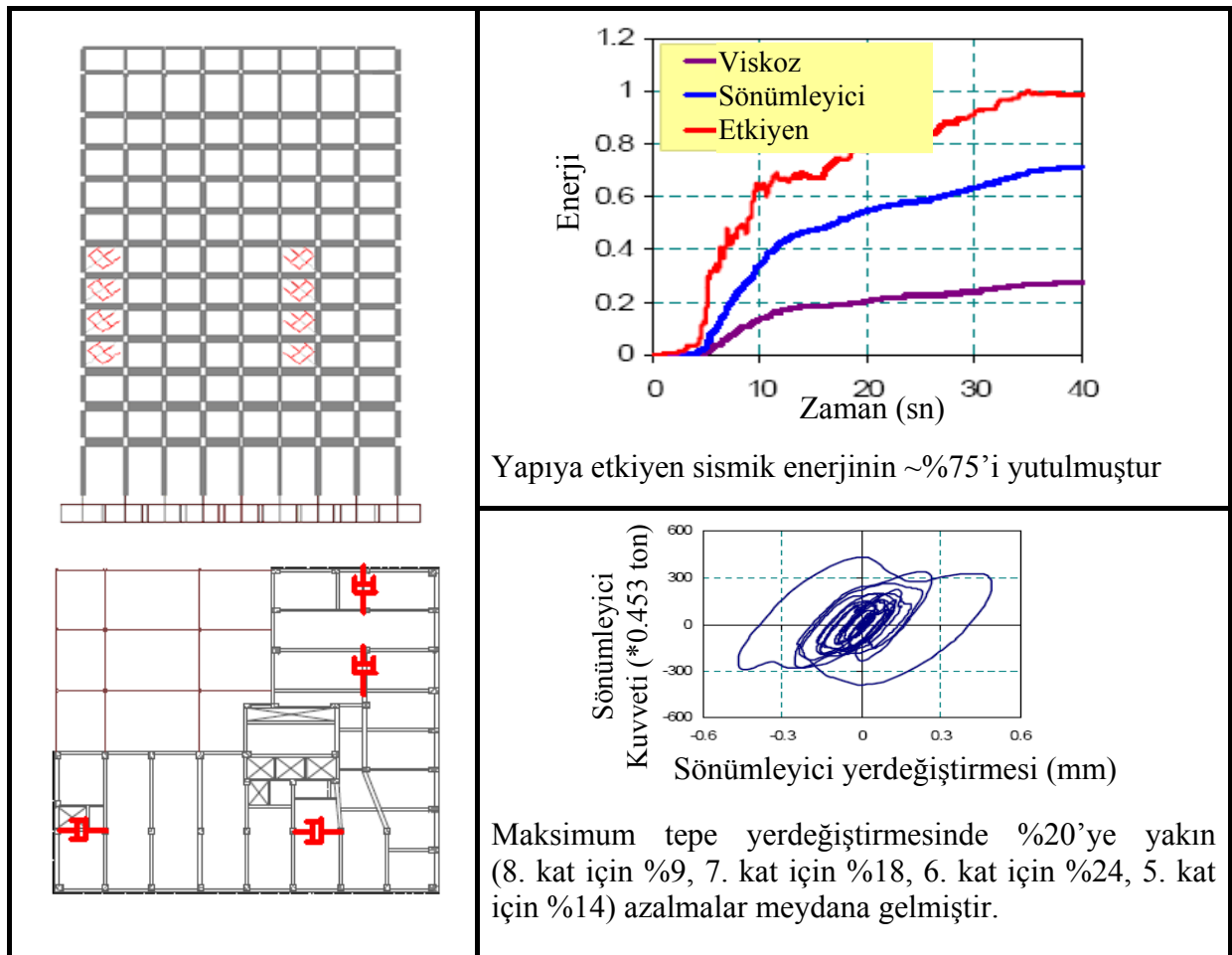
Şekil 5.3 Yapıda oluşacak plastik mafsallar ve yerleri.

Yapıda kullanılan lineer viskoz akışkanlı sönümleyicilerin tipik kesiti, fotoğrafı, sönüm kuvveti-yedeğiştirme ilişkileri ile viskoz akışkanlı sönümleyicilerin yerleşimi ve yapı üzerindeki etkileri Miyamoto International, 2007 kaynağından derlenerek Çizelge 5.4 ve 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Tarihi yapıda kullanılan lineer viskoz akışkanlı sönümleyicilerin özellikleri.



Çizelge 5.5 Tarihi yapıda sönümleyicilerin yerleşimi ve yapı üzerindeki etkileri.



Sonuç olarak;

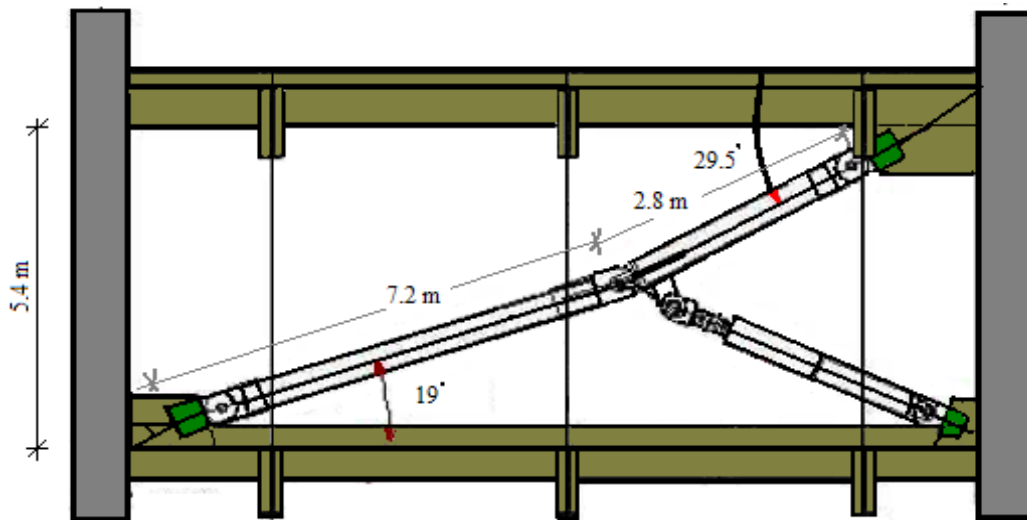
- Betonarme tarihi binalarda sismik enerjinin yutulması için, viskoz akışkanlı sönümlleme sisteminin oldukça etkili bir çözüm olduğu görülmüştür. Ayrıca yapı içindekilere kullanım zorluğu sunmadan kolayca uygulan bu sistem, yapının klasik güçlendirme yöntemleriyle onarılması durumunda meydana gelebilecek kütleli ve görsel ağırlık artışını engellemiştir.
- Yapısal unsurlara zarar vermeden ve yapının kimliğini bozmadan uygulanan bu sistem, üretimi aynı ülke içinde yapılmak koşuluyla, tarihi binaların güçlendirmesinde oldukça ekonomik bir çözümdür.

5.4 Uygulama 4

39 katlı, 2000 m² taban alanı ve 5.8 m kat yüksekliğindeki yapıda; viskoz akışkanlı sönümlleme sisteminin eklenmesiyle amaçlanan;

- Yapıya 144 km/sa hızda etkiyen rüzgarın yapıda meydana getirdiği titreşim ve yerdeğiştirmeleri azaltmak,
- Z2 zemin tipine oturan yapıda sismik enerjinin yutulmasını sağlamaktır.

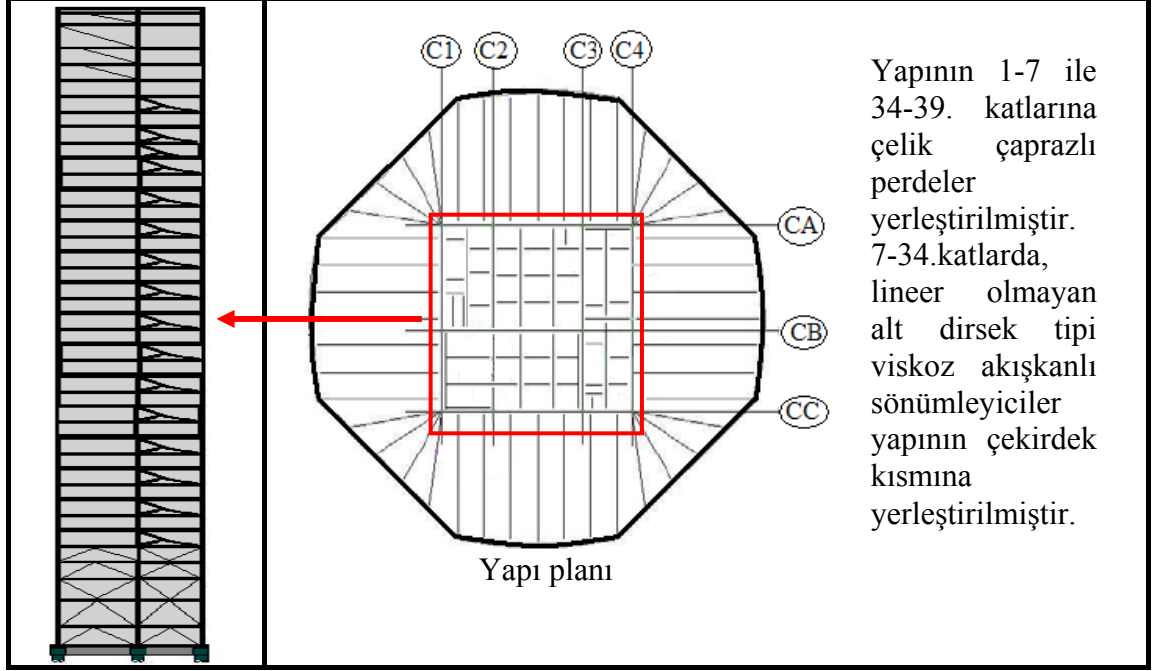
Yapıda ilk olarak rüzgarın meydana getirdiği yerdeğiştirmeleri azaltabilmek için gerekli analizler yapılmış ve rüzgar açısından en riskli bölümün 7-36. katlar olduğu belirlenmiştir. İkinci analizde ise yapının sismik açıdan değerlendirilmesi yapılarak, rüzgar analizlerinden çıkan sonuçların da ışığında yapıya *alt dirsek tipi* sönümleyicilerin (Şekil 5.4) yerleştirilmesi uygun bulunmuştur.



Şekil 5.4 Yapıda uygulanan alt dirsek tipi sönümleyici (Taylor, 2008 kaynağından derlenmiştir)

Yapıya Şekil 5.4'te belirtilen alt dirsek tipi sönümleyicilerin ve çelik çaprazlı perdelerin uygulanması Taylor, 2008 kaynağından derlenmiş olarak Çizelge 5.6' de verilmiştir.

Çizelge 5.6 39 katlı yapıda alt dirsek tipi sönümleyicilerin yerleşimi.



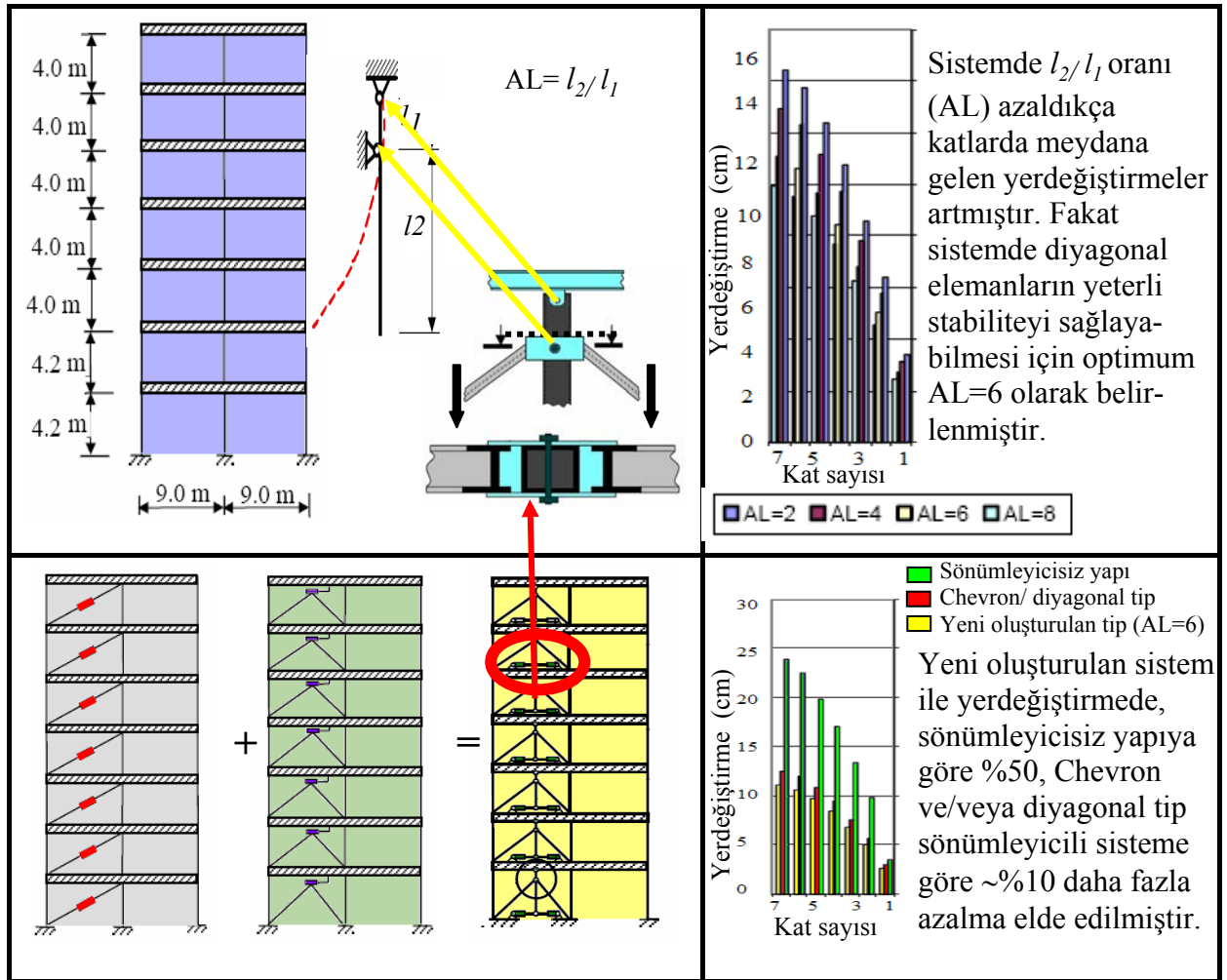
Sonuç olarak;

- Rüzgar ve deprem kaynaklı yerdeğiştirme ve ivme değerleri %35 azalmıştır.
- Rüzgar yüklerine karşı, diğer sistemler ile karşılaştırılmayacak ölçüde ekonomik şekilde sönüm yeteneği elde edilmiştir.
- Toplam 60 adet alt dirsek tipi viskoz sönümleyicinin kullanıldığı yapının güçlendirme maliyeti toplamda 1 000 000 \$'dan daha az olmuştur.

5.5 Uygulama 5

Bu bölümde diğer bölümlerden farklı olarak, 7 katlı çelik sistem yapı üzerinde lineer diyagonal ve Chevron tiplerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş vizkoz sönümleyiciler uygulanmıştır. Yeni oluşturulan sönümleyicilerin yapı üzerinde, iki sistemin ayrı ayrı uygulanmasına göre, daha farklı etkileri gözlemlenmiştir. Analiz çalışmalarının sonucu ve yapı üzerindeki uygulanması Reinhorn ve Ribakov (2008) kaynağından derlenmiş olarak Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Yedi katlı yapının diyagonal ve Chevron tip sönümleyicilerin birleştirilmesiyle oluşturulmuş viskoz sönümleyiciler ile güçlendirilmesi.



Sonuç olarak iki sistemin birleştirilmesiyle elde edilen bu sistem ile Çizelge 5.7'deki uygulamalarda belirtilen sonuçların dışında;

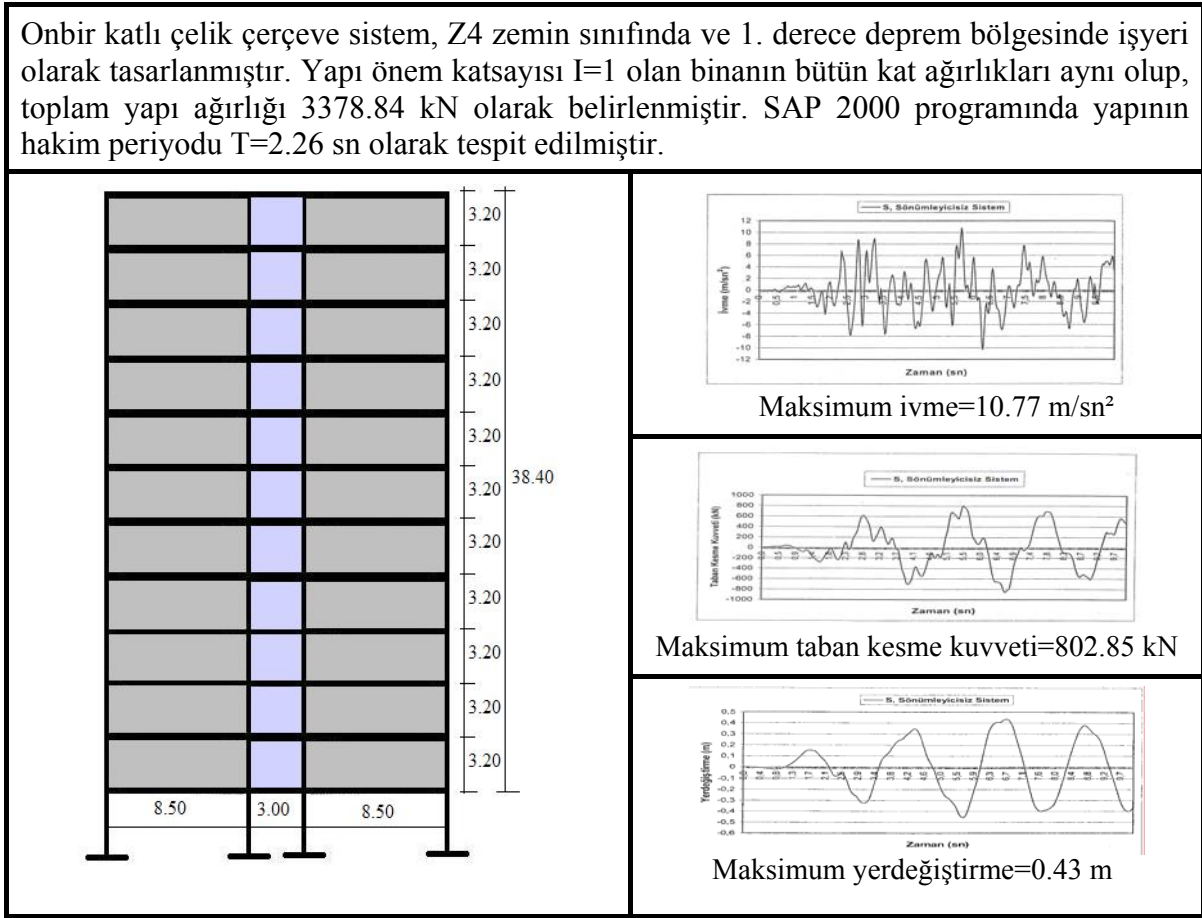
- Yapının *tepe yerdeğiştirmesinde* %40-70 düzeyinde azalma sağlanmıştır.

5.6 Uygulama 6

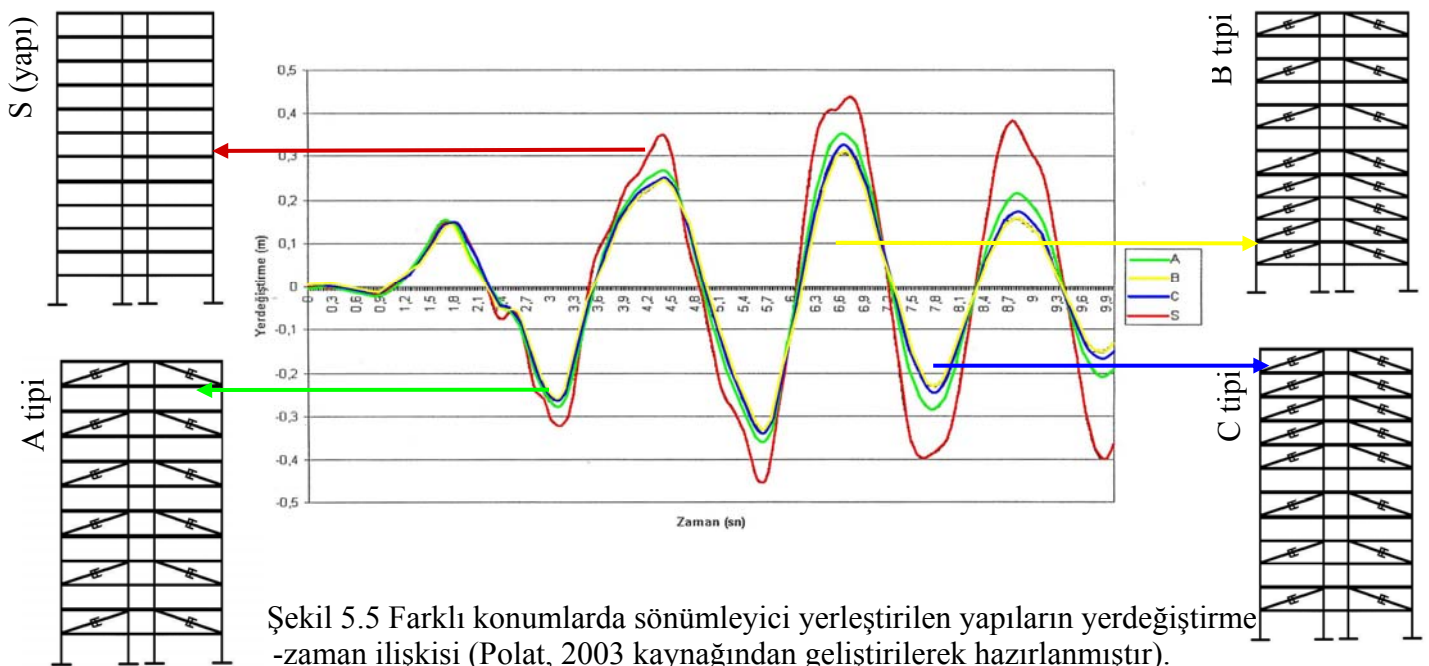
Onbir katlı bir çelik çerçeve sisteme üç farklı konumda ve sayıda, farklı sönüm katsayısına sahip lineer viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiş (Polat, 2003) ve yapıda oluşturduğu etkiler incelenmiştir

Onbir katlı yapının, anılan kaynakta verilen yapı özellikleri, ivme-zaman, yerdeğiştirme-zaman ve taban kesme kuvveti-zaman ilişkisi kullanılarak, Çizelge 5.8 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.8 On bir katlı düzlem çerçeve sistemin matematik modeli ve sönümleyicisiz yapının yerdeğiştirme, ivme ve taban kesme kuvvetinin zaman ile değişimi.



Onbir katlı çelik çerçeve sistem yapıya üç farklı konum ve sayıda aynı tip sönümleyici eklenmiş ve yapıda meydana gelen yerdeğiştirmeler Şekil 5.5’de karşılaştırmalı verilmiştir.



Şekil 5.5 Farklı konumlarda sönümleyici yerleştirilen yapıların yerdeğiştirme-zaman ilişkisi (Polat, 2003 kaynağından geliştirilerek hazırlanmıştır).

Şekil 5.5 ve deneyler sonucu elde edilen matematiksel veriler Çizelge 5.9’te verilmiştir.

Çizelge 5.9 On bir katlı düzlem çerçeve sistemin güçlendirme öncesi ve sonrası durum değerlendirilmesi (Polat, 2003).

	S	A	B	C
Maksimum ivme değerleri (m/sn ²)	10.77	5.02	4.71	4.61
Maksimum göreceli yerdeğiştirme (cm)	0.43	0.35	0.30	0.32
Maksimum taban kesme kuvveti (kN)	802.85	656.26	599.65	604.17

Çizelge 5.9’de incelenen büyüklüklerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

- Her üç tipte de sönüm katsayıları arttırıldıkça yerdeğiştirmenin azaldığı ve *B tipinde minimum yerdeğiştirmelerin* gerçekleştiği görülmüştür.
- Her üç tipte de sönüm katsayıları arttırıldıkça ivmeler azalmış ve *C tipinde minimum ivmeler* elde edilmiştir.
- Her üç tipte de sönüm katsayıları arttırıldıkça taban kesme kuvvetleri azalmış ve *B tipinde minimum taban kesme kuvvetleri* elde edilmiştir.

Tüm bu verilere bakıldığında deprem yükleri etkisindeki yerdeğiştirmeler azaltılmak istendiğinde ve bu amaçla yapıya lineer viskoz sönümleyici eklenmesi düşünüldüğünde, B ve C tipinin birbirine çok yakın performans sergilediği görülmüştür.

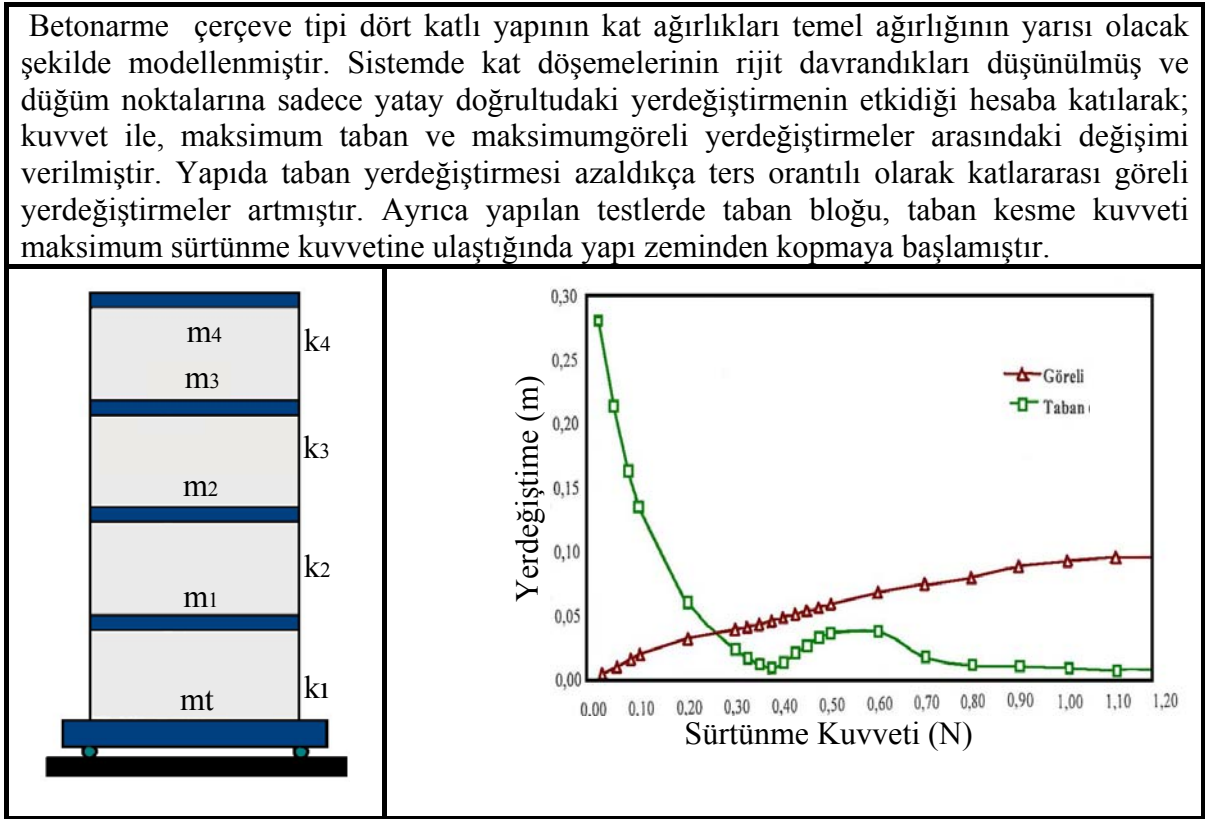
5.7 Uygulama 7

Bu bölümde viskoz akışkanlı sönümleyicilerin sürtünmeli sarkaç mesnetle birlikte, iki farklı yapı (dört ve dokuz katlı) üzerinde, değişik sayı ve konumlarda kullanılması durumu incelenmiştir.

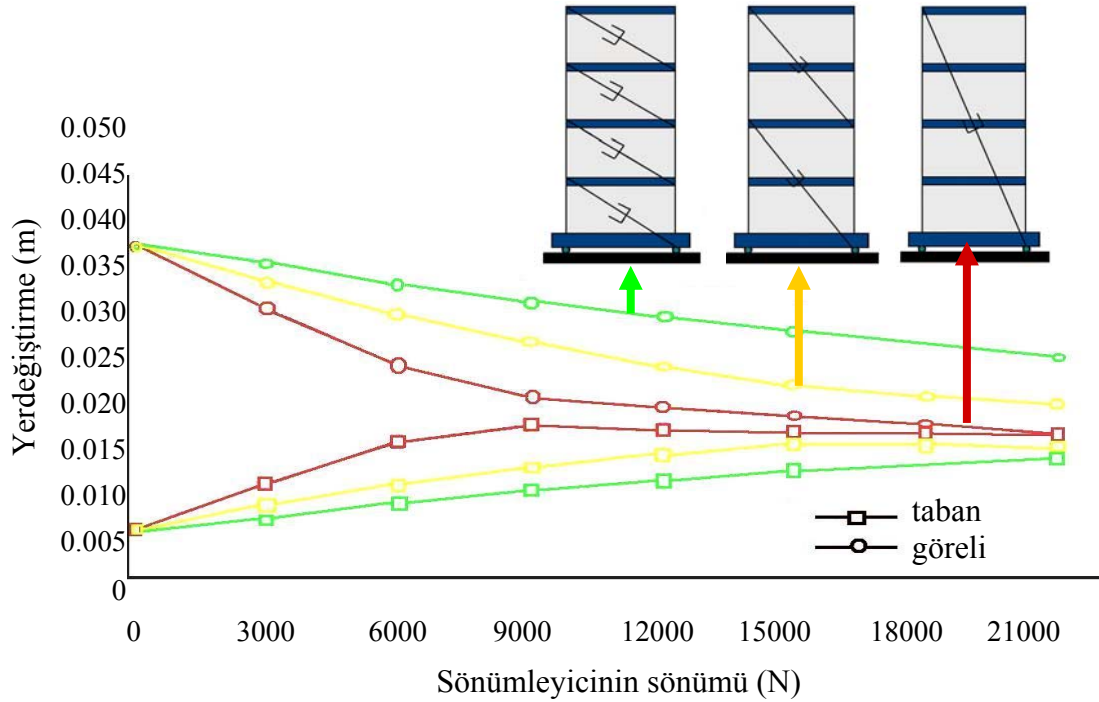
5.7.1 Viskoz Akışkanlı Sönümleyiciler ile Sürtünmeli Sarkaç Mesnetlerin Dört Katlı Yapı Üzerindeki Uygulamaları

Işık (2006) kaynağından derlenerek oluşturulmuş Çizelge 5.10’da, sönümleyici eklenecek dört katlı yapının özellikleri, katlararası göreceli yerdeğiştirmeleri ve taban yerdeğiştirmesi için sürtünme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkileri verilmiştir.

Çizelge 5.10 Dört katlı düzlem çerçeve sistemin matematik modeli ve sürtünme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi.



Dört katlı betonarme çerçeve sistem yapıya üç farklı konum ve sayıda sönümleyici yerleştirilmiş ve yapıda oluşturduğu etkiler Şekil 5.6' de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.6 Sönümleyicilerin farklı biçimlerde yerleştirilmesinin sönüm-yerdeğiştirme ilişkisi üzerindeki etkileri.

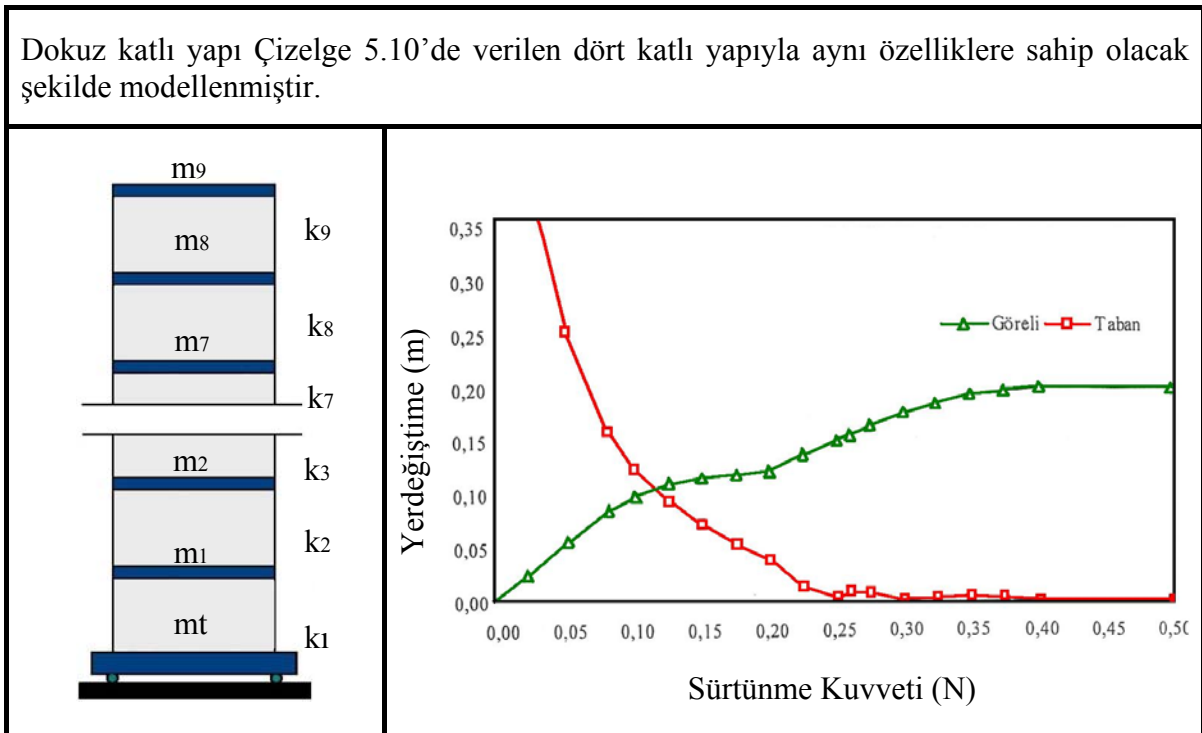
Sonuç olarak;

- Yapıda sönümleyici kullanılması, sönümleyicisiz duruma göre, taban yerdeğiştirmesini ve maksimum görelî yerdeğiştirmeleri azaltmıştır.
- Dinamik yatay hareketlerin en fazla sönümlendiği yapı, *her kata* viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilen tip olmuştur. Çerçevelerde sönümleyici sayısı azaldıkça ve sönümleyicilerin bağlandığı kat aralığı arttıkça yapının, taban *yerdeğiştirmesi* belirli bir sönüm kuvvetine kadar daha fazla artmaktadır. Maksimum görelî kat ötelemelerinde en fazla azalma sönümleyici sayısının azaltılması durumunda ortaya çıkmıştır.

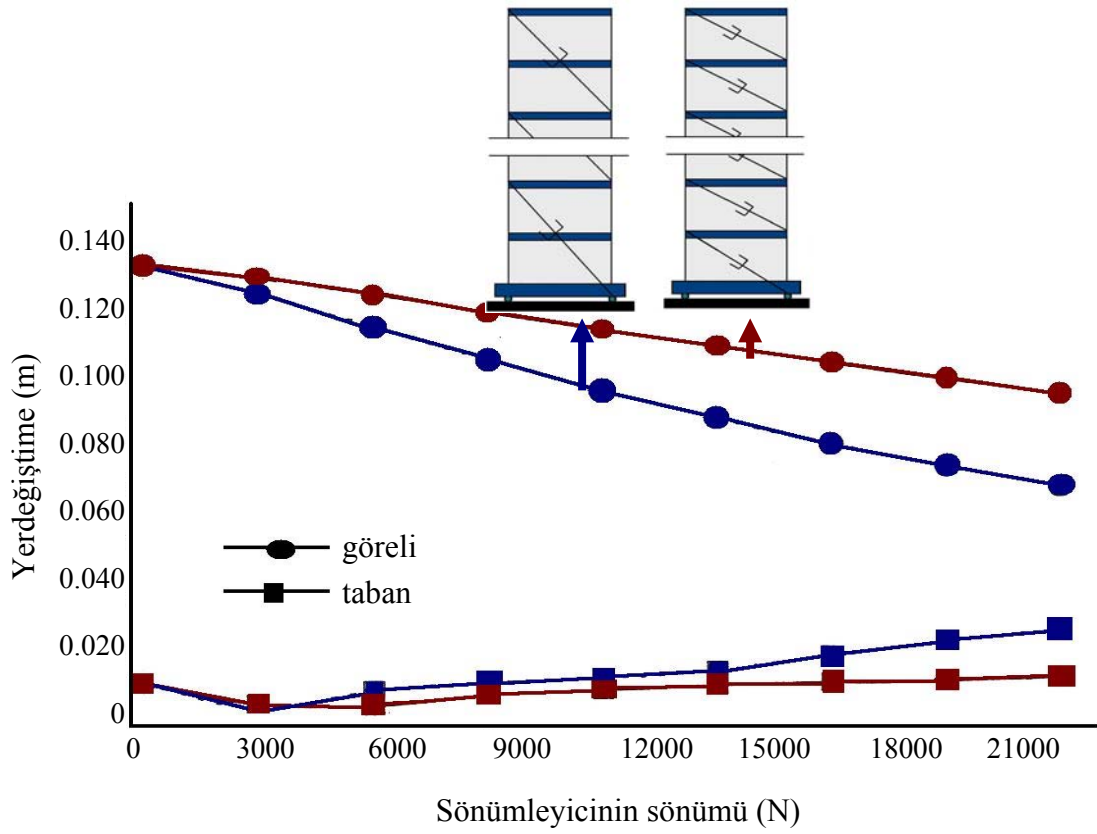
5.7.2 Viskoz Akışkanlı Sönümleyiciler ile Sürtünmeli Yalıtkanların Dokuz Katlı Yapı Üzerindeki Uygulamaları

Dokuz katlı sönümleyici eklenecek yapının sürtünme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkileri Işık (2006) kaynağından geliştirilerek oluşturulmuş, Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 Dokuz katlı düzlem çerçeve sistemin matematik modeli ve sürtünme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisi.



Dokuz katlı betonarme yapıya üç farklı konum ve sayıda sönümleyici yerleştirilmiş ve yapıda oluşturduğu etkiler Şekil 5.7’ de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Şekil 5.7 Işık (2006) kaynağından derlenerek hazırlanmıştır.



Şekil 5.7 Sönümleyicilerin farklı biçimlerde yerleştirilmesinin sönüm-yerdeğiştirme ilişkisi üzerindeki etkileri.

Sonuç olarak;

- Yapıda sönümleyici kullanılması, sönümleyicisiz duruma göre, taban yerdeğiştirmesi ve katlararası görelî yerdeğiştirmeleri azaltmıştır.
- Dinamik yatay hareketlerin en fazla sönümlendiği yapı, her kata viskoz akışkanlı sönümleyicinin yerleştirildiği tip olmuştur. Çerçevelerde her iki katta bir sönümleyicinin yerleştirildiği durumda taban yerdeğiştirmesi artmış olduğu halde, görelî tepe yerdeğiştirmesinde taban yerdeğiştirmesine göre daha büyük bir azalma sağlanmıştır. Fakat her katta bir sönümleyicinin kullanıldığı durumda taban yerdeğiştirmesi *daha fazla azalmıştır*.

Ayrıca yapılan tüm bu analiz çalışmalarının dışında Hussain ve AlSatariv (2004) kaynağında, viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin yerinde imal edilmek şartı ile (nakliye ve uygulamacıların dış ülkeden getirilme bedeli oldukça yüksek olduğu için), yapıya getireceği ek maliyet 10 \$/m² olarak ifade edilmiştir.

6. SONUÇLAR

Sismik açıdan aktif bölgelerde uygulanan sismik taban yalıtım ve viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin depreme dayanıklı yapı tasarımında oldukça başarılı sonuçlar gösterdiği son yıllarda yapılan çalışmalar ile açıkça ortaya konmuştur. Yapılan teorik ve deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır :

1) Yapıya, çelik piston ve piston içinden zorlanarak geçen silikon akışkan sayesinde sönümleme sağlayan viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin yerleştirilmesi ile,

- o Eğilme momentleri,
- o Taban kesme kuvvetleri,
- o Eksenel kuvvetler,
- o Göreli kat ötelemeleri,
- o Spektral ivmeler

güvenli yaşam standartlarını sağlayacak düzeylere kadar azaltılabilmektedir.

2) Viskoz akışkanlı sönümleme sistemi, lineer ve lineer olmayan çözüm alternatifleriyle, yüksek-orta-az katlı yapıların tamamında sismik enerjinin yutulmasını sağlayarak, yapının taşıyıcı sistemi ve yapı içindeki donanımların deprem sırasında hasar almadan etkinliğini deprem sonrası da sürdürmesine imkan sağlamaktadır.

3) Lineer davranış gösteren viskoz akışkanlı sönümleyiciler ($\alpha=1$), lineer olmayan duruma ($\alpha<1$) göre;

- o Göreli kat ötelemeleri ve eğilme momentinde *daha fazla* sönüm,
- o Eksenel kuvvetler ve taban kesme kuvvetlerinde *daha az* sönüm

sağlamaktadır.

4) Bir katta kullanılacak viskoz sönümleyici sayısı, katın göreli yerdeğiştirmesinin minimum kat yerdeğiştirmesine bölümü ile elde edilmektedir. Yapıda konumlanmasında ise sönümleyicilerin,

- o Zemin katlarda eksenel kuvvetlerin daha fazla olduğu *dış çerçevelere*,
- o Üst katlarda tasarımcı/kullanıcının belirleyebileceği *iç çerçevelere*,

yerleştirilmesi tercih edilmekte

- o Zemin seviyesinin altında kalması nedeniyle, maliyetin arttırılmaması için yapının bodrum katlarına yerleştirilmesi

tercih edilmemektedir.

Yapıda rüzgar yüklerinin etkisi azaltılmak istendiğinde ise, rüzgar testleri sonucunda yapıda

büyük görelî kat ötelemelerinin oluştuğu ara katlarda ve büyük eğilme momentlerine maruz kalan, plastik mafsal oluşma potansiyeli olan birleşim noktalarında kullanılmaktadır.

- 5) Sismik taban yalıtım sistemlerinde sismik enerji, yapıyı zeminden ayıran kauçuk esaslı yalıtkanlar sayesinde, periyodun büyütülmesi yoluyla sönümlenmektedir. Bu da yapılarda meydana gelen moment etkilerinin, taban kesme kuvvetlerinin ve görelî kat ötelenmelerinin azaltılmasını sağlamakta, dolayısı ile yapıdaki taşıyıcı sistem kesit boyutlarının küçülmesine ve maliyetin azalmasına neden olmaktadır. Ancak bu tür yapıların tasarımında, yurtdışı yönetmeliklerde verilen kriterler ekonomi sağlanmasından çok daha güvenli yapı yapılmasını hedeflemektedir.
- 6) Sismik taban yalıtım sistemlerinde yapının yüksekliğı arttıkça yalıtkanların enerji sönümleyebilme kapasitesi artmakta, ancak bu durum yapıda devirici momentlerin artmasına neden olduğundan, yaşam güvenliğı açısından risk oluşturmaktadır. Bu nedenle *yüksek yapılarda* viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin kullanımı daha uygun bulunmaktadır. Sismik taban yalıtım sistemin az ve orta katlı yapılarda kullanımında ise oldukça başarılı sönüm oranları sağlanmaktadır.
- 7) Sismik taban yalıtım sistemlerinin;
 - o Yumuşak zeminde kullanımı uygun değildir. Çünkü, yapının periyodu zemin periyoduna yaklaşmakta bu da rezonans tehlikesi oluşturmaktadır.
 - o Periyodu düşük olan sert-orta sert zeminlerde kullanımı ise oldukça verimlidir.

7. ÖNERİLER

Deprem sonrasında işlevlerine devam etmesi gereken hastane, itfaiye, okul, köprü, viyadük ve nükleer santral gibi yapılarda şiddetli bir depremde hasar meydana gelmemesi, yapı içeriğinin korunması ve işlevlerinin kesintisiz devamını öngören yeni teknolojik gelişmelere şiddetle ihtiyaç vardır. Yapıyı ağırlaştıran, bu nedenle yapıya etkiyen deprem kuvvetlerini arttıran, ayrıca önemli zaman ve maliyet kayıplarına neden olan klasik güçlendirme yöntemleri yerine; sönüm oranını önemli oranda arttırarak mevcut yapının deprem davranışını iyileştirecek, az/orta ve çok katlı yapılara uygulanabilecek viskoz akışkanlı sönümleme sistemlerinin, T.M.M.O.B İnşaat Mühendisleri ve Mimarlar Odasının maddi ve manevi desteği, yurt içi Üniversitelerin teorik ve deneysel çalışmaları ile, özel sektör tarafından ekonomik şekilde üretilmesi Türkiye'nin deprem gerçeği için önemli bir teknolojik gelişme olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aiken, I. D., Nims, D. K., Whittaker, A. S. ve Kelly, J.M. (1993), "Testing of Passive Energy Dissipation Systems" *Earthquake Spectra*, 9(3), August.
- Aldemir, Ü. ve Aydın, E., (2005), "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 435, Cilt 1, 81-89
- Apolstoska, R. (2006), "Building Structures under Earthquake Actions –Nonlinear Response, Evaluation of Seismic Resistance, Seismic Protection and Strengthening", *Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, Delft.
- Ashour, S. A. and Hanson, R.D., (1987), "Elastic Seismic Response of Building with Supplemental Damping", *UMCE*, 87-1, Michigan.
- Ateş, Ş. ve Dumanoglu, A., A., (2000), "Nonlinear Dynamic Analysis of 3D-Base Isolated Buildings", *Advances in Civil Engineering*, Vol. 3, 1259-1267, Gazimağusa, Kıbrıs.
- Ateş, Ş. ve Dumanoglu, A., A., (2003), "Kauçuk Mesnetli Binaların Dinamik Analizi", *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 26-30 Mayıs, 1-8, İstanbul.
- Aydın, E., (2005), *Yapıların Deprem Davranışlarının İyileştirilmesi için Sönümleyicilerin ve Çelik Çapraz Elemanların Optimum Yerleşimi*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayınlanmış).
- Aydın, H. ve Ercan, E., (2004), "Yapısal Kontrol Sistemleri", *İMO İzmir Şubesi Aylık Yayını*, 118, Ağustos, 28-32, Emka Matbaacılık, İzmir.
- Black, C. J. ve Makris, N., (2007), "Viscous Heating of Fluid Dampers under Small and Large Amplitude Motions: Experimental Studies and Parametric Modeling", *ASCE Journal of Structural Engineering*, 133 (5), May, 566-577.
- Bozorgnia, Y., Bertero, V.V., (2004), *Earthquake Engineering From Engineering Seismology to Performance- Based Engineering*, CRC Press, Oakland/California.
- Bulut, Y., (2005), *Yarıaktif Taban İzolasyonlarının Deprem Etkisindeki Yapılara Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayınlanmış).
- Camgöz Çağlar, M., (2002), *Yapılarda Taban İzolasyonu Sistemleri*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayınlanmış).
- Capron, M. R., (2004), "Seismic Retrofit of the Poplar Street Bridge", *Proceedings of Structures Congress*.
- Celep Z, Kumbasar N, 2004, "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Beta Dağıtım, İstanbul.
- Charney, F.A. ve McNamara, R.J., (2008), "Comparison of Methods for Computing Equivalent Viscous Damping Ratios of Structures with Added Viscous Damping", *ASCE Journal of Structural Engineering*, 134 (1), Jan., 32-44.
- Constantinou, M.C., Soong, T.T. and Dargush, G.F., (1998), "Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit, Monograph, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Constantinou, M.C., Tsopelas, P., Hammel, W., Sigaher, A.N., (2001), "Toggle-Brace-Damper Seismic Energy Dissipation Systems", *Journal of Structural Engineering*, 127 (2), Feb., 105-112.
- Coşkun, E., (2005), "Yapıların Depreme Karşı Korunmasında Etkin Bir Çözüm Sismik İzolasyon", *İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları*, İstanbul.

- Derdiman, M.K. ve Mirkelam, Z.A. (2007), Asimetrik Yapılarda Depremisel Davranışın İzolatör ve Sönümleyici Kullanılarak İyileştirilmesi, Fakülte Kitapevi, Isparta.
- DeSimone, S. ve Bongiorno, S., (2002), “Seismic Solution”, Modern Steel Construction, 42, December, New York.
- Dicleli, M. ve Metha, A., (2006), “Effect of Near-Fault Ground Motion and Damper Characteristics on The Seismic Performance of Chevron Braced Steel Frames”, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, Vol. 36, 927-948, USA.
- Engin, T., Çeşmeci, Ş., Şahin, İ. ve Parlak, Z., (2007), “Manyeto-Reolojik Damper (Sönümleyici) Davranışının Sanki-Statik Akış Modeli İle Kestirimi”, ULIBTK’07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran, Kayseri.
- Engin, Y., (2006), “Akıllı Binalar”, THBB Teknik Ofis, 32, 1-13, İstanbul.
- Ercan, E. ve Nuhoglu, A., (2005), “Taban İzolatörlü ve Pasif Enerji Sönümleyicili Yapıların Dinamik Davranışı”, Kocaeli Deprem Sempozyumu, 512-520, Kocaeli.
- Ervin, E., (2002), “Civil Engineering Issues: Japan”, UM Office of the Provost, Japan.
- FEMA, (2003), “Seismic Protective Systems: Passive Energy Dissipation”, Instructional Material Complementing Federal Emergency Management Agency (FEMA) 451, Washington.
- FEMA, (2005), “Seismic Protective Systems: Seismic Isolation”, Instructional Material Complementing Federal Emergency Management Agency (FEMA) 451, Washington.
- Forni, M., (2005), “Research Projects on Research Projects on Innovative Innovative Antiseismic Antiseismic Techniques Techniques Carried out ENEA”, ENEA.
- Gad-El-Hak, M., (2006), “Akışkanlar: Mikro-Akışkanlar Modellemesinin Kutsal Kasesi” Mühendis ve Makine Dergisi, 556, 51-96, İstanbul.
- Germen, Z., (2006), “Yapısal Kontrol Sistemleri”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (yayımlanmış).
- Lopez Garcia, D., (2001), “A Simple Method for the Design of Optimal Damper Configurations in MDOF Structures”, Earthquake Spectra, 17 (3), 387-398. Winning Paper, 2001 EERI Student Paper Competition.
- Hoşbaş, A. B., (2005), Çok Katlı Betonarme Yapının Sismik İzolatörlerle Modellenmesi ve Yapının Perdelerle Güçlendirilmiş Durumu İle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmış).
- Hou, C., Hsu, D., Lee, Y., Chen, H., ve Lee, J., (2007), “Journal of the Chinese Institute of Engineers”, Vol. 30, 275-287, Taiwan.
- Hussain, S. ve AlSatri, M., (2008), “Design Of A Seismic Isolation System with Supplemental Viscous Damping For A Near-Fault Essential Services Facility”, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October, Beijing/China.
- Hwang, J.-S., (2002), “Seismic Control Applications In Taiwan”, National Center for Research on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan.
- Hussain, S. M., Benschoten, P. V., Nerurkar, A., Satri, M. A., Guttema ve Lin, S. T., (2007), “Viscous Fluid Damper Retrofit of Pre-Northridge Steel Moment Frame Structures”, Coffman Engineers Inc., Los Angeles/California.
- Hwang, J.-S., Huang, Y. ve Hung, Y., (2005), “Analytical and Experimental Study of Toggle-Brace-Damper Systems”, ASCE Journal of Structural Engineering, 131 (7), July, 1035-1043.

- Hwang, J.-S., Huang, Y., Hung, Y. ve So, H., (2008), "Design Formulations for Supplemental Viscous Dampers to Building Structures", ASCE Journal of Structural Engineering, 134(1), Jan., 22-31.
- Hwang, J., (2009), "Applications of Innovative Technology for Seismic Upgrading of Hi-tech Factories", National Taiwan University of Science & Technology National Center for Research on Earthquake Engineering.
- Işık, T., (2006), Yapılarda Sürtünmeli Elemanlar ile Viskoz Sönümleyicilerin Birlikte Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmış).
- Karagöz, Ş., (2005), Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Malzeme Tasarımı ve Seçimi Ders Notları, KOÜ Yayınları-105, Kocaeli.
- Kiddy, J. S., (2002), "SPA Magnetorheological (MR) Fluid Damper Technology", Systems Planning and Analysis Inc, Spain.
- Köse, M. ve Tok, H. ,(2005), "Yatay Rijitliği Yetersiz Betonarme Binaların Çelik Kafes Kiriş ve Viskoz Sönümleyici ile Güçlendirilmesi", Kocaeli Deprem Sempozyumu, 78-89, Kocaeli.
- Kulak, F. R. ve Hughes, T. H., (1994), "Identification of Factors That Influence the Stiffness of High-Damping Elastomer Seismic Isolation Bearings", Association for Informaion of Image Management, Spring 301, U.S.
- Li, Z. Q. , Xu, Y. L. ve Zhou, L. M., (2006), "Adjustable Fluid Damper with SMA Actuators" , Smart Materials and Structures, September, 1483-1492.
- Makris, N., Constantinou, M. C. ve Dargush, G. F., (1993), "Analytical Model of Viscoelastic Fluid Dampers", ASCE Journal of Structural Engineering, 119(11), December, 3310-3325.
- Marko, J., Thambiratnam, D. ve Perera, N., (2004), Influence of Damping Systems on Building Structures Subject to Seismic Effect, PO Box, 13, Australia.
- Martinez-Rodrigo, M. and Romero, M.L., (2003), "An Optimum Retrofit Strategy for Moment Resisting Frames with Nonlinear Viscous Dampers for Seismic Applications", Science Direct Engineering Structures, Vol. 25, 913-925, Spain.
- Matsagar, V.A. ve Jangid, R.S., (2008)," Base Isolation for Seismic Retrofitting of Structures", ASCE Journal of Structural Engineering, 13(4), 175-185.
- MCEER, (2009), Systems Vision and Impact: A Ten Year Perspective, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research.
- Melkumyan, M., (2009), "Armenia Is The One of The World Leaders in Development and Application of Base Isolation Technologies", American University of Armenia Engineering Research Center, Yerevan, Armenia.
- Miyamoto International, (2007), "Seismic Retrofit of a Concrete Framed High-Rise Historic Building Using Supplementary Damping" Miyamoto International, Inc., California.
- Murat, E., (2005), Yapılarda Pasif Kontrol Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmış).
- Pall, A. S. ve Marsh, C., (1982), "Response of Friction Damped Braced Frames. Journal of Structural Engineering", ASCE Journal of Structural Engineering, 108(6), 1313-1323.
- Park, C., Jung, H. , Jang, J., Park, K. ve Lee, I., (2005), "Scissor-Jack-Damper System for Reduction of Cable Vibration", The 8th KCCNN Symposium on Civil Engineering, 18-20 December, Taiwan.

- Pekgökgöz, R. K., (2004), Deprem Yükleri Etkisi Altındaki Yapı Davranışının Yarı-Aktif Akışkanlı Sönümleyiciler ve Sismik Taban Yalıtım Sistemleri Kullanılarak Bulanık Mantık Yöntemi İle Kontrolü, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmış).
- Pekpekgöz, R. K., Gürel, M. A. ve Çılı, F., (2006), “ Sismik Taban Yalıtımı Uygulanmış Bir Bina Maliyet Analizi”, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3, 236-246, İstanbul.
- Pınarbaşı, S. ve Akyüz, U., (2004), “Elastomerik Köprü Yastıklarının Düşük Sıcaklıklardaki Davranışları Üzerine Deneysel Bir Çalışma”, ODTÜ, Ankara.
- Pınarbaşı, S. ve Akyüz, U., (2005), “Sismik İzolasyon ve Elastomerik Yastık Deneyi”, İMO Teknik Dergi, 3581-3598, Ankara.
- Polat, B., (2003), Pasif Enerji Yutucu sistemler ve Çok Katlı Bir Çelik Yapı Üzerinde Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmış).
- Poynor, J., (2007), “Innovative Designs for Magneto-Rheological Dampers”, Center for Vehicle Systems and Safety, Virginia Tech Univ., (yayımlanmış).
- Reigles, D. G., (2005), Smart Base Isolation Systems for Seismic Response Control of Plan-Asymmetric Buildings, Ph.D.Thesis, Rensselaer Polytechnic Institue, Troy, New York (yayımlanmış).
- Reinhorn, A.M., (2008), “Design of Amplified Structural Damping Using Optimal Considerations”, Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, University at Buffalo, New York.
- Ribakov, Y ve Gluck, J., (2002), “Selective Combined Control Stiffness and Magnetorheological Damping System In Nonlinear Multistorey Structures”, The Structural Design of Tall Buildings, Vol. 11, 171-195, Israel.
- Ryan, K.L. ve Chopra, A. K., (2004), “Estimation of Seismic Demands on Isolators Based on Nonlinear Analysis”, ASCE Journal of Structural Engineering, 130(3), March, 392-402, Taipei/Tayvan.
- Robinson, (2000), “A selection of Structures Seismically Isolated and Damped with products developed by Robinson Seismic Ltd.”, Robinson Seismic Ltd Company, New Zeland.
- Sağlam, A. R. ve Özkul, H., (2000), Elastomer Mesnetlerin Zamana Bağlı Davranışı, İTÜ İnşaat Fakültesi Yayınları, 372-389, İstanbul.
- Saito, T., (2005), “Seismic Performance of Base Isolation Buildings during 2003 Off Tokachi Earthquake”, Building Research Institute, Japan.
- Saito, T., (2006), “International Trends of Application of Seismic Isolation System”, Building Research Institute, Japan.
- Saito, T., (2007), “Basic Concept of Base Isolation System for Buildings”, Building Research Institute, Japan.
- Sarıtaş, F. ve Hasgür, Z., (2007), “Taban Ayırıcı Sistemli Köprülerin Doğrusal Olmayan Davranışı”, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim, İstanbul.
- Sodeyama, H. ve Sunakoda, K., (2003), “Dynamic Tests and Simulation of Magneto-Rheological Dampers Sodeyama”, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2003/18, 45-57, Japon.
- Symans, M. D. ve Constantinou, M. C., (1998), “Passive Viscous Fluid Damping Systems for Seismic Energy Dissipation”, ISET Journal of Earthquake Technology Paper, December, 185-206, Buffalo / New York.

- Şahin, İ., Öz, H. R., Engin, T., İlhan, A. ve Akpolat. A., (2007), “Manyetik Sıvılı Damperlerin Yapısal Analizi”, Mühendis ve Makine Dergisi, 551, 41-50, İstanbul.
- Şigaher, A. N. ve Constantinou, M. C., (2003), “Scissor-Jack-Damper Energy Dissipation System”, Earthquake Spectra, 19 (1), Feb., 133–158.
- Tarassoly, V., (2003), Application of Viscous Dampers to Steel Structures Located within Near-Fault Earthquake Zones, Doctor of Thesis, University of Southern California.
- Taylor Devices, (2008) “Building Today for Tomorrow Since 1955”, Taylor Devices Inc.
- Taylor, D. Ve Duflot P., (2003), “Fluid Viscous Dampers Used For Seismic Energy Dissipation In Structures”, Taylor Device Inc., New York.
- Taylor, D., (2007), “The Structural Design of Tall And Special Buildings”, Taylor Device Inc., New York.
- Taylor Devices, (2008), “National Taiwan University of Science & Technology National Center for Research on Earthquake Engineering”, Taylor Devices Inc.
- Taylor Devices, (2009), “Structural Applications of Fluid Viscous Dampers”, Taylor Devices Inc.
- Tezcan, S.S. ve Erkal, A., (2001), “Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices”, İMO İzmir Şubesi Aylık Yayımı, 19,118, 34-45, Emka Matbaacılık, İzmir.
- Tonyalı, H., (2006) Betonarme Binalarda Duvar Etkisi ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Türker, H., (2002), Taban İzolasyonu ile Klasik Güçlendirme Arasında Bir Maliyet Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmış).
- Türker, H., (2005), “Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanılış Tipleri Örnek Bir Maliyet Analizi”, Kocaeli Deprem Sempozyumu, 538-545, Kocaeli.
- Uludağ, S., (2005), Taban İzolasyonlu Sistemlerin Karşılaştırılmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmış).
- Ünal, Ö., (2001), Yapılarda Taban İzolasyonu Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmış).
- Xu, Z. (2007), Design And Assessment of Seismic Protective Systems For Near-Field Ground Motions, Doktora Tezi, The City University of New York (yayımlanmış).
- Yanga, G., Spencer, B.F., Carlson, J. D. ve Sain, M. K., (2002), “Large-Scale Mr Fluid Dampers: Modeling And Dynamic Performance Considerations”, Engineering Structures, 309-323, Vol. 24, ABD.
- Yozgat, E. ve Hüsem, M. (2005), “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Kullanılabilinen Yapı Kontrol Sistemleri”, İMO İzmir Şubesi Aylık Yayımı, 20-121, Şubat yayını, Emka Matbaacılık, İzmir.
- Zhang, R.-H. and Soong, T. T., (1992), “Seismic Design of Viscoelastic Dampers for Structural Applications”, Journal of Structural Engineering, 118(5), 1375-1392, New York.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.edubilim.com
- [2] www.taylordevices.com
- [3] www.upload.wikimedia.org
- [4] www.cambridge2000.com
- [5] www.mkn.itu.edu.tr
- [6] www.kimyaturk.net
- [7] www.downtownboise.org
- [8] www.coffman.com
- [9] www.mtc.ca.gov
- [10] www.dis-inc.com
- [11] www.greatschools.net/
- [12] www.answers.com
- [13] www.prayudi.wordpress.com
- [14] www.japaneselifestyle.com.au
- [15] www.pref.aichi.jp
- [16] www.upload.panoramio.com
- [17] www.wordpress.com
- [18] www.iki.bas.bg
- [19] www.ncree.gov.tw
- [20] www.honchuan.com.tw
- [21] www.thames.me.uk
- [22] www.metrovancouver.org
- [23] www.tranship.com.uy
- [24] <http://connecttoperu.wordpress.com>
- [25] www.skyscrapercity.com
- [26] <http://bbs.keyhole.com>
- [27] <http://picasaweb.google.com>
- [28] www.panoramio.com
- [29] www.boroschek.cl
- [30] www.architectjaved.com
- [31] www.livernoismotorsports.com
- [32] <http://nisee.berkeley.edu>
- [33] www.plastikteknolojisi.spaces.live.com
- [34] www.metaldyne.co.uk
- [35] www.science.howstuffworks.com

- [36] www.autospeed.com.au
- [37] www.sae.org
- [38] www.megep.meb.gov.tr/
- [39] www.dis-inc.com
- [40] www.sciencelearn.org.nz
- [41] www.lifeinthevalley.com
- [42] www.cardcow.com
- [43] <http://flickr.com>
- [44] www.ipenz.org.nz
- [45] www.cnu.daejeon.kr
- [46] www.wayfaring.info
- [47] www.holmesgroup.com
- [48] www.lusas.com
- [49] <http://bridgepros.com>
- [50] www.wowturkey.com
- [51] www.findarticles.com
- [52] <http://nevzatayan.blogspot.com>
- [53] www.adspor.com.tr
- [54] www.mkn.itu.edu.tr
- [55] <http://hun.pamukkale.edu.tr>
- [56] www.beksankaucuk.com.tr
- [57] www.ital.it
- [58] www.gulhanrubber.com
- [59] www.kaucuk.org
- [60] www.msxlabs.org
- [61] www.refref.com.tr
- [62] www.konveyorbant.com.tr
- [63] www.elastomermesnet.com
- [64] www.teknikerler.org
- [65] www.officeblvd.com
- [66] www.wvdot.com
- [67] www.roadtraffic-technology.com
- [68] <http://massplumbers.biz>
- [69] www.bordersarchitects.com
- [70] www.bridgeandtunnelclub.com
- [71] <http://nycbridges.blogspot.com>

- [72] <http://urbanplacesandspaces.blogspot.com>
- [73] www.thedexterhortonbuilding.com
- [74] www.genencor.com
- [75] <http://javageno.blogspot.com>
- [76] <http://philip.greenspun.com>
- [77] www.city-data.com
- [78] www.byronusd.com
- [79] www.ggdw.com
- [80] www.cedarrivergroup.com
- [81] www.stateuniversity.com
- [82] www.chi-athenaeum.org
- [83] <http://your.kingcounty.gov>
- [84] www.fairfielddowntown.com
- [85] www.allposters.com
- [86] [http:// images.usatoday.com](http://images.usatoday.com)
- [87] [http:// en.structurae.de](http://en.structurae.de)
- [88] www.jimmycheng.com
- [89] www.pvusd.net
- [90] www.pvusd.net
- [91] www.absconsulting.com
- [92] www.schetter.com
- [93] www.merchantcircle.com
- [94] www.allposters.com
- [95] www.ronsaari.com
- [96] <http://scgt.wordpress.com>
- [97] <http://forum.skyscraperpage.com>
- [98] www.wrightrealtors.com
- [99] www.fpcarch.com
- [100] www.fpcarch.com
- [101] www.saramark.com
- [102] www.city-data.com
- [103] www.pjkennedy.com
- [104] www.weddingmapper.com
- [105] www.family-vacation-getaways-at-los-angeles-theme-parks.com
- [106] www.kendalldavenport.com
- [107] www.scribd.com

- [108] <http://commons.wikimedia.org>
- [109] <http://pages.cms.k12.nc.us>
- [110] www.bluelakeint.com
- [111] www.djc.com
- [112] www.reidmiddleton.com
- [113] www.neighborhoodnotes.com
- [114] www.pcl.com
- [115] www.protons.com
- [116] <http://en.wikipedia.org>
- [117] www.suttergould.org
- [118] <http://3p-consultants.com>
- [119] www.otecohio.org
- [120] www.earthquakeprotection.com
- [121] www.scribd.com
- [122] www.nclca.org
- [123] <http://rooseveltislander.blogspot.com>
- [124] architectstudio3d.org
- [125] <http://en.structurae.de>
- [126] www.shengkai.com
- [127] www.ceedi.com.cn
- [128] www.fussballtempel.net
- [129] www.luxuo.com
- [130] www.helloningbo.com
- [131] www.chinamotorway.com
- [132] www.baotongdoors.com.cn
- [133] <http://mori.jp>
- [134] www.isetan.co.jp
- [135] <http://moeticjustice.blogspot.com>
- [136] www.secinfo.com
- [137] www.ktstravel.com.hk
- [138] www.bnse.co.kr
- [139] www.ase.md
- [140] www.dreamtown.com
- [141] www.pcinpact.com
- [142] www.busytrade.com
- [143] www.wayfaring.info

[144] www.japan-hotel-reservations.net

[145] www.tzuchi.com.tw

[146] <http://htmlhelp.com>

[147] www.tcpa.gov.tw

[148] www.uni-president.com

[149] www.camcycle.org.uk

[150] www.islington.gov.uk

[151] www.hwt.ca

Ek 1 Viskoz Akışkanlı Sönümleyici Sistemlerin Ülkelere Göre Diğer Kullanım Örnekleri

Bu bölümdeki veriler kaynak belirtilmediği sürece (Taylor Devices, 2009)'dan elde edilmiştir.

Ek 1.1 Amerika(ABD)

1999 yılında güçlendirilen 1414 K Street'te, (Sacramento) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 163$ mm)(Şekil Ek 1.1).



Şekil Ek 1.1 1414 K Street [65].

1999 yılında tamamlanmış olan Minute Maid Park'ta (Ballpark at Union Station (Houston) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 153$ mm)(Şekil Ek 1.2).



Şekil Ek 1.2 Minute Maid Park (Ballpark at Union Station) [43].

2000 yılında güçlendirilen East Huntington Bridge'e (Huntington) 54 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 25$ mm)(Şekil Ek 1.3).



Şekil Ek 1.3 East Huntington Bridge [66].

2000 yılında yapılmış olan *William H. Harsha (Maysville Bridge)*'te (Maysville) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 305$ mm) (Şekil Ek 1.4).



Şekil Ek 1.4 William H. Harsha (Maysville Bridge) [67].

2000 yılında yapılmış olan *Web-hosting Data Center*'a (Pleasanton) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 64$ mm). Sismik enerjiyi yutmak amacıyla diyagonal tipte viskoz akışkanlı sönümleyiciler kullanılmıştır.

2000 yılında yenilenen *Novelty Bridge 404B*'de (Seattle) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm).

2000 yılında yapılmış olan 37 katlı *Millennium Place*'e (Boston) 40 adet dirsek formunda viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 125$ mm) (Şekil Ek 1.5).



Şekil Ek 1.5 Millennium Place [68].

2000 yılında yapılmış olan *Ingram Micro Office Building*'e (Santa Ana) 40 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 125$ mm) (Şekil Ek 1.6). 3 katlı yapıda diyagonal viskoz akışkanlı sönümleyiciler kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.6 Ingram Micro Office Building [69].

2000 yılında güçlendirilen *Triborough Bridge Approaches*'te (New York) 80 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 152$ mm) (Şekil Ek 1.7).



Şekil Ek 1.7 Triborough Bridge Approaches [70; 71].

2001 yılında güçlendirilen *10th & K Street*'de (Sacramento) 84 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 76$ mm) (Şekil Ek 1.8). Güçlendirilen ofis binasında diyagonal tip viskoz akışkanlı sönümleyiciler yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.8 10th & K Street [72].

2001 yılında güçlendirilen *999 Sepulveda*'da (Los Angeles) 60 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm). 1962'de yapılan 8 katlı çelik sistem yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik enerjiyi yutmak amacıyla kullanılmıştır.

2001 yılında güçlendirilen *Dexter Horton Building*'te (Seattle) 18 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 63$ mm) (Şekil Ek 1.9). 15 katlı betonarme yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler diyagonal yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.9 Dexter Horton Building [73].

2001 yılında güçlendirilen *Palo Alto Office Building*'e (Palo Alto) 22 adet viskoz akışkanlı sönümleyici eklenmiştir ($\Delta = \pm 152$ mm) (Şekil Ek 3.10).



Şekil Ek 1.10 Palo Alto Office Building [74].

2001 yılında güçlendirilen *Sacramento River Bridge at Rio Vista*'ya (Palo Alto) 10 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 133$ mm) (Şekil Ek 1.11).



Şekil Ek 1.11 Sacramento River Bridge at Rio Vista [75].

2001 yılında tamamlanmış olan 17 katlı *WorldCom-Local Switch*'e (Oakland) 20 adet diyagonal tip viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 150$ mm).

2002 yılında tamamlanmış olan *HP Invent Building 5*'te (Corvallis) 18 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır. ($\Delta = \pm 100$ mm).

2002 yılında tamamlanmış olan *Hollister Gymnasiums*'ta (Hollister) 40 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 76$ mm).

2002 yılında tamamlanmış olan *Gillette (Foxboro) Stadium*'da (Foxboro) 18 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 178$ mm) (Şekil Ek 1.12).



Şekil Ek 1.12 Gillette (Foxboro) Stadium [76].

2002 yılında tamamlanmış olan *Bill Emerson Memorial Bridge*'de (Cape Girardeau) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 180$ mm)(Şekil Ek 1.13).



Şekil Ek 1.13 Bill Emerson Memorial Bridge [77].

2002 yılında tamamlanmış olan *Discovery Bay Gymnasium*'da (Discovery Bay) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.14).



Şekil Ek 1.14 Discovery Bay Gymnasium [78].

2002 yılında tamamlanmış olan *Genentech FRC II*'da (San Francisco) 192 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 102$ mm) (Şekil Ek 1.15).



Şekil Ek 1.15 Genentech FRC II [79].

2002 yılında yapılmış olan *Stacy Park Reservoir*'da (St. Louis) 193 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 63$ mm) (Şekil Ek 1.16).



Şekil Ek 1.16 Stacy Park Reservoir [43].

2002 yılında güçlendirilen *South Bay Office Tower*'e (Cape Girardeau) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 180$ mm).

2002 yılında tamamlanmış olan *Immunex Corporation Helix Project – Central Utility Plant*'e (Seattle) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.17).



Şekil Ek 1.17 Immunex Corporation Helix Project – Central Utility Plant [80].

2002 yılında güçlendirilen *UC Irvine Hall Building*'te (Irvine) 14 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.18). Güçlendirilen okul binasında viskoz akışkanlı sönümleyiciler diyagonal yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.18 UC Irvine Hall Building [81].

2003-2002 yılları arasında tamamlanmış olan *Route 364 Page Avenue Extension Bridge*'te (St.Louis) 178 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 127$ mm).

2003 yılında tamamlanmış olan *New de Young Fine Arts Museum*'da (San Francisco) 26 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 762$ mm) (Şekil Ek 1.19).



Şekil Ek 1.19 New de Young Fine Arts Museum [82].

2003 yılında tamamlanmış olan *Renton Transfer Station*'da (Renton) 3 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.20).



Şekil Ek 1.20 Renton Transfer Station [83].

2003 yılında tamamlanmış olan *Solano County Government Building*'e (Fairfield) 20 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.21).



Şekil Ek 1.21 Solano County Government Building [84].

2003 yılında güçlendirilen *San Francisco-Oakland Bay Bridge, West Span-Suspension Bridge*'e (San Francisco) sismik yüklere karşı 96 adet viskoz akışkanlı sönümleyici eklenmiştir ($\Delta = \pm 584$ mm) (Şekil Ek 1.22).



Şekil Ek 1.22 San Francisco-Oakland Bay Bridge [85].

2003 yılında tamamlanmış olan *Hilmar Gymnasium*'a (Hilmar) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm).

2003 yılında tamamlanmış olan *PSU-Smith Memorial Center Building*'te (Portland) 118 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm).

2003 yılında güçlendirilen *Cochrane Bridge*'te (Mobile) 20 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.23).



Şekil Ek 1.23 Cochrane Bridge [86; 87].

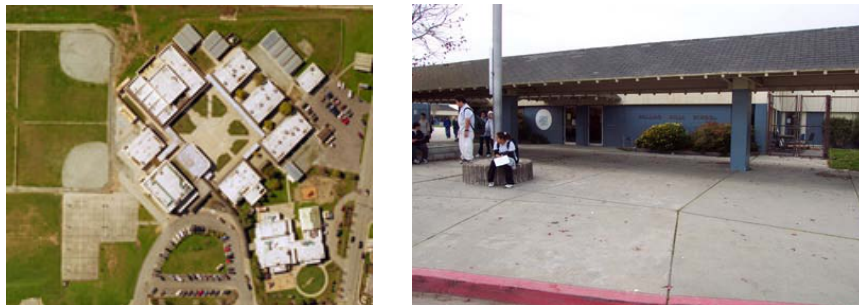
2004 yılında güçlendirilen *Nordstrom South Coast Plaza*'da (Costa Mesa) 40 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.24). 4 katlı 23.000 m² alanlı çelik sistem yapıda, viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik enerjinin emilimi amacıyla kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.24 Nordstrom South Coast Plaza [88].

2004 yılında tamamlanmış olan *Monroe Middle School*'da (Campbell) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır. ($\Delta = \pm 75$ mm).

2004 yılında tamamlanmış olan *Rolling Hills Middle School*'da (Los Gatos) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.25).



Şekil Ek 1.25 Rolling Hills Middle School [89; 90]

2004 yılında güçlendirilmiş 10 katlı çelik sistem yapıda (*East Bay Municipal Utility District-Administration Building, Oakland*) 50 adet diyagonal tip viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 190$ mm) (Şekil Ek 1.26).



Şekil Ek 1.26 East Bay Municipal Utility District-Administration Building [91].

2004 yılında tamamlanmış olan *CSUS-Academic Information Resources Center*'da (Sacramento) 24 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 50$ mm) (Şekil Ek 1.27). 10.000 m² alanlı 4 katlı çelik sistem yapıda viskoz akışkanlı diyagonal yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.27 CSUS-Academic Information Resources Center [92].

2004 yılında tamamlanmış olan *Vacaville Police Station*'da (Vacaville) 20 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 50$ mm) (Şekil Ek 1.28). 4.000 m² alanlı 2 katlı çelik sistem yapıda viskoz akışkanlı diyagonal yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.28 Vacaville Police Station [93].

2004 yılında güçlendirilen *George Washington Bridge*'e (Seattle) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.29).



Şekil Ek 1.29 George Washington Bridge onarım öncesi ve sonrası görünüşleri [94; 95].

2004 yılında güçlendirilen *Veterans Memorial Bridge-Texas*'a (Groves-Texas) 80 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 150$ mm) (Şekil Ek 1.30).



Şekil Ek 1.30 Veterans Memorial Bridge-Texas [96].

2004 yılında güçlendirilen *Temple Lofts*'ta (Long Beach) 64 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.31). Eski bir mason tapınağı olan yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik enerjinin emilimi amacıyla kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.31 Temple Lofts [97].

2004 yılında güçlendirilen *Weirton-Steubenville, Veterans Memorial Bridge*'te (Virginia) 88 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 25$ mm)(Şekil Ek 1.32).



Şekil Ek 1.32 Weirton-Steubenville, Veterans Memorial Bridge [12].

2004 yılında güçlendirilen *Hotel Stockton*'a (Stockton) 20 adet viskoz akışkanlı sönümleyici eklenmiştir ($\Delta=\pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.33). 6 katlı tarihi binada viskoz akışkanlı sönümleyiciler viskoelastik sönümleyicilerle beraber kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.33 Hotel Stockton [98].

2005 yılında tamamlanmış olan 2 katlı çelik *Semiconductor Building*'te (Silicon Valey) 26 adet diyagonal tip viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta= \pm 76$ mm) (Şekil Ek 1.34).



Şekil Ek 1.34 Semiconductor Building [99; 100].

2005 yılında tamamlanmış olan *Sinclear Elementary School*'da (Cares) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta= \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.35).



Şekil Ek 1.35 Sinclear Elementary School [101].

2005 yılında tamamlanmış olan *Mississippi River Bridge*'e (Cares) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 152$ mm)(Şekil Ek 1.36).



Şekil Ek 1.36 Mississippi River Bridge [102].

2005 yılında tamamlanmış olan *Logan Airport Central Parking Garage*'da (Greenville) 96 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 25$ mm)(Şekil Ek 1.37).



Şekil Ek 1.37 Logan Airport Central Parking Garage [103].

2006 yılında tamamlanmış olan *Seattle Central Link Light Rail Section C755*'te (Seattle) 34 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır. ($\Delta = \pm 100$ mm).

2006 yılında tamamlanmış olan *Marvell Building 100, 200 and Connector Building*'e (Santa Clara) 104 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 76$ mm).

2006 yılında tamamlanmış olan *Marvell Building 400*'e (Santa Clara) 26 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 76$ mm).

2006 yılında tamamlanmış olan *Nordstrom – Tyler Mall Store # 325*'te (Riverside) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm)(Şekil Ek 1.38).



Şekil Ek 1.38 Nordstrom – Tyler Mall Store # 325 [104].

2006 yılında tamamlanmış olan *Nordstrom–South Bay Galleria*'da (Redondo Beach) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 15 \text{ mm}$)(Şekil Ek 1.39).



Şekil Ek 1.39 Nordstrom–South Bay Galleria [105].

2006 yılında tamamlanmış olan *Los Angeles California Temple*'e (Los Angeles) 9 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 175/-25 \text{ mm}$)(Şekil Ek 1.40).



Şekil Ek 1.40 Los Angeles California Temple [106].

2006 yılında tamamlanmış olan *Pamunkey River Bascule Bridge*'e (West Point) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 400 \text{ mm}$) (Şekil Ek 1.41).



Şekil Ek 1.41 Pamunkey River Bascule Bridge [107].

2006 yılında tamamlanmış olan *Waldo – Peneboscot River Bridge*'te (Santa Clara) 160 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 63 \text{ mm}$) (Şekil Ek 1.42).



Şekil Ek 1.42 Waldo – Penebscot River Bridge [108].

2006 yılında tamamlanmış olan *Berryhill Elementary School*'a (Cares) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.43).



Şekil Ek 1.43 Berryhill Elementary School [109].

2006 yılında tamamlanmış olan *Four Elementary Schools for the Ceres Unified School District*'te (Cares) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.44).



Şekil Ek 1.44 Four Elementary Schools for the Ceres Unified School District [110].

2006 yılında tamamlanmış olan *Adkison Elementary School*, *Hidahl Elementary School* ve *LaRosa Elementary School*'a (Cares) 8'er adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm).

2006 yılında güçlendirilen *926 J Street*'te (Sacramento) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm). 1920'lerde yapılan betonarme çerçeve sistem yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler diyagonal yerleştirilmiştir.

2006 yılında güçlendirilen *Kent Parking Garage*'da (Kent) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.45). Sismik kat + 3 katlı betonarme çerçeve sistem otopark binasında viskoz akışkanlı sönümleyiciler diyagonal yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.45 Kent Parking Garage [111].

2007-2006 yılları arasında güçlendirmesi yapılan *Naval Hospital Bremerton*'da (Bremerton) 88 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.46). 2500 m² alana sahip 9 katlı 1960'lı yıllarda yapımı tamamlanmış olan yapıya sönümleyiciler diyagonal olarak eklenmiştir.



Şekil Ek 1.46 Naval Hospital Bremerton [112].

2007-2006 yılları arasında güçlendirmesi yapılan *Macy's Store - Meier & Frank Building Remodel*'a (Portland) 160 adet viskoz akışkanlı sönümleyici eklenmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.47). Yapının ilk 5 katında güçlendirme yapılmıştır.



Şekil Ek 1.47 Macy's Store - Meier & Frank Building Remodel [113].

2007 yılında tamamlanmış olan *Seattle Central Link Light Rail Section C755*'te (Seattle) 34 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.48).



Şekil Ek 1.48 Seattle Central Link Light Rail Section C755 [114].

2007 yılında tamamlanmış olan *Roslyn Viaduct Bridge Replacement for Route 25A over Hempstead Harbor*'da (Roslyn) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 280$ mm).

2007 yılında tamamlanmış olan *131 South Rodeo Drive*'da (Beverly Hills, California) 18 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm).

2007 yılında tamamlanmış olan *Loma Linda University Medical Center*'a (California) 10 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.49).



Şekil Ek 1.49 Loma Linda University Medical Center [115].

2007 yılında tamamlanmış olan *Tioga High School*'a (Groveland) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.50).



Şekil Ek 1.50 Tioga High School [116].

2007 yılında tamamlanmış olan *Sutter Gould Medical Office Building*'te (Modesto) 40 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.51). 13400 m² alana sahip 4 katlı çelik sistem yapıya sönümleyiciler diyagonal olarak eklenmiştir.



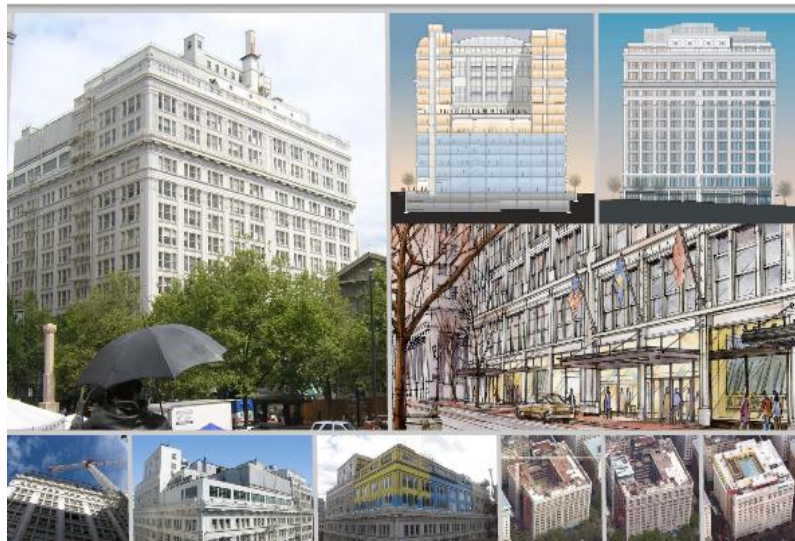
Şekil Ek 1.51 Sutter Gould Medical Office Building [117].

2007 yılında tamamlanmış olan *Cal Poly Pomona Library*'e (Pomona) 12 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 178$ mm) (Şekil Ek 1.52). 13.400 m² alana sahip 4 katlı çelik sistem yapıya sönümleyiciler diyagonal olarak eklenmiştir.



Şekil Ek 1.52 Cal Poly Pomona Library [116].

2007 yılında tamamlanmış olan *Starwood Hotel – Sage Hospitality*'te (Portland) 212 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.53). Viskoz akışkanlı sönümleyiciler yapının 6. ve 14. katlarına yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.53 Starwood Hotel – Sage Hospitality [118].

2007 yılında tamamlanmış olan *Leona Drive Residence*'e (Beverly Hills) 3 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 25$ mm). Viskoz akışkanlı sönümleyiciler yapının zemin katına yerleştirilmiştir.

2007 yılında tamamlanmış olan *Nordstrom – Santa Barbara Paseo Nuevo Store # 344*'e (Beverly Hills), 38 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm). Viskoz akışkanlı sönümleyiciler yapının zemin katına yerleştirilmiştir.

2007 yılında tamamlanmış olan *Nordstrom Pomeroy-Mason Bridge*'te (Grove City) 96 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.54).



Şekil Ek 1.54 Nordstrom Pomeroy-Mason Bridge [119].

2008-2007 yılları arasında tamamlanmış olan *Mills Peninsula Hospital*'da (Burlingame) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 762$ mm) (Şekil Ek 1.55). Yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik taban yalıtkanları ile beraber kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.55 Mills Peninsula Hospital [120].

2008 yılında tamamlanmış olan *Genentech B50 Project*'e (San Francisco) 61 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.56). 5 katlı çelik sistem bir binada sönümleyiciler sismik enerjiyi yutabilmek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.56 Genentech B50 Project [121].

2008 yılında tamamlanmış olan *Atlanta Botanical Garden*'a (Atlanta) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\square = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.57).



Şekil Ek 1.57 Atlanta Botanical Garden [122].

2008 yılında tamamlanmış olan *Roosevelt Island Lift Bridge*'te (New York) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 560$ mm) (Şekil Ek 1.58). Sönümleyici yerleşiminin temel prensibini motor ve fren yükleri belirlemiştir.



Şekil Ek 1.58 Roosevelt Island Lift Bridge [123].

2008 yılında tamamlanmış olan *Solomon R. Guggenheim Museum*'a (New York) 54 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 30$ mm) (Şekil Ek 1.59). 1959 yılında kullanıma başlanan binada radikal bir kararla sönümleyiciler en üst kata yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.59 Solomon R. Guggenheim Museum [124].

Ek 1.2 Çin

2000 yılında tamamlanmış olan *Qinshan III Nuclear Powerplant*'ta (Shangai) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 127$ mm) (Şekil Ek 1.60).



Şekil Ek 1.60 Qinshan III Nuclear Powerplant [12].

2005 yılında tamamlanmış olan *Nanjing 3rd Crossing Bridge*'te (Nanjing) 54 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 120$ mm) (Şekil Ek 1.61).



Şekil Ek 1.61 Nanjing 3rd Crossing Bridge [125].

2005 yılında tamamlanmış olan *Huabei Power Plant*'a (Shandong) 96 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 25.4$ mm) (Şekil Ek 1.62). Viskoz akışkanlı sönümleyiciler, yapıdaki cihazların oluşturduğu titreşimlerin yutulmasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.62 Huabei Power Plant [126].

2006 yılında tamamlanmış olan *Beijing Silvertie Center*'da (Beijing) 73 adet viskoz akışkanlı sönümleyici ($\Delta = \pm 100$ mm) kullanılmıştır (Şekil Ek 1.63). 63 katlı yapıda viskoz akışkanlı sönümleyici diyagonal yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.63 Beijing Silvertie Center [127].

2006 yılında tamamlanmış olan *Guangzhou Stadium*'a (Yixing) 12 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.64). Viskoz akışkanlı sönümleyiciler yapının tabanında kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.64 Guangzhou Stadium [128].

2007 yılında tamamlanmış olan *Beijing 7 Star Morgan Plaza Hotel*'e (Beijing) 108 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 150$ mm) (Şekil Ek 1.65). 40 katlı yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler ile viskoelastik sönümleyiciler birlikte kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.65 Beijing 7 Star Morgan Plaza Hotel [129].

2007 yılında tamamlanmış olan *Longhua Songhua Bridge*'te (Songyuan) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 140$ mm).

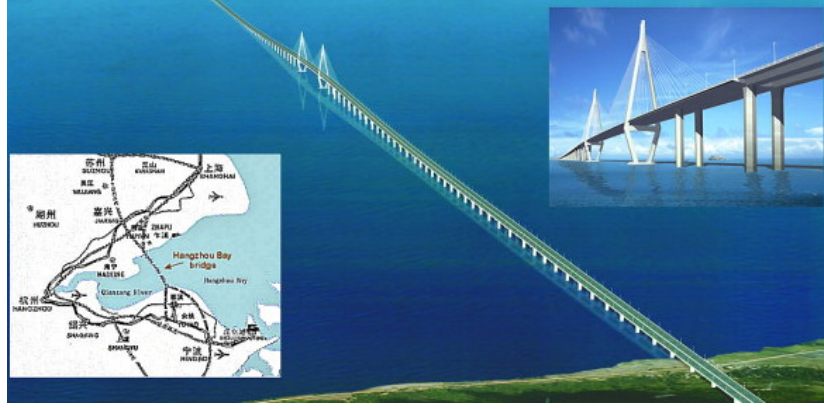
2008 yılında tamamlanmış olan *Pengxihe River Bridge*'e (Changqing) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 200$ mm). 632 m uzunluğundaki köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Jiangjin Guanyin Bridge*'e (Changqing) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 200$ mm).

2008 yılında tamamlanmış olan *Yuzui Yangtze River Bridge*'te (Changqing) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 550$ mm). 616 m uzunluğundaki köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Hangzhou Jiangdong Bridge I*'te (Hangzhou) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 300$ mm). 260 m uzunluğundaki köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Hangzhou Jiangdong Bridge II*'te (Hangzhou) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 300$ mm) (Şekil Ek 1.66). 260 m uzunluğundaki köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil Ek 1.66 Hangzhou Jiangdong Bridge II [130].

2008 yılında tamamlanmış olan *Jiangyin Bridge*'e (Jiangyin) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 25$ mm) (Şekil Ek 1.67).



Şekil Ek 1.67 Jiangyin Bridge [131].

2008 yılında tamamlanmış olan *Jingtang Bridge*'te (Ningbo-Zhejiang) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 350$ mm).

2008 yılında tamamlanmış olan *Shanghai Hangar*'a (Shanghai) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.68).



Şekil Ek 1.68 Shanghai Hangar [132].

2008 yılında tamamlanmış olan *Shanxi Xianshen Bridge*'te (Shanghai) 9 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 300$ mm).

Ek 1.3 Japonya

2003 yılında tamamlanmış olan *Holland Hills Mori Tower RoP*'da (Tokyo) 204 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.69). 24 katlı yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler, sismik enerjinin yutulması amacıyla yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.69 Holland Hills Mori Tower RoP [133].

2005 yılında tamamlanmış olan *Shinjuku 3-Chome East Building*'te (Tokyo) 2 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 150$ mm) (Şekil Ek 1.70). 14 katlı 26.400 m² yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik enerjinin yutulması amacıyla yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.70 Shinjuku 3-Chome East Building [134].

2006 yılında tamamlanmış olan *Chiba Chuo Project*'te (Chiba City) 42 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.71). 15 katlı çelik sistem yapı ofis ve müze olarak kullanılmaktadır.



Şekil Ek 1.71 Chiba Chuo Project [2]

2006 yılında tamamlanmış olan *Shibuya Park Road Building*'te (Tokyo) 10 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 125$ mm) (Şekil Ek 1.72). 7 katlı 2.200 m² katlı betonarme yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik enerjinin emilimi amacıyla yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.72 Shibuya Park Road Building [135].

2006 yılında tamamlanmış olan *ITS Kenpo Okubo Union Hall*'e (Tokyo) 18 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 50$ mm). 7 katlı ofis binasında viskoz akışkanlı sönümleyiciler diyagonal yerleştirilmiştir.

2007 yılında tamamlanmış olan *KDDI Tama Fourth Network Center 1st Station*'a (Tokyo) 28 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 610$ mm). 6 katlı 24000 m² alanlı yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik taban yalıtkanları ile beraber kullanılmıştır.

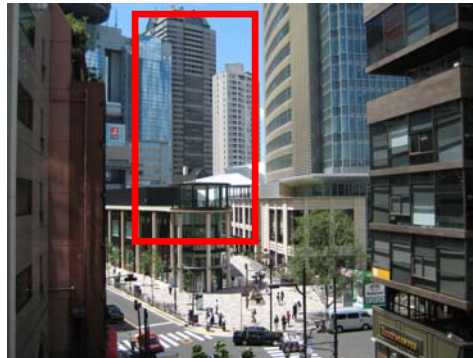
2007 yılında tamamlanmış olan *Doutor Coffee Nagoya Project*'e (Nagoya City) 2 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 50$ mm). 9 katlı 2096 m² alanlı ofis binasında viskoz akışkanlı sönümleyiciler ile sismik enerji emilimi sağlanmıştır.

2007 yılında tamamlanmış olan *Saitama Citizen Medical Center*'da (Saitama City) 12 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 610$ mm) (Şekil Ek 1.73). 6 katlı 29.320 m² alanlı hastanede viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik taban yalıtkanları ile beraber kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.73 Saitama Citizen Medical Center [136].

2007 yılında tamamlanmış olan *Minatoku Office Building* (Tokyo), 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) (Şekil Ek 1.74). 13 katlı 17200 m² alanlı ofis binasında viskoz akışkanlı sönümleyiciler diyagonal yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.74 Minatoku Office Building.

2008 yılında tamamlanmış olan *Aratsu Bridge*'e (Fukuoka) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 180$ mm) (Şekil Ek 1.75). 345 m uzunluğundaki köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil Ek 1.75 Aratsu Bridge [25].

2008 yılında tamamlanmış olan *Mizunami Transformer Station Tower*'da (Gifu) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 200$ mm).

2008 yılında tamamlanmış olan *Ooigawa Transformer Station Tower*'a (Shizuoka) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 200$ mm).

2008 yılında tamamlanmış olan *Taketoyo Thermal Power Station Tower*'a (Aichi) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 200$ mm).

Ek 1.4 Kuzey Kore

2007 yılında tamamlanmış olan *Jin Nam 3rd Bridge*'te (Mungyeong) 10 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm). Viskoz akışkanlı sönümleyiciler ile 680 m uzunluğundaki çelik taşıyıcı sistemli köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.

2007 yılında tamamlanmış olan *Gang Hwa Grand Bridge*'te, (Ganghwa) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 120$ mm). Viskoz akışkanlı sönümleyiciler ile 780 m uzunluğundaki kutu kesitli çelik kirişler üzerinde taşınan köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Kimpo Airport Phase I*'e (Seoul) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm)(Şekil Ek 1.76).



Şekil Ek 1.76 Kimpo Airport Phase I [137].

2008 yılında tamamlanmış olan *Gang Dong Grand Bridge*'e (Seoul) 12 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 300$ mm)(Şekil Ek 1.77).



Şekil Ek 1.77 Gang Dong Grand Bridge [138].

2008 yılında tamamlanmış olan *Kyung Ho 2nd Bridge*'te (Sancheong) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 250$ mm). 340 m uzunluğundaki köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Kyung River 6th Bridge*'te (Sancheong) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 250$ mm). 630 m uzunluğundaki köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Hang Kyung Bridge*'e (Suncheon) 10 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirmiştir ($\Delta = \pm 250$ mm). Viskoz akışkanlı sönümleyiciler ile 630 m uzunluğundaki köprüde sismik yük ve rüzgar yükünün sönümlenmesi amaçlanmıştır.

Ek 1.5 Güney Kore

2005 yılında tamamlanmış olan *Daebuk Gyo Bridge*'e (Wulsan City) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm).

2006 yılında tamamlanmış olan *Deung Sun Bridge*'te (Chuncheon) ve *ShinSang 1 Bridge*'e (Daejeon/Güney Kore) 8 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm) ve ($\Delta = \pm 250$ mm).

2006 yılında tamamlanmış olan *Lee Ho Grand Bridge*'te (Yeoju) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 310$ mm).

Ek 1.6 Meksika

2005 yılında tamamlanmış olan *Torre Mayor (Chapultepec Tower)*'da (Mexico City) 98 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 52$ mm)(Şekil Ek 1.78).



Şekil Ek 1.78 Torre Mayor (Chapultepec Tower) [25].

2005 yılında güçlendirilmiş *Alameda*'ya (Mexico City) 34 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm). 1950lerde otopark olarak yapımı tamamlanmış olan yapıya viskoz akışkanlı sönümleyiciler diyagonal yerleştirilmiştir.

2007 yılında tamamlanmış olan *Tres Mares Residences*'ta (Puerto Vallarta) 30 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm)(Şekil Ek 1.79). 24.000 m² alana sahip 27 katlı yapıda çelik ve betonarme kolonlar birada kullanılmış olup, sönümleyiciler yapıya diyagonal olarak yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.79 Tres Mares Residences [25].

Ek 1.7 Romanya

2008 yılında tamamlanmış olan *Academy for Economical Studies - Sports Complex*'e (Bucharest) 6 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.80). Sönümleyiciler yapının temel kotunda yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.80 Academy for Economical Studies - Sports Complex [139].

Ek 1.8 Tayvan

2001 yılında tamamlanmış olan *First International Computer Company Building*'te (Taipei) 144 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 63$ mm).

2001 yılında tamamlanmış olan *Taishin Bank*'ta (Taipei) 144 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 63$ mm).

2002 yılında tamamlanmış olan *Hsien Dien/Tzu Chi Hospital*'da (Taipei) 48 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 810$ mm).

2003 yılında tamamlanmış olan *Guitai Construction Residential Building (KCEC)*'e (Taipei) 28 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir. ($\Delta = \pm 50$ mm).

2003 yılında güçlendirilen *Chung Hwa Telecommunications Building*'te (San Hava) 12 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm)(Şekil Ek 1.81).



Şekil Ek 1.81 Chung Hwa Telecommunications Building [110].

2004 yılında tamamlanmış olan *Kuo Mei Building*'te (Taipei) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm). 14 katlı yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik enerjinin emilimi amacıyla kullanılmıştır.

2004 yılında tamamlanmış olan *Grand Master Construction Residential Building (KCEC)*'e (Taipei) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 50$ mm)(Şekil Ek 1.82). 14 katlı çelik sistem yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik enerjinin emilimi amacıyla kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.82 Grand Master Construction Residential Building (KCEC) [140].

2004 yılında güçlendirilen *TSMC FAB 8*'e (Hsin Chu City) 58 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 220$ mm)(Şekil Ek 1.83).



Şekil Ek 1.83 TSMC FAB 8 [141].

2004 yılında güçlendirilen *TSMC FAB 5*'te (Hsin Chu City) 44 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.84).

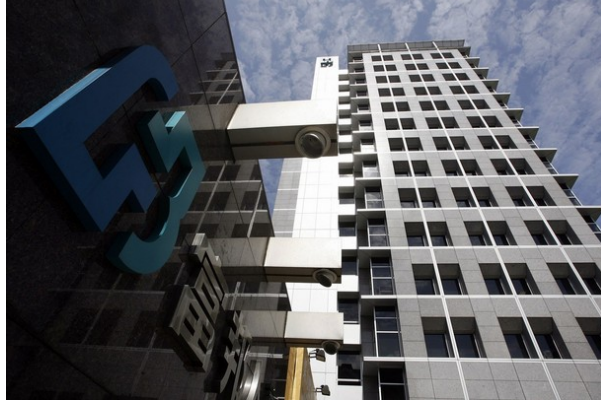


Şekil Ek 1.84 TSMC FAB 5 [141].

2004 yılında tamamlanmış olan *Grand Master Construction Residential Building (KCEC)*'te (Hsin Chu City) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 50$ mm).

2005 yılında tamamlanmış olan *GerFu Business Center*'e (Taipei) 25 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm).

2005 yılında tamamlanmış olan *Fubon/China Insurance Building*'te (Taipei) 124 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.85).



Şekil Ek 1.85 Fubon/China Insurance Building [142].

2005 yılında tamamlanmış olan *Kindom 101 Leadership*'te (Taipei) 23 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 50$ mm) (Şekil Ek 1.86). 18 katlı 13.000 m² alana sahip yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler diyagonal kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.86 Kindom 101 Leadership [143].

2005 yılında tamamlanmış olan *National Palace Museum*'da (Taipei) 172 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.87).



Şekil Ek 1.87 National Palace Museum [143].

2005 yılında tamamlanmış olan *Shin Keio Plaza*'ya (Taipei) 24 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 152$ mm) (Şekil Ek 1.88).



Şekil Ek 1.88 Shin Keio Plaza [144].

2005 yılında güçlendirilmiş *Touch the Heart of Hawaii*'de (Taipei) 30 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm) (Şekil Ek 1.89). 14 katlı 35.000 m² alanlı yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler diyagonal yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.89 Touch the Heart of Hawaii [2].

2006 yılında tamamlanmış olan *TSMC FAB 7*'de (Taipei) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm)(Şekil Ek 1.90).



Şekil Ek 1.90 TSMC FAB 7 [142].

2006 yılında tamamlanmış olan *Tainan Science Park Junction Bridge*'te (Tainan) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm).

2006 yılında tamamlanmış olan *Jan-Ron Ritz Building*'e (Taipei) 64 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm).

2006 yılında tamamlanmış olan *Ruentex Tun-Jen Building*'e (Taipei) 88 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm).

2007 yılında tamamlanmış olan *TSMC Fab 14 P4*'te (Taipei) 20 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.91).



Şekil Ek 1.91 TSMC Fab 14 P4 [142].

2007 yılında tamamlanmış olan *Dong-Teng Project*'e (Taipei) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm). 15 katlı çelik çerçeve sistem yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik enerjinin emilimi amacıyla yerleştirilmiştir.

2007 yılında tamamlanmış olan *Shen-Mao Garter Castle Residential Building*'de (Taipei) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 50$ mm).

2007 yılında tamamlanmış olan *Lian-Yun Tai-An Residence*'de (Taipei) 6 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm).

2007 yılında tamamlanmış olan *Huaku Wen-De Residence*'e (Taipei) 24 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 60$ mm).

2007 yılında tamamlanmış olan *Huaku Ming-Chiuan Residence*'e (Taipei) 48 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 60$ mm).

2007 yılında tamamlanmış olan *Tan Zu/Tzu Chi Hospital*'da (Taichung) 88 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 750$ mm)(Şekil Ek 1.92). 14 katlı 145 km² hastanede yapıda viskoz akışkanlı sönümleyiciler ile sismik taban yalıtım sistemi ile birlikte kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.92 Tan Zu/Tzu Chi Hospital [145].

2007 yılında tamamlanmış olan *Rainbow Bridge*'te (Taipei) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 100$ mm)(Şekil Ek 1.93). Yeni çelik sistem köprüde viskoz akışkanlı sönümleyiciler sismik enerjinin emilimi amacıyla kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.93 Rainbow Bridge [146].

2008 yılında tamamlanmış olan *TSMC Fab12 P4*'e (Hsin Chu City) 18 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.94).



Şekil Ek 1.94 TSMC Fab12 P4 [142].

2008 yılında tamamlanmış olan *Criminal Investigation Bureau Taichung*'te (Taichung) 4 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.95). 15 katlı çelik sistem yapıda sönümleyiciler diyagonal olarak kat aralarına yerleştirilmiştir.



Şekil Ek 1.95 Criminal Investigation Bureau Taichung [147].

2008 yılında tamamlanmış olan *Hung-Feng Nei-Hu Residence*'ta (Taipei) 12 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm).5 katlı betonarme sistem yapıda sönümleyiciler duvarları desteklemektedir.

2008 yılında tamamlanmış olan *Fu-Shi Tu-Cheng Project*'de (Taipei) 24 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm).12 katlı betonarme sistem yapıda sönümleyiciler duvarları desteklemektedir.

2008 yılında tamamlanmış olan *Ya-Ting Chung-Ho Project*'e (Taipei) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 75$ mm).14 katlı betonarme sistem yapıda sönümleyiciler duvarları desteklemektedir.

2008 yılında tamamlanmış olan *Mei-Feng Residential Building*'te (Taipei) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 60$ mm).16 katlı çelik çerçeve sistem yapıda sönümleyiciler duvarda çift taraflı olarak kullanılmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Farglory Fortuna H62*'te (Taipei) 80 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm).2 adet 16 katlı çelik çerçeve sistem yapılarda sönümleyiciler duvarda çift taraflı olarak kullanılmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Farglory Twin-Towers H40*'te (Taipei) 162 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.96). 2 adet 25 katlı çelik çerçeve sistem yapılarda sönümleyiciler duvarda çift taraflı olarak kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.96 Farglory Twin-Towers H40 [2].

2008 yılında tamamlanmış olan *Hung Poo Construction / KIMZO New Trump*'ta (Taipei) 24 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır. ($\Delta = \pm 100$ mm).19 katlı betonarme çerçeve sistem yapıda sönümleyiciler duvarlarda kullanılmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Kindom Kui-Lin Project*'e (Taipei) 24 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm). 19 katlı betonarme çerçeve sistem yapıda sönümleyiciler duvarlarda kullanılmıştır.

2008 yılında tamamlanmış olan *Uni-President Taipei Transfer Post (A3)*'te (Taipei) 124 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır (Şekil Ek 1.97). ($\Delta = \pm 100$ mm). 31 katlı çelik çerçeve sistem yapıda sönümleyiciler yapının strüktürel performansını arttırmak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.97 Uni-President Taipei Transfer Post (A3) [148].

2008 yılında tamamlanmış *Chiyoda Project*'te (Taipei) 16 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 60$ mm). 16 katlı betonarme çerçeve sistem yapıda sönümleyiciler çift iskeletli olarak kullanılmıştır.

2008 yılında tamamlanmış *Twin Oak Garden Project*'e (Taipei) 32 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 60$ mm). 16 katlı betonarme çerçeve sistem yapıda sönümleyiciler çift iskeletli olarak kullanılmıştır.

Ek 1.9 Birleşik Krallık

2004 yılında güçlendirilmiş *Coldhams Lane Bridge*'te (Cambridge) 2 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 75$ mm)(Şekil Ek 1.98).



Şekil Ek 1.98 Coldhams Lane Bridge [149].

2007 yılında güçlendirilmiş *Clerkenwell Road Bridge*'e (Londra) 2 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 100$ mm)(Şekil Ek 1.99). 16 katlı betonarme çerçeve sistem yapıda sönümleyiciler çift iskeletli olarak kullanılmıştır.



Şekil Ek 1.99 Clerkenwell Road Bridge [150].

Ek 1.10 Venezuela

2007 yılında tamamlanmış *Coker Structure*'de (Barselona) 26 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 150$ mm).

Ek 1.11 Kanada

2002 yılında güçlendirilen *BCBC Pandora Wing*'e (Victoria) 76 adet viskoz akışkanlı sönümleyici yerleştirilmiştir ($\Delta = \pm 57$ mm)(Şekil Ek 1.100). 1974 yılında yapılan 7 katlı bina sismik enerjinin emilimi amacıyla güçlendirilmiştir.



Şekil Ek 1.100 BCBC Pandora Wing [66].

Ek 1.12 Fransa

2005 yılında tamamlanmış olan *Pont de Vatine Bridge*'te (Le Havre) 6 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır ($\Delta = \pm 152$ mm)(Şekil Ek 1.101).



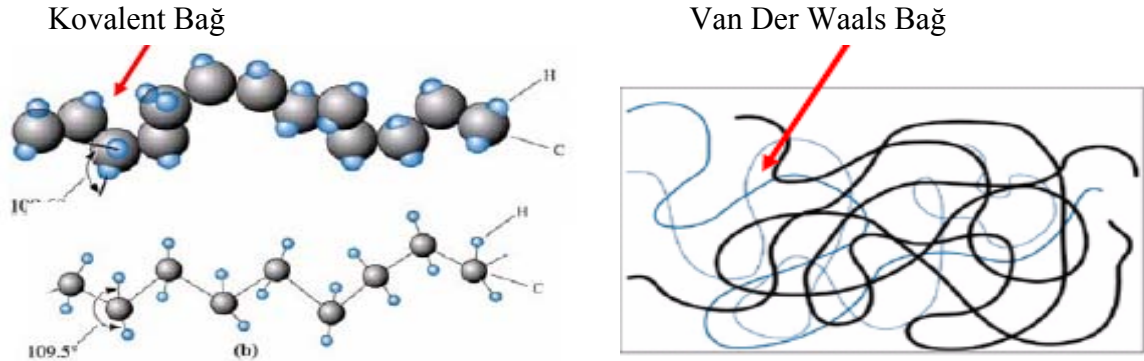
Şekil Ek 1.101 Pont de Vatine Bridge [2].

Ek 1.13 Avustralya

2005 yılında tamamlanmış olan *Hammersly Wharf*'ta 1 adet viskoz akışkanlı sönümleyici kullanılmıştır. ($\Delta = \pm 75$ mm).

Ek 2 Viskoz Akışkanlı Sönümlleme Sistemlerinde Kullanılan Polimerlerin Diğer Özellikleri

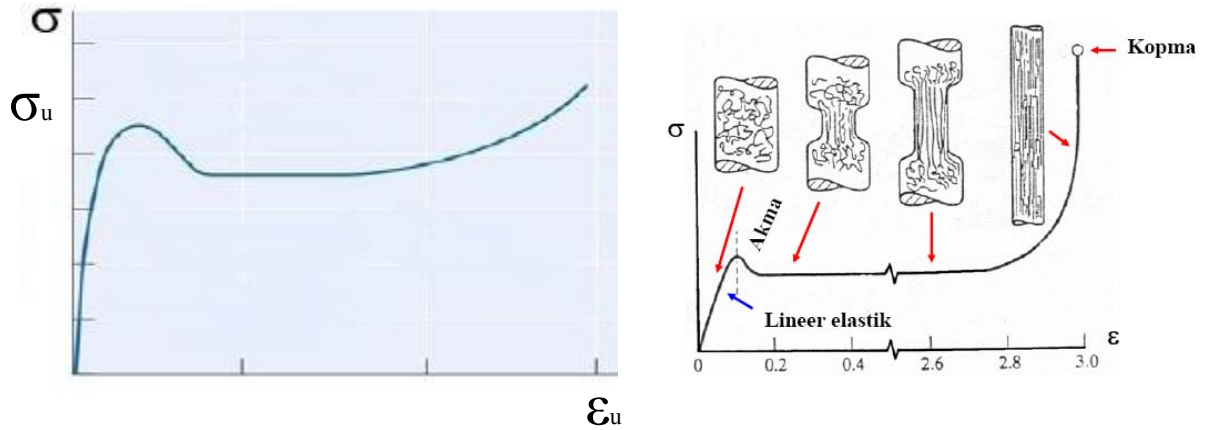
Karbonun diğer C veya H, O, OH, Cl gibi element veya iyonlarla kovalent bağlar yaparak Van Der Waals bağları ile birleştiği molekül zincirleri polimer malzeme olarak tanımlanır. Şekil Ek 2.1 bu bağlar gösterilmektedir.



Şekil Ek 2.1 Polimer molekülleri arasında yer alan Kovalent ve Van Der Waals bağları [5]
Polimerlerin özellikleri;

- Çok yüksek elastikiyet gösterirler. Uzunlukları %1000'e ulaşabilir.
- Vulkanizasyon yardımıyla molekül zincirleri arasında çapraz bağlar oluşturularak dayanımı artırılabilir.

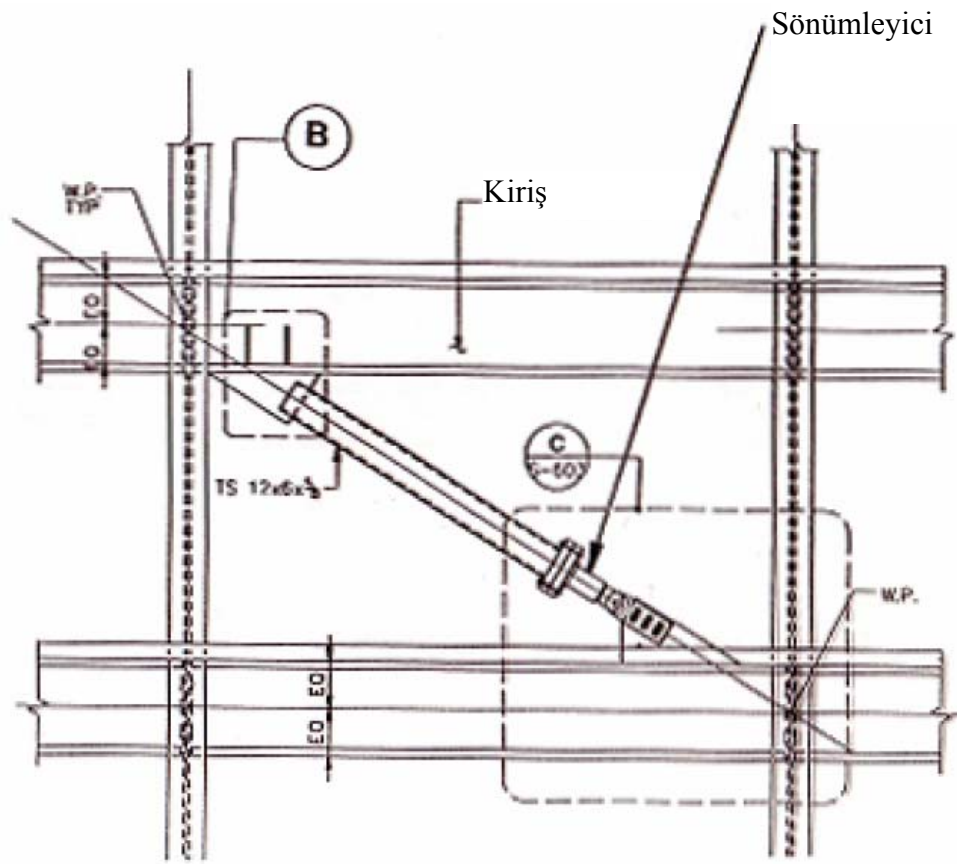
Polimerlerde akmadan sonra kesit daralır, molekül zincirlerinin yumakları açılır, çekme doğrultusunda yönelir ve birbirine yaklaşır. Kesit daralmadan önce Van der Waals bağları etkisini artırır, molekül zincirleri daha sıkı tarzda bağlanır ve dayanım kopma noktasına (σ_u , ϵ_u) kadar artabilir (Şekil Ek 2.2) [5].



Şekil Ek 2.2 Polimerlerin gerilme şekil değiştirme diyagramı [5]

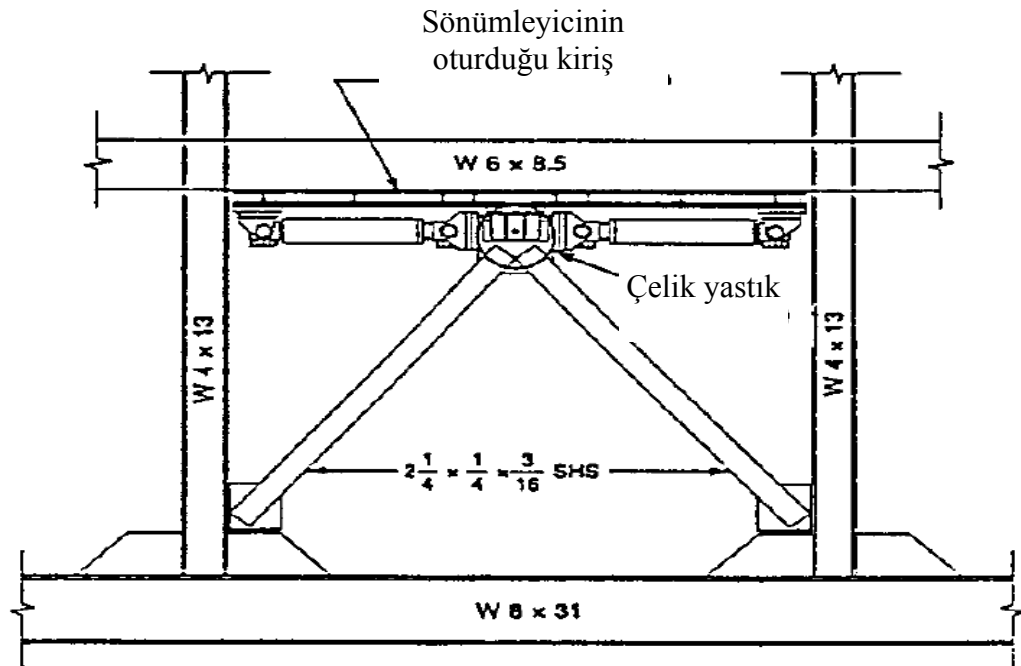
(σ_u : çekme dayanımı, ϵ_u : kopma uzaması)

Ek 3a Tipik Bir Diyagonal Tip Viskoz Akışkanlı Sönümlleme Sistemi Kesiti

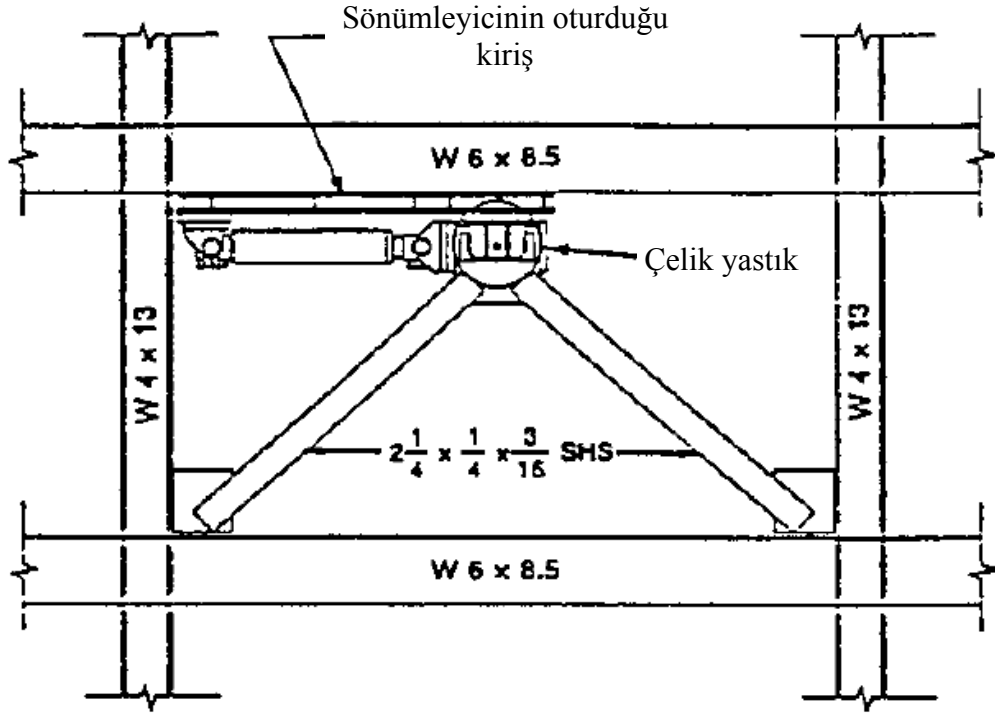


Şekil Ek 3.1 Tipik diyagonal tip viskoz akışkanlı sönümleyici (Taylor Devices, 2008).

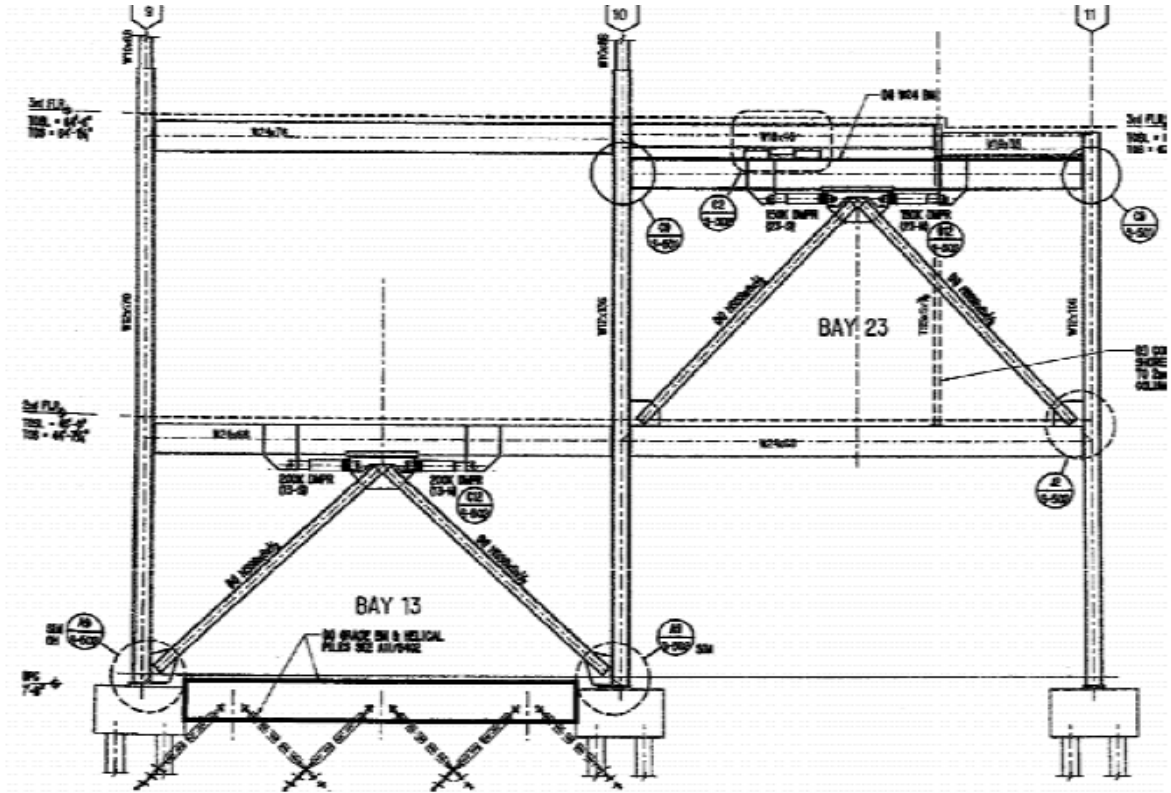
Ek 3b Tipik Bir ChevronTipi Viskoz Akışkanlı Sönümlleme Sistemi Kesiti



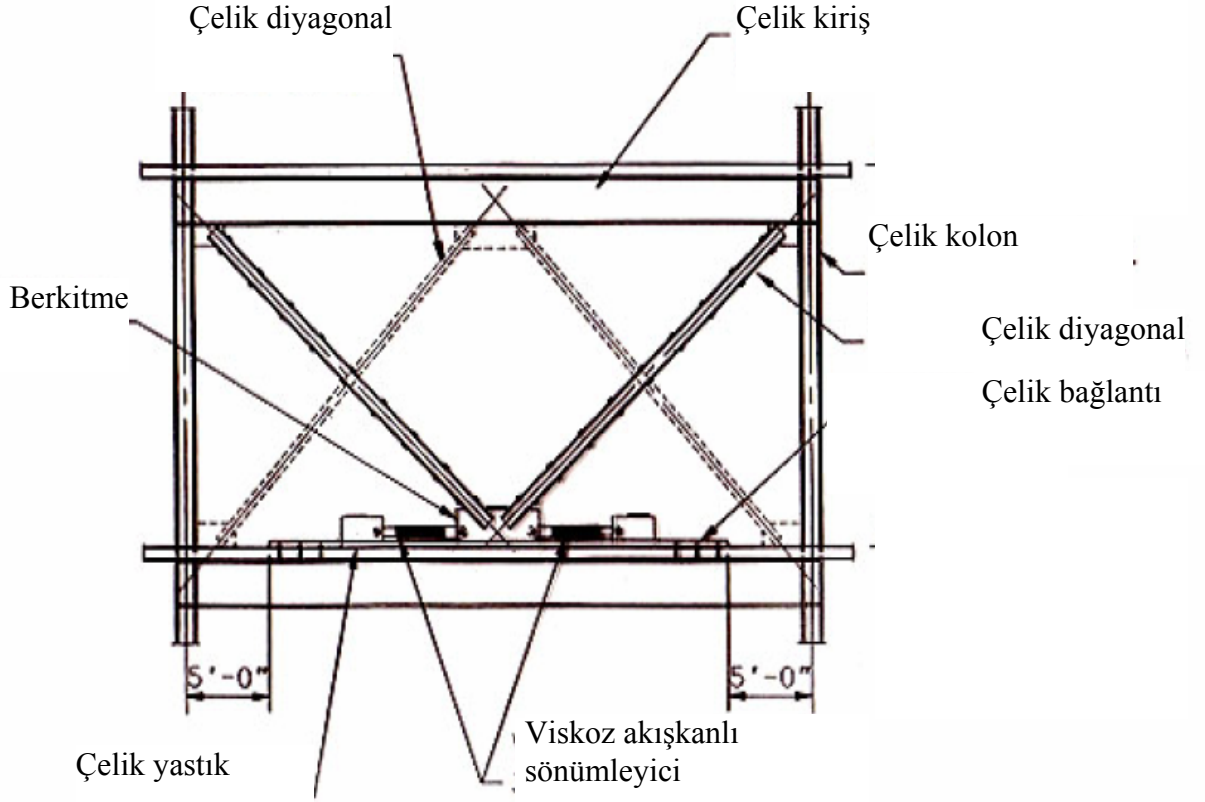
Şekil Ek 3.2 Tipik 2 sönümleyicili Chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici (Aiken ve diğ., 1993).



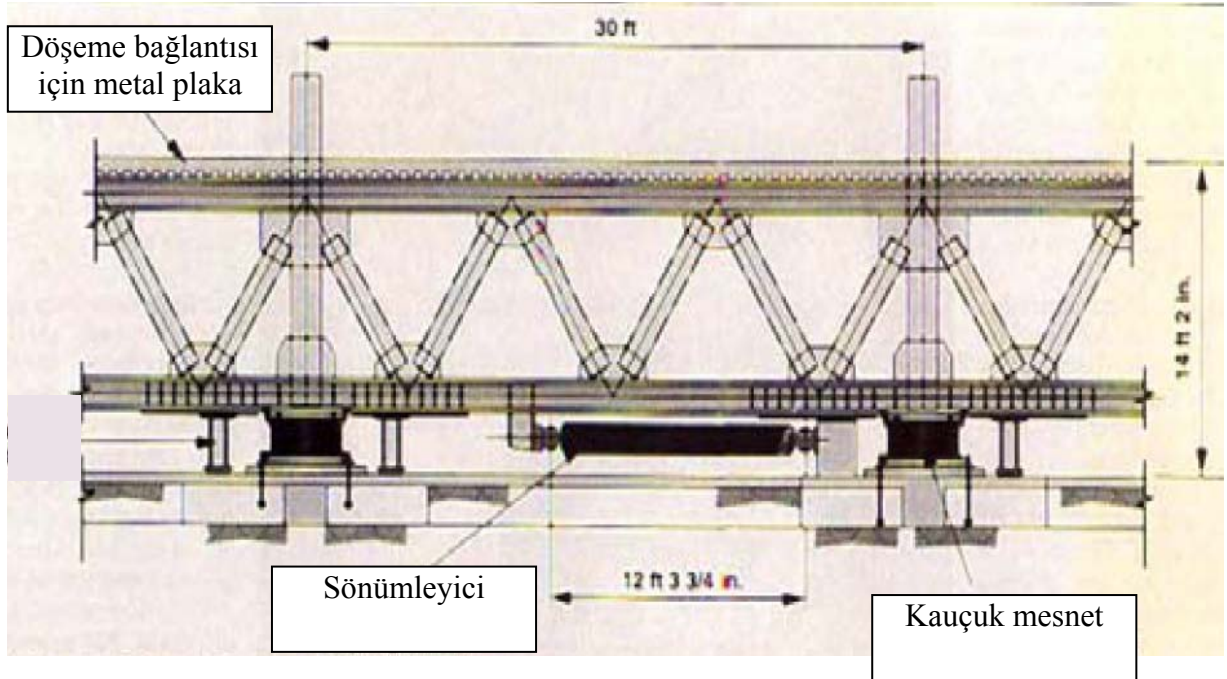
Şekil Ek 3.3 Tipik bir 1 sönümleyicili chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici (Aiken ve diğ., 1993).



Şekil Ek 3.4 Tipik 2 sönümleyicili Chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici (Hussain ve diğ. 2001).

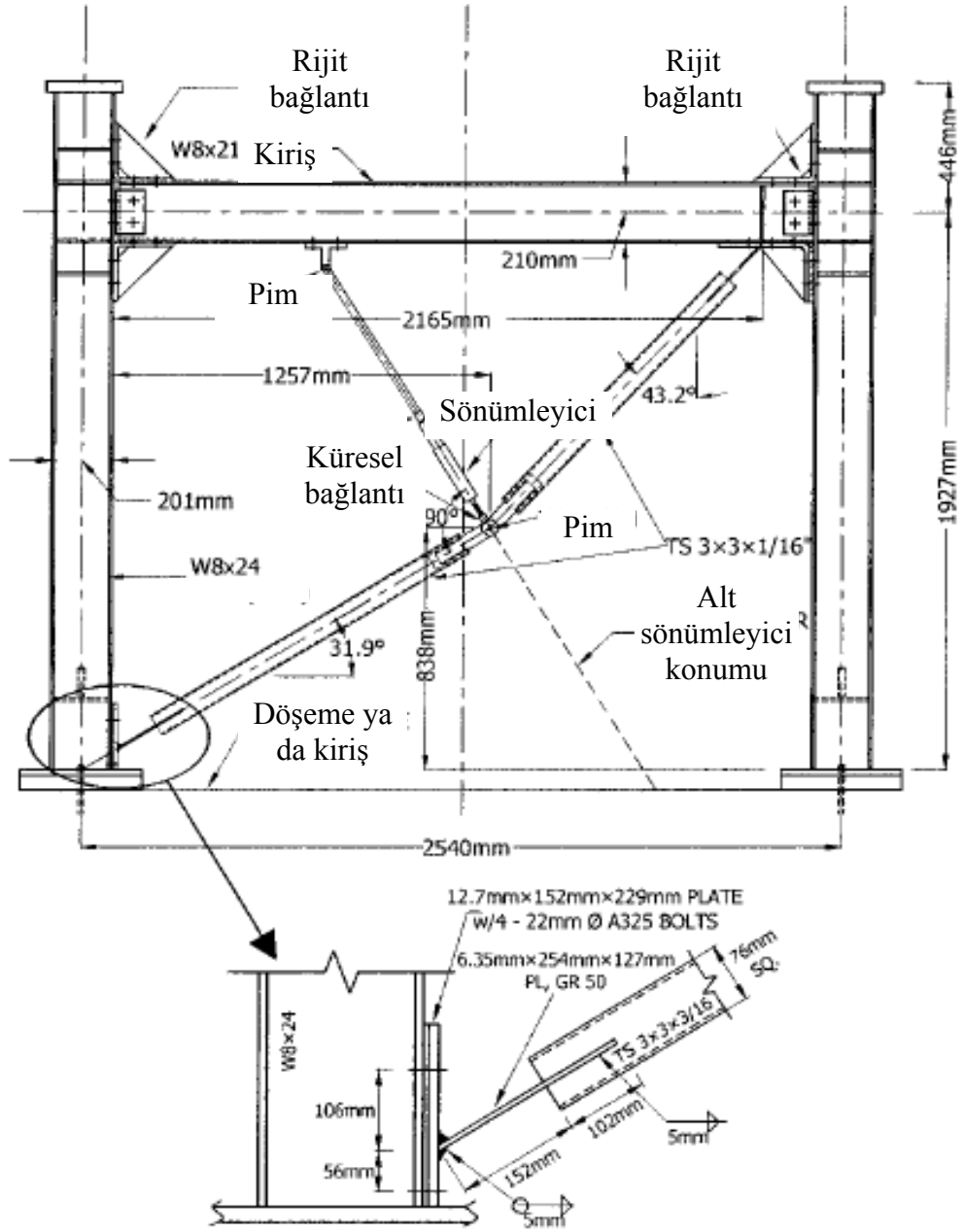


Şekil Ek 3.5 Tipik bir 2 sönümleyicili chevron tipi viskoz akışkanlı sönümleyici (Taylor Devices, 2008).



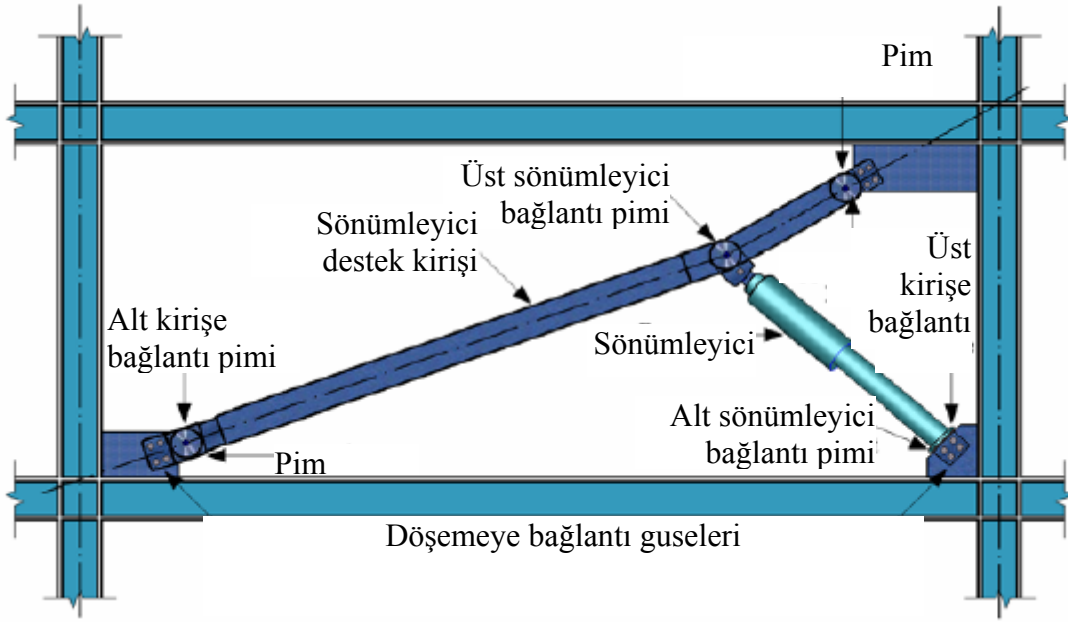
Şekil Ek 3.6 Chevron viskoz akışkanlı sönümleyicilerin kauçuk mesnetlerle uygulanması (Taylor Devices, 2008).

Ek 3c Tipik Bir Üst Dirsek Tipi Viskoz Akışkanlı Sönümleme Sistemi Kesiti



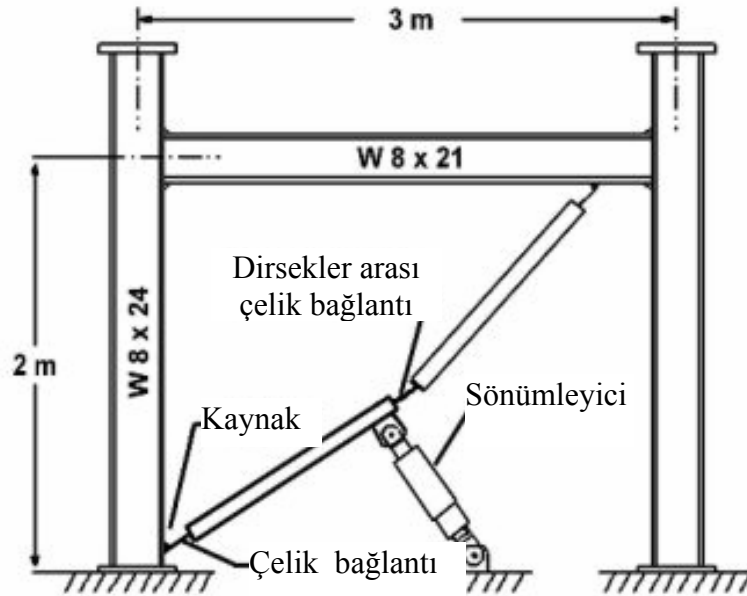
Şekil Ek 3.7 Tipik bir üst dirsek tipi viskoz akışkanlı sönümleyici (Constantinou, 2001).

Ek 3d Tipik Bir Alt Dirsek Tipi Viskoz Akışkanlı Sönümleme Sistemi Kesiti



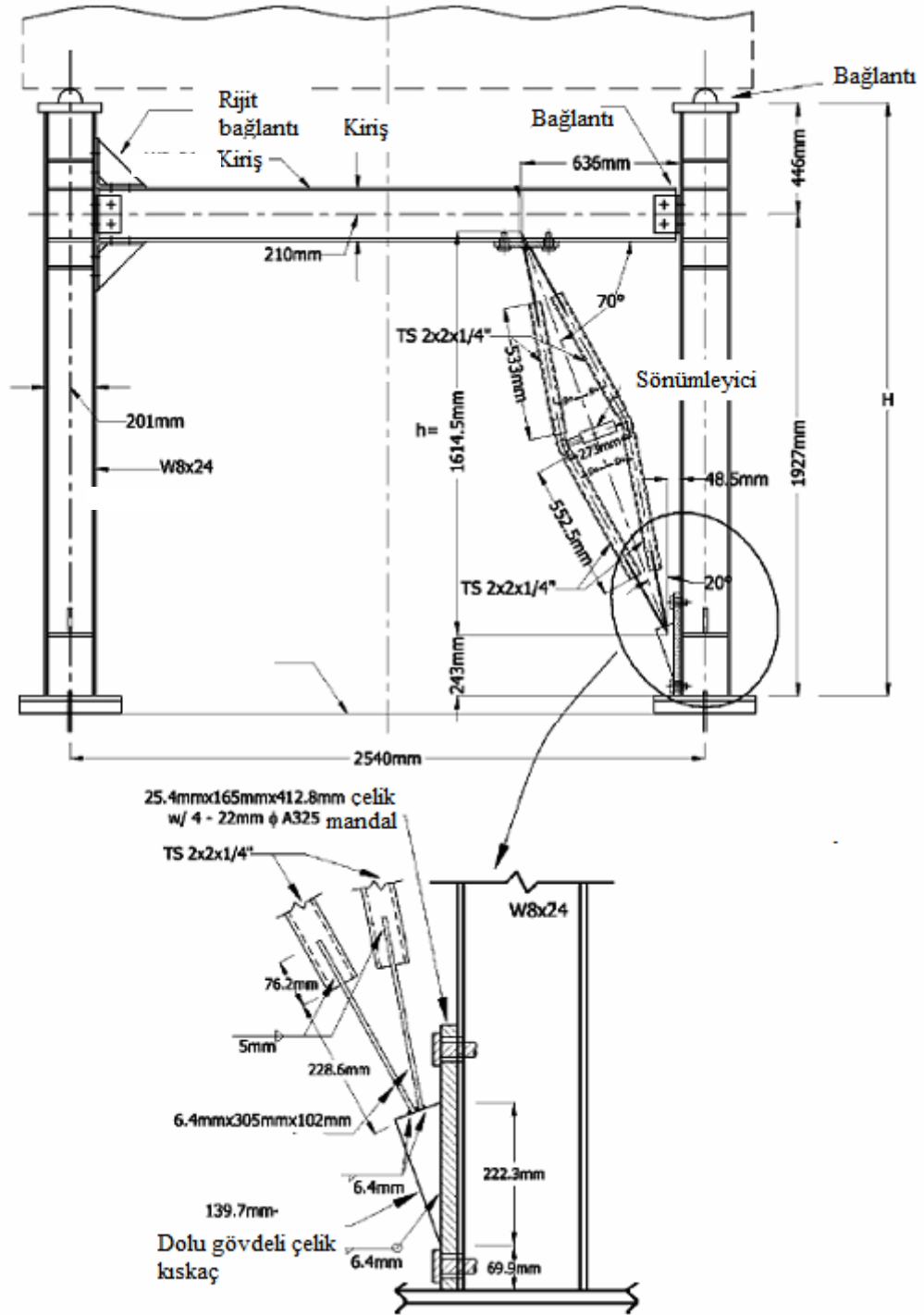
Şekil Ek 3.8 Tipik bir alt dirsek tipi viskoz akışkanlı sönümleyici (Makro, 2004).

Ek 3e Tipik Bir Ters Dirsek Tipi Viskoz Akışkanlı Sönümleme Sistemi Kesiti



Şekil Ek 3.9 Tipik bir ters dirsek tipi viskoz akışkanlı sönümleyici (Taylor Devices, 2008).

Ek 3f Tipik Bir Makas Tipi Viskoz Akışkanlı Sönümleme Sistemi Kesiti



Şekil Ek 3.10 Tipik bir makas tipi sönümleyici (Şihager ve Constantinou, 2003).

Ek 4 Kauçuğun Tarihçesi

Güney ve Orta Amerika'da Maya uygarlığından kalan kalıntılarda en az 900 yıllık ham kauçuk toprakları bulunmuştur. Avrupa'ya ilk bilgileri getiren Kristof Kolomb'tur. Kolomb, Haiti Yerlileri'ni "ağaç sakızı"ndan yapılmış bir topla oyun oynarken görmüştü. 18. yüzyılda iki Fransız botanikçi, François Fresneau ve Charles de la Condamine, uzunca bir süre Güney Amerika'da kaldılar. Kauçuk ağacını ilk tanıtan 1730'da Fresneau oldu. Amerika Yerlileri kauçuk ağacına, "ağlayan ağaç" anlamında cahucho diyorlardı. La Condamine, 1736'da Paris'e kauçuk örnekleri gönderdi ve Yerliler'in kauçuktan nasıl ayakkabı, savaş kalkanı ve şişe yaptıklarını, ayrıca bu maddeden su sızdırmaz malzeme olarak nasıl yararlandıklarını anlattı. 19. yüzyılın ortalarına kadar kauçuk az bulunan ve pahalı bir madde olarak kaldı. Kauçuk başlangıçta yalnızca Güney Amerika'dan ve özellikle de Brezilya'dan sağlanabiliyordu.

1876'da Henry Wickham, 70 bin kauçuk ağacı tohumu topladı; bunları Londra yakınlarındaki Kraliyet Botanik Bahçeleri'ne getirdi ve tohumların ekilmesini sağladı. Büyük bölümü ise Asya'daki özellikle Sri Lanka'daki botanik bahçelerine gönderildi. 11 fidenin de Malezya'ya ulaştığı sanılıyor. 1889'da Singapur'daki botanik bahçelerinin yöneticiliğine getirilen Ridley, yeni bir lateks elde etme yöntemi geliştirdi ve bunun üzerine kauçuk üretimi hızla artmaya başladı. Böylece Güneydoğu Asya'daki plantasyonlardan elde edilen kauçuğun önemi, Güney Amerika'dan gelen yabani kauçuğa göre giderek arttı. 1907'de plantasyon kauçuğu dünyadaki toplan gereksinimin %5'ini karşılarken 1914'e gelindiğinde bu oran %50'nin üzerine çıkmıştır.

1493- Amerika'ya yaptığı ikinci yolculuk sırasında Kristof Kolomb, Haiti Adası'nda yerlilerin yere vurdukça zıplayan bir topla oynadıklarını gördü.

1521 - Meksika'nın İspanyol egemenliği altında bulunduğu yıllarda bazı İspanyol gezginleri, yerlilerin elastik bir madde kullanmakta olduklarını görmüşlerdi. Avrupa'da da bunlara ait çeşitli söylentiler dolaşmaya başlamıştı. Yerlilerin renk renk tüyleri, bir bitkiden çıkardıkları süte benzeyen beyazımsı maddeyle vücutlarına yapıştırdıkları, böylece büyücü kılığına büründükleri söyleniyordu. İçine ayaklarını batırıp çıkardıkları bu süt gibi maddenin kuruduktan sonra çarığa benzer bir çeşit ayakkabı biçimini aldığı da dolaşan söylentiler arasındaydı.

1735 - Charles de la Condamine adında bir Fransız, hiçbir Avrupalı'nın karşılaşmadığı bu bitkinin esrarını çözmek üzere Amazon ormanlarına doğru yola çıktı. Yerliler ağaca "gözyaşı" anlamına gelen "heve" yahut "cao ochu" adını veriyorlardı.

Serüvenle dolu bir yolculuktan sonra de La Condamine, bu esrarengiz ağacı buldu. Kabuğunu keserek çıkardığı sütü (lateks = kauçuk) kurutup bazı modeller yaptı ve Fransa'ya yolladı. O çağın bilim adamları bunu inceleyip çözümlemeye koyuldular.

1763 - Birkaç Fransız kimyacısı cevheri, trebentin yağı ve etere batırıp eritmeyi başardı. Lateks, lastik adı altında, mürekkep lekelerini kağıt üzerinden çıkarmak için silgi olarak kullanılmaya başlandı.

1793 - Peal isimli bir İngiliz, kauçuğu trebentin içinde eriterek su geçirmez bir madde yapma patentini aldı.

1823 - Charles Macintosh adında İskoçyalı bir kimyacı, su geçirmez maddelerin yapım metodunu geliştirdi ve lastik eşya yapmak üzere ilk fabrikayı kurdu. Bugün bile İngiltere'de «mackintosh» adıyla anılan su geçirmez pardesüler (muşamba) yapılır. Bu ilk lastik eşyanın bazı kusurları vardı: sıcak havaya dayanamayıp eriyor ve çabuk eskiyordu. Soğuk havalarda ise sertleşip esnekliğini kaybediyordu.

1839 - Charles Goodyear adındaki Amerikalı'nın bir raslantı sonucu bulduğu sistem, lastik sanayiinde devrim yarattı. Goodyear, lateksi ısıtıp kükürtle işleyerek daha elastiki ve dayanıklı bir duruma getirdi. Böylece kauçuğa hava şartlarından etkilenmez bir nitelik kazandırdı. Bu işleme, vulkanize etmek denir. Kükürtleme işlemi, kauçuğun kullanış alanlarını genişlettiği gibi fiyatlarını da arttırmıştır. Kauçuk piyasası, "altına hücum"u hatırlatıyordu. Yıllık üretim 30 tondan birdenbire 350 tona yükseldi.

1873 - İngiltere hükümeti iklim yönünden Amazan ormanlarına benzerlik gösteren sömürgelerinde kauçuk ağaçları yetiştirmeyi düşündü. Farris, 2000 kadar Brezilya kauçuk ağacı tohumunu İngiltere'ye kaçırdı. Kalkuta'ya getirilen tohumlardan ancak bir düzinesi tuttu. Bir süre sonra Henry Wickham, Brezilya'dan 70000 tohum kaçırdı. Seylan'a götürülen bu tohumlardan 2000 tanesi iklime alışıarak gelişti.

1885 - Afrika'da yetişen, Lastik ağacı (*Ficus elastica*) adlı bir ağaçtan da kauçuk elde edildi. Böylece yıllık üretim 4000 tona ulaşmış oldu.

1907 - Seylan'da gizli yetiştirilen Brezilya kauçuk ağaçlarının tohumları Malaya'ya aktarıldı. İngiliz botanikçi Ridley'in çalışmaları ile, yılda 6000 ton kauçuk dünya pazarlarına sürüldü. Bu, kolay ve çabuk kazançlar sağlayan Brezilya ve Afrika kauçuk tüccarlarının sonu oldu. Holandalı'ların Endonezya, Amerika'lıların Liberya ve Brezilya, Fransız'ların Çin Hindistanı'nda kurdukları kauçuk ağacı çiftlikleriyle dünya kauçuk üretiminde uluslararası bir yarışma başladı. Motorlu kara araçlarının hızla gelişmesi lastik tekerlek piyasasını iyice canlandırdı. Kauçuk üretimi başlıbaşına bir tarım durumunu aldı. Daha yüksek verimli ağaç yetiştirimi ve tohumların ıslahı yoluna gidildi. Gerek çiftliklerin işletimi, gerek lateksin toplanmasında daha ekonomik metodlar ortaya konuldu. Doğal kauçuk yetiştiren başlıca ülkeler; Brezilya, Nijerya, Liberya, Zaire, Güney Hindistan, Sri Lanka, Malezya, Endonezya, Tayland ve Filipinler'dir. Doğal kauçuk üretimi plantasyonların (büyük çiftlikler) yanı sıra küçük çiftliklerde gerçekleşmektedir. Bugün ileri endüstri ülkelerinde sentetik kauçuk yapımı gittikçe artmakla birlikte Brezilya kauçuk ağaçlarından çıkarılan doğal kauçuk hala ön planda gelmektedir. Kauçuğun güncel üretimiyle ilgili son durum Çizelge Ek 4.1'de verilmektedir [59].

Çizelge Ek 4.1 Kauçuğun dünya üzerindeki üretimi [59].

Ülke İsmi	Ton	%
Batı Malezya	1.279.200	42,86
İndonezya	844.800	28,37
Tayland	337.200	11,24
Seylan	140.400	4,72
Hindistan	109.200	3,79
Liberya	64.100	2,16
Nijerya	51.000	1,72
Doğu Malezya	46.200	1,56
Zaire	40.000	1,35
Brezilya	25.800	0,86
Güney Vietnam	19.900	0,68
Kamerun	12.800	0,43
Kamboçya	6.000	0,22

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 05.10.1983

Doğum yeri İzmit

Lise 1997-2000 İzmit İmam Hatip Lisesi

Lisans 2001-2005 Karadeniz Teknik Üniversitesi Müh. Mimarlık Fak.
Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2006-Devam ediyor İBB Yapı İşleri Müdürlüğü