

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPILARDA PASİF KONTROL SİSTEMLERİNİN
İNCELENMESİ**

**Y. LİSANS TEZİ
Müh. Erkan MURAT**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2005

**YAPILARDA PASİF KONTROL SİSTEMLERİNİN
İNCELENMESİ**

**Y. LİSANS TEZİ
Müh. Erkan MURAT
501021211**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Nisan 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. M. Ertaç ERGÜVEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Faruk YÜKSELER (Y.T.Ü.)
Y.Doç.Dr. Abdullah GEDİKLİ (İ.T.Ü.)**

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Geçmiş yıllarda, belirgin performans hedefleri elde etmek için sismik dizayn koşul ve yöntemleri geliştirilmiştir. Bu deneyimler sayesinde, yalnızca dizayn kuvveti derecesindeki artışların, performansın tüm özelliklerinde gelişim sağlayamadığı ortaya koyulmuştur. Yapının deprem performansının geliştirilmesi için, tek veya kombine kullanımda ve gelişmenin çeşitli aşamaları için üç yeni teknik önerilmiştir: Sismik izolasyon, ilave enerji sönüm (pasif kontrol) sistemleri ve aktif veya melez yapısal kontrol. Bu çalışmada sadece pasif kontrol sistemleri yaklaşımı üzerinde odaklanılmıştır. Bu amaçla pasif kontrol sistemlerinin tanımlanması, dizaynı ve yapısal uygulamalarda kullanılabilirlikleri konu edinilmiş ve sayısal örneklerle desteklenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi esnasında ilgisi ve yardımlarını esirgemeyen hocam Prof.Dr. M. Ertay Ergüven' e teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2005

Erkan MURAT

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji Sönüm Cihazları	1
1.1.1. Histeritik Cihazlar	2
1.1.1.1. Metalik Akma Cihazları	2
1.1.1.2. Sürtünme Cihazları	4
1.1.2. VE Cihazlar	5
1.1.2.1. VE Katı Cihazlar	5
1.1.2.2. Viskoz Sıvı (Akışkan) Cihazlar	5
1.2. Viskoz Sönümün Dinamik Tepki Üzerindeki Etkisi	6
1.2.1. İtici ve Sinüsoidal Yer Hareketleri	7
1.2.2. Deprem Zemin Hareketleri	10
1.2.2.1. Yakın Bölge Depremlerinin Etkisi	16
1.3. Sönümleyici İlaveli Yapılar İle Geleneksel Yapılar Arasındaki Farklar	16
1.3.1. Sönümlemedeki Belirgin Artışlar	19
1.3.2. Orantısız Sönümleme	19
1.3.3. Sönüm Cihazının Doğrusal Olmaması	20
1.4. Sönümleyici İlaveli Yapıların Dizayn Ve Analizi	20
2. SÖNÜMLEYİCİLERİN TANIMLANMASI VE KULLANILABİLİRLİĞİ	21
2.1. Metalik Akma Ve Sürtünme Cihazları	21
2.1.1. Elastoplastik Form	22
2.1.2. Bilineer Form	23
2.1.3. Polinom Form	23
2.1.4. Eş Viskoz Sönümleme Ve Rijitlik	24
2.2. VE Katı Cihazlar	28
2.2.1. Frekans, Sıcaklık Ve Gerilim Genliği Etkileri	30
2.3. Viskoz Sıvı (Akışkan) Cihazlar	31
2.3.1. Sıcaklık Etkisi	34
2.4. Uygulanabilirlik	35
2.4.1. Bina Tipleri Ve Biçimleri	36
2.4.2. Performans Düzeyleri	36
2.4.3. Varolan İle Yeni Yapıların Karşılaştırılması	36
2.4.4. Mimarinin Etkisi	37
2.4.5. Çevresel Etkiler	37
2.4.6. Yaşlanma	37

2.4.7. Maliyet Ve Sönümleyici Tipinin Seçimi	38
3. SÖNÜMLEYİCİ İLAVE EDİLMİŞ YAPILARIN ANALİZİ	41
3.1. Doğrusal Olmayan Yapı / Doğrusal Olmayan Sönümleyici (DOY / DOS) Yöntemi	41
3.2. Doğrusal Olmayan Yapı / Doğrusallaştırılmış Sönümleyici (DOY / DS) Yöntemi	42
3.3. Doğrusal Yapı / Doğrusal Olmayan Sönümleyici (DY / DOS) Yöntemi	48
3.4. Doğrusal Yapı / Doğrusal Sönümleyici (DY / DS) Yöntemi	48
4. YAPISAL UYGULAMALAR İÇİN SÖNÜMLEYİCİ DİZAYNI	49
4.1. Enerji Sönümleme Sistemlerinin Optimum Yerleştirilmesi	49
4.2. Kiriş Ve Kolonlardaki, Kuvvet Ve Momentler	51
4.3. Dizayn Yöntemleri	51
5. SAYISAL UYGULAMALAR	53
5.1. Geleneksel Yapı İle Sönümleyici İlaveli Yapıların Karşılaştırılması	53
5.1.1. Sürtünme Sönümleyicileri İlaveli Yapı	55
5.1.2. VE Sönümleyicileri İlaveli Yapı	56
5.2. Sönümleyici Yerleşim Pozisyonunun Yapı Tepkisine Etkisi	59
5.3. Sönümleyici-Berkitme Birleşim Tiplerinin Yapı Tepkisine Etkisi	62
5.4. Oval Delikli, Sürtünme Bulonlu Birleşimler	65
6. SONUÇLAR	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	76

KISALTMALAR

ÇSDS	: Çok Serbestlik Dereceli Sistemler
DY/DS	: Doğrusal Yapı / Doğrusal Sönümleyici
DY/DOS	: Doğrusal Yapı / Doğrusal Olmayan Sönümleyici
DOY/DS	: Doğrusal Olmayan Yapı / Doğrusal Sönümleyici
DOY/DOS	: Doğrusal Olmayan Yapı / Doğrusal Olmayan Sönümleyici
SA	: Spektral İvme
SD	: Spektral Deplasman
SV	: Spektral Hız
VE	: Viskoelastik
TSDS	: Tek Serbestlik Dereceli Sistemler
3D	: Üç Boyutlu

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. İlave Enerji Sönüm Cihazları	2
Tablo 1.2. Viskoz Sönümleme Fonksiyonu Olarak Düzeltme Faktörleri.....	15
Tablo 1.3. Viskoz Sönümleme Fonksiyonu Olarak Düzeltme Faktörleri.....	15
Tablo 1.4. Deplasman (a), Hız (b) ve İvme (c) Ortalama Sönüm Azaltma Faktörleri.....	17
Tablo 1.5. Deplasman (a), Hız (b) ve İvme (c) Ort.+1 S.S Sönüm Azaltma Faktörleri.....	18
Tablo 1.6. Üç Katlı Moment Çerçevesi İçin Viskoz Sönümün Fonksiyonu Olarak Ort. Kat Öteleme Azaltmaları.....	19
Tablo 2.1. Sönümleyici ve Temel İzolasyonunun Performans Dereceleriyle Uyumlu Uygulanabilirliği.....	36
Tablo 2.2. Histeritik ve VE Cihazların, Eş Viskoz Sönüm ve Rijitlik Parametreleri	40
Tablo 3.1. Bağlama Parametreleri.....	45
Tablo 4.1. 10 Katlı Yapının Parametre Değerleri	50
Tablo 5.1. Yapısal Elemanların En Kesit Özellikleri.....	54
Tablo 5.2. Modal Özellikler.....	56
Tablo 5.3. Modal Özellikler.....	58
Tablo 5.4. Dizayn Depremi İçin Dinamik Tepki Özeti.....	59
Tablo 5.5. Yapının Göreceli Kat Deplasmanları	61
Tablo 5.6. Yapının Katarası Ötelemeleri.....	61
Tablo 5.7. Berkitme-Sönümleyici Birleşim Tipi Parametreleri.....	63
Tablo 5.8. Yapının Göreceli Kat Deplasmanları	63
Tablo 5.9. Yapının Katarası Ötelemeleri.....	63
Tablo 5.10. Dizayn Depremlerinin Özellikleri.....	65
Tablo 5.11. Kat Deplasmanları.....	67
Tablo 5.12. Katarası Ötelemeleri.....	67

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : X Tipi Levha Sön.....	3
Şekil 1.2 : Üçgen Levha Sön.....	3
Şekil 1.3 : Çelik Şerit Tipi Sön.....	3
Şekil 1.4 : Bağlanmamış Berkitme.....	4
Şekil 1.5 : Pall Sürtünme Cihazı.....	5
Şekil 1.6 : VE Katı Cihaz.....	6
Şekil 1.7 : Viskoz Akışkan Cihaz.....	6
Şekil 1.8 : Serbest Titreşim – İlk Hız.....	8
Şekil 1.9 : Sinüsoidal Zemin İvmesi.....	9
Şekil 1.10 : Yarım-Sinüs İtkili Zemin İvmesi.....	9
Şekil 1.11 : Pseudo-SA İçin Düzeltme Faktörleri.....	12
Şekil 1.12 : Pseudo-SV İçin Düzeltme Faktörleri.....	13
Şekil 1.13 : Spektral Deplasman İçin Düzeltme Faktörleri.....	14
Şekil 2.1 : Doğrusal Olmayan Kuvvet-Deplasman Modelleri.....	22
Şekil 2.2 : Periyodik Doğrusal Olmayan Kuvvet-Deplasman Modelleri....	24
Şekil 2.3 : Metalik Akma Ve Sürtünme Cihazlarının Tipik Periyodik Histeritik Şekilleri (ω_1, ω_2 : Titreşim Frekansları).....	25
Şekil 2.4 : Sönüm Ve Yapısal Yenilenen Kuvvetler.....	27
Şekil 2.5 : VE Katı Cihazın Tipik Histeritik Şekilleri.....	29
Şekil 2.6 : VE Kayma Depolama Modülü Sıcaklık İlişkisi.....	30
Şekil 2.7 : Kayma Depolama Ve Kayma Kayıp Modülleri İçin Basitleştirilmiş İlişkiler.....	31
Şekil 2.8 : Kuvvet-Deplasman İlişkisi.....	33
Şekil 2.9 : Hareket Genliğinin Fonksiyonu Olarak Viskoz Sıvı Cihazın Sönüm Oranı.....	34
Şekil 2.10 : Sıcaklığın Fonksiyonu Olarak Kuvvet-Deplasman İlişkileri.....	35
Şekil 3.1 : Sönümleyici İlaveli Yapılar İçin Analiz Yöntemleri.....	41
Şekil 3.2 : Sönümleyici-Berkitme Birleştirme Biçimleri.....	43
Şekil 3.3 : Sönümleyici Düğme Ve Makas-Kriko Berkitme Birleştirme Şekilleri.....	43
Şekil 3.4 : Tipik Yapısal Biçimlerin Karşılaştırılması.....	44
Şekil 3.5 : Basitleştirilmiş Analitik Modeller.....	44
Şekil 3.6 : Üst Düğme Biçimi İçin Bağlama Parametresi.....	46
Şekil 4.1 : 10 Katlı Yapının Görünüşü.....	50
Şekil 4.2 : Sönümleyici Sayısının Fonksiyonu Olarak Kat Ötelemesi.....	50
Şekil 4.3 : Sönümleyici Dizayn Takip Şeması.....	52
Şekil 5.1 : Beş Katlı Çelik Yapı.....	54
Şekil 5.2 : Göreceli Kat Deplasmanları – Sönümleyici Pozisyonu İlişkisi	61
Şekil 5.3 : Katarası Ötelemeleri – Sönümleyici Pozisyonu İlişkisi.....	62

Şekil 5.4	: Göreceli Kat Deplasmanları – Sönümleyici-Berkitme Birleşimi İlişkisi.....	64
Şekil 5.5.	: Katarası Ötelemeleri – Sönümleyici Pozisyonu İlişkisi.....	64
Şekil 5.6.	: Yapı Tipik Kat Kalıp Planı.....	65
Şekil 5.7.	: 1 Aksının Görünüşü.....	66
Şekil 5.8.	: Berkitme-Kiriş Birleşim Noktasının Detayı.....	66
Şekil 5.9.	: Erzincan Depremine İlişkin Kat Deplasmanları.....	67
Şekil 5.10.	: Düzce Depremine İlişkin Kat Deplasmanları.....	68
Şekil 5.11.	: Erzincan Depremine İlişkin Katarası Ötelemeleri.....	68
Şekil 5.12.	: Düzce Depremine İlişkin Katarası Ötelemeleri.....	69

SEMBOL LİSTESİ

A, h	: VE malzemenin tabaka alanı ve kalınlığı
B_a, B_d ve B_v	: İvme, deplasman ve hızdan türetilen sönüm azaltma faktörleri
B_s ve B_l	: Spektral azaltma parametreleri
c ve k	: Yapının viskoz sönüm ve rijitlik parametreleri
c_d ve k_d	: Eş viskoz sönüm ve rijitlik parametreleri
c_s ve k_s	: Yanal kat rijitliği ve sönüm parametresi
c_v(ω)	: Genelleştirilmiş sönüm parametresi
d, d₀ ve d_y	: Cihaz deplasmanı, maks. yapısal deplasman ve akma deplasmanı
E	: Her çevrimde sönümlenen enerji
G' ve G''	: Kayma depolama ve kayma kaybı modülleri
k_e ve k_h	: Elastik rijitlik ve gerilme pekleşmesi rijitliği
m	: Yapının kütlesi
p, p₀ ve p_y	: Cihaza uygulanan kuvvet, maks. kuvvet ve deneysel akma kuvveti
r	: l' den büyük tek tam sayı
T	: Periyot
x'' ve x_g''	: Temele göre yatay yapısal ivme ve temelin ivmesi
x'	: Temele göre yatay yapısal hız
x ve x₀	: Temele göre yatay yapısal deplasman ve maks. deplasman genliği
V''max	: En büyük ivme değeri
β	: Kırık sönüm oranı
μ	: Elastik-plastik yapısal sistemin düktilitesi
α	: Pozitif sabit
α_b ve α_d	: Bağlama parametreleri
δ	: Oval delik boyu
γ(t)	: Zamanın fonksiyonu olarak kayma deformasyonu
γ'(t)	: Zamanın fonksiyonu olarak kayma def. değişim oranı (kayma hızı)
ω	: Periyodik dairesel frekans (rad/sn)
ω	: Kayıp faktörü

YAPILARDA PASİF KONTROL SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Enerji sönümü, dinamik yükler altında mekanik ve yapısal sistemlerin aşırı titreşimlerinin kontrolünün etkin bir yolu olarak, uzun zamandır kabul edilmektedir. Bina kodlarındaki deprem direnir dizaynı gerekleri, sabit bir yanal kuvvet parametresinden, şimdiki spektral dizayn yaklaşımlarına dayanan kod gereklerine doğru yavaş bir gelişim göstermektedir. Bu dizayn eğrileri, elastik yapısal sistemin temel sönümünü, kritik sönümün %5' i olarak kabul eder. Dizayn depreminin derecesi, sismik dizayn yanal kuvvetlerinin ilave azalmalarına izin verdiği sürece, yapının inelastik tepkiye döneceğini kabul edilir. Elastik tepki kuvvetlerindeki azalma, elastik eleman kapasitesinin sınırlarına ve doğrusal olmayan çevrimsel enerji sönümü nedeniyle oluşan efektif sönümdeki artışa mal edilir. Bu durumda sistem ve bileşenleri inşa edilmelidir çünkü büyük deplasmanlar etkisinde yük kapasitelerini koruyabilirler. Bu olay genellikle onarılabılır hasara sebep olur. Hasarın boyutu onarımın süre ve maliyeti üzerinde rol oynar.

Enerji sönüm sistemlerinin üretilmesindeki gelişimde, özellikle son yirmi yıldan fazla bir süredir önemli başarılar elde edilmiştir. Eş zamanlı olarak, analitik ve deneysel çalışmalar, yapıların deprem tepkisinde ilave enerji sönümün etkisinin tanımlanması ve daha iyi anlaşılmasına yol açmıştır. Bir çok cihazın laboratuvar testleri, yeni veya varolan binalarda enerji sönüm sistemlerinin güvenilir dizaynı ve montajı hakkında ilerleme sağlamıştır.

Enerji sönüm sistemleri için dizayn kodları ve standartların gelişimi yavaş ilerlemektedir. Bu çalışmada, yeni dizayn edilen deprem direnir binalarında ve varolan yapıların deprem performanslarının iyileştirilmesinde, enerji sönüm sistemlerinin kullanımı ile ilişkili bilgiler özetlenmektedir. Öncelikle, farklı tip girdi hareketleri için, durağan hal ve itici girdiler için yapısal sistemin temel dinamik tepkisiyle başlanarak, uzun süreli ve yakın bölge deprem yer hareketleri dikkate alınarak, bir yapıya enerji sönüm sistemlerinin ilave edilmesinin fiziksel sonuçlarını tartışırız.

Sonrasında enerji sönüm sistemlerinin karakteristikleri tartışılır ve seçilen dizayn kriterlerine karşı gelen belirli bir cihazın fayda ve zararları özetlenir. Sismik dizayn limitleri seçilen enerji sönüm sistemleri için sınıflandırılabilir. Bu yüzden birincil yapısal eleman hem elastik kalacak hem de inelastik cevap verecektir. Bu iki limit için dizayn yaklaşımları tanımlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı ilave enerji sönüm teknolojisinin temel kavramlarını sunmaktır. Bu sayede dizayn mühendisleri, mimarlar ve teknik elamanların bu teknolojinin yapısal uygulamalardaki yarar ve sınırlamalarını anlayabilirler.

THE INVESTIGATION OF PASSIVE CONTROL SYSTEMS IN BUILDINGS

SUMMARY

Energy dissipation has long been recognized as an effective means for controlling excessive vibration of structural systems under dynamic loads. Earthquake-resistant design requirements in building codes have evolved from a constant lateral force coefficient to current code requirements that are based on design spectral approaches. These design spectra assume that elastic structural system's inherent damping is 5% of critical damping. Assuming that the Building will go into inelastic response during the design-level earthquake allows further reduction of the seismic design lateral forces. The reduction from elastic response forces attributed to the limits of elastic member capacities and to the increase in "effective" damping caused by nonlinear hysteretic energy dissipation. In this case, components and systems must be constructed so they can sustain their load capacities while under going large deformations. This action result in damage that usually must be repaired. The extent of the damage can influenced the time and cost required to make the repairs.

Over the last 20 years, significant progress has been made in developing manufactured energy dissipation systems. Simultaneously, analytical and experimental studies have led to a better understanding and characterization of the effects of supplemental energy dissipation on the earthquake response of buildings. Laboratory testing of many devices has progressed to the state where energy dissipation systems are being reliably designed and installed in new as well as existing buildings.

Development of design codes and standards for energy dissipation systems has progressed slowly. This study summarizes information on the use of energy dissipation devices in designing new earthquake-resistant buildings and upgrading the seismic performance of existing buildings. First we consider the physical consequences of adding energy dissipation systems to structure for various types of input motion, starting with the basic dynamic response of structural systems to steady-state and impulsive inputs and concluding with the response to long-duration and near-field earthquake ground motions.

Generic energy dissipation device characteristics are then discussed, and pros and cons of specific device characteristics of meeting selected design objectives are summarized. The seismic design limits can be categorized for selecting energy dissipation systems, so that the primary structural members either remain nearly elastic for the design earthquake or respond inelastically. The design approaches for these two limits are described.

The purpose of this study is to impart basic concepts of the supplemental energy dissipation technology to design engineers, architects, and building officials so they can understand its benefits and limitations in structural applications.

1. GİRİŞ

Binaların, köprülerin ve diğer yapıların deprem tepki performanslarının ve hasar kontrolünün iyileştirilmesi için bir çok yaratıcı yaklaşımlar geliştirilmiş ve yakın gelecekte de yenileri ortaya çıkarılacaktır. Bu yaklaşımlar üç grup içinde toplanabilir: pasif sistemler (temel izolasyonu ve ilave enerji önümleme cihazları), aktif sistemler (karakteristikleri varolan tepki ölçüsünde, bina tepkisi süresince değişmeye zorlanan cihazların mekanik katkısını öngören sistemler) ve hibrid (melez) sistemler (aktif ve pasif sistemlerin, aktif sistemin başarısızlığında bile bina güvenliğinin sağlanması amacıyla birleştirilmiş olduğu sistemler). Bu çalışmada pasif sistemlerin bir parçası olan ilave enerji sönümü üzerinde durulmuştur. Aynı zamanda, temel çalışma prensipleri köprü ve diğer yapılarla aynı olmasına rağmen binalar üzerinde odaklanılmıştır.

Bu cihazların yapıya monte edilmesinin arkasındaki fikir, çevresel yükler altında yapının enerji yutma kapasitesini artırmak ve alternatif bir deprem ve rüzgar direnir dizaynı oluşturmak ve geliştirmektir. Bu bakımdan deprem ve rüzgar riskini azaltma, güvenlik, güvenilirlik, yapım kolaylığı açısından önemli bir potansiyele sahiptirler.

Pasif enerji sönüm sistemlerinde, cihazların optimum yerleşiminin sağlanmasının önemli bir nokta olması sebebiyle bu konuyada değinilmektedir. Bu bağlamda günümüze kadar yapılmış olan ve çoğunlukla çerçeve sistemleri esas alan çalışmalara değinilmiştir. Değinilmiş olan konuların daha açık bir şekilde ortaya koymak için sönümleyici seçimi, dizaynı ve yerleşimi üzerine sayısal uygulamalar yapılmıştır.

1.1 Enerji Sönüm Cihazları

İlave enerji sönüm cihazları üç ana kategoride gruplandırılabilir. Bunlardan ikisi Tablo 1.1' de listelenmiştir. Üçüncü gruptaki cihazlar ise hem toplu kütleli (tuned-mass) hem de toplu sıvı (tuned-liquid) sarkaç tipi dinamik titreşim sönümleyicileridir; ve rüzgar ile insansal kat titreşimlerinin kontrolü için

kullanılmaktadır. Pasif modda, muhtemel sismik tatbiki dayalı bir çok çalışma yapılmış olmasına rağmen, tam ölçekli uygulamalar yapılmamıştır. Bu sebeple takibeden çalışmalar özellikle histeritik ve viskoelastik (VE) cihazlarda odaklanılmıştır. Kolaylık ve ortak bir kullanım sağlamak amacıyla, bu cihazlar sönümleyici olarak adlandırılmıştır.

1.1.1 Histeritik Cihazlar

Tablo 1.1’de histeritik cihaz olarak metalik akma cihazları ve sürtünme cihazları verilmiştir. Enerji sönümlemeleri öncelikle cihazdaki göreceli deplasmana bağlıyken, göreceli hızlarla bağlantılı değildir.

Tablo 1.1 : İlave Enerji Sönüm Cihazları

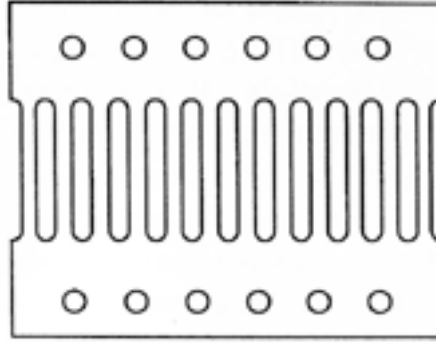
Tip	Cihaz	Çalışma Prensibi
Histeritik	Metalik Akma	Metalin Akması
	Sürtünme	Sürtünmeli Kayma
VE	VE Katılar	VE Polimerlerinin Deformasyonu
	Viskoz ve VE akışkanlar	Viskoz Akışkanın veya Akışkanın Ağız Deformasyonu

1.1.1.1 Metalik Akma Cihazları

Metalik akma cihazlarının yapıda kullanımı ile sismik enerjinin büyük bir kısmının emilmesi fikri **Kelly ve diğ. (1972)** ve **Skinner ve diğ. (1975)** ‘in deneysel çalışmalarıyla başlamıştır. Bu araştırmacılar burulabilir kirişler, esnek kirişler, U-şerit enerji sönümleyicileri ve diğer cihazlarla ilgilenmişlerdir. Takibeden yıllarda X tipi ve üçgen-levha enerji sönümleyicilerinin dahil olduğu ve büyük farklılıkları bulunan daha verimli cihazlar önerilmiştir. Bu cihazlar enerjiyi eğilme boyunca sönümleyiciler, bunlar Şekil 1.1 ve 1.2 ‘de gösterilmiştir (**Tyler, 1978; Tyler, 1985; Stierner ve diğ., 1981; Bergman ve Goel, 1987; Whittaker ve diğ., 1991; Tsai ve diğ., 1993**). Bu cihazların çoğu, malzeme boyunca akmanın üniform yayılımı nedeniyle üçgen veya saat camı şeklindeki yumuşak çelik levhalar kullanmıştır. Çelik akma cihazlarının diğer düzenlemeleri genellikle Japonya ‘da kullanılmış ve altıgen, kesik sönümleyicilerin eğilme tipleri (Şekil 1.3) ve kayma panelleridir.



Şekil 1.1 : X Tipi Levha Sön. Şekil 1.2 : Üçgen Levha Sön. (Tsai ve diğ., 1993)

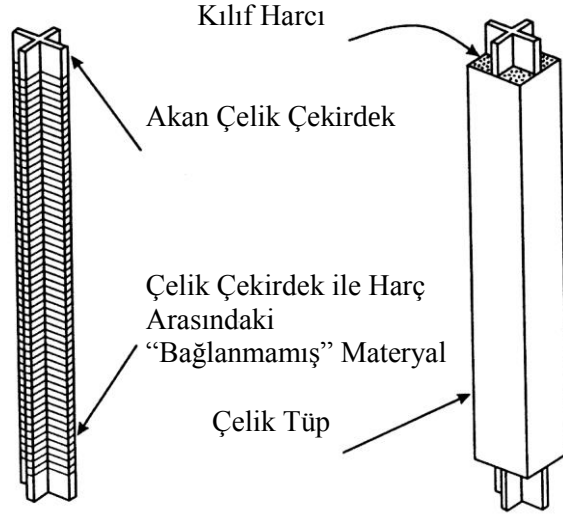


Şekil 1.3 : Çelik Şerit Tipi Sön. (Wada ve diğ., 1999)

Cihazların bir diğ er tipide, Şekil 1.4’ de görülen ve Amerika ve Japonya’ da kullanılan ve berkitme elemanın ın uzama/kısalma akması prensibiyle çalışan Bağlanmamış Berkitme’ lerdir **(Wada ve diğ., 1999; Clark ve diğ., 1999)**. Bu cihazlar, etrafı betonla doldurulmuş çelik çekirdek levha ve betonu saran çelik bir tüpten ibarettir. Çekirdek levha ile beton arasındaki sürtünme özel bir kaplamayla azaltılabilir. Betonla dolu çelik tüpün sıkışma burkulmasına direnimi sırasında, dönüşümlü eksenel yükleme altındaki çelik çekirdek levha sabit bir enerji sönümlemesi sağlar.

Kurşun ve şekil hafızalı alaşımlar gibi malzemelerde bu amaçla değerlendirilmiştir **(Aiken ve Kelly, 1990)**. Geometrik biçimlerinde açık farklılıklar olmasına rağmen, metallerdeki gizli sönümleyici mekanizmaların sebebi onların inelastik deformasyonlarıdır. Bazı araştırmalarda, metalik akma cihazlarının histeritik kuvvet –yerdeğiştirme modellerini kullanarak yerleşik bir method elde ederek yapının hareket denklemini oluşturmak ve temel analitik sonuçlarla metalik akma cihazlı yapılar için bir dizayn methodu elde etmek için çaba sarfedilmiştir **(Xia ve diğ., 1990; Xia ve Hanson, 1992; Tsai ve diğ., 1993; Pong ve diğ., 1994)**. Scholl

(1993) metalik akma cihazlarına uygun eş viskoz sönümlere temeline dayanan alternatif bir dizayn methodu tasarlamıştır.



Şekil 1.4 : Bağlanmamış Berkitme (Clark ve diğ., 1999)

1.1.1.2 Sürtünme Cihazları

Önceleri benzerliğinden dolayı oto frenleri kullanılmış, takibeden yıllarda **Pall ve diğ. (1980)** yapının sismik performansını iyileştirmek amacıyla sürtünme cihazlarını geliştirmeye başlamıştır. Geçen yıllar içinde, bir çok sürtünme cihazının gelişimi sağlandı. Örneğin; Şekil 1.5' de gösterilen X berkitme sürtünme cihazları (**Pall ve Marsh, 1982**), Sumitomo sürtünme sönümleyicisi (**Aiken ve Kelly, 1990**), kontrollü enerji sönümlemesi (**Nims, 1993a; Nims, 1993b**) ve delik kenetli bağlantı (**FitzGerald ve diğ., 1989; Grigorian ve diğ., 1993**). Bu cihazlar, komplekslikleri ve kayma yüzeyleri için kullanılan malzemeler bakımından birbirinden farklılıklar gösterirler. Genellikle sürtünme cihazları, Coulomb sürtünmesinin karakteristik özelliklerine benzer dikdörtgensel histeritik spiraller oluştururlar. Histeritik yenilenen kuvvet modelinin, özel bir cihaz için uygulanabilirliğinin kanıtlanmasından sonra, cihaz modeli tüm yapıların analizi için genelleştirilmiştir. Sürtünme cihazlarının eş viskoz sönümlere kavramının ortaya konulabilmesi için bazı çalışmalar yapılmıştır; Örneğin, (**Scholl, 1993**).

Belirtilmesi gerekli bir hususta; histeritik cihazların enerji sönümlere karakteristikleri genellikle orandan bağımsız olarak dikkate alınmasına rağmen, bazı malzeme özellikleri uygulandıklarındaki hızlara karşı duyarlı olabilirler. Örneğin, bir sürtünme cihazındaki sürtünmesel ısınma ve aşınmanın derecesi hızla hassas olabilir.



Şekil 1.5 : Pall Sürtünme Cihazı

1.1.2 VE Cihazlar

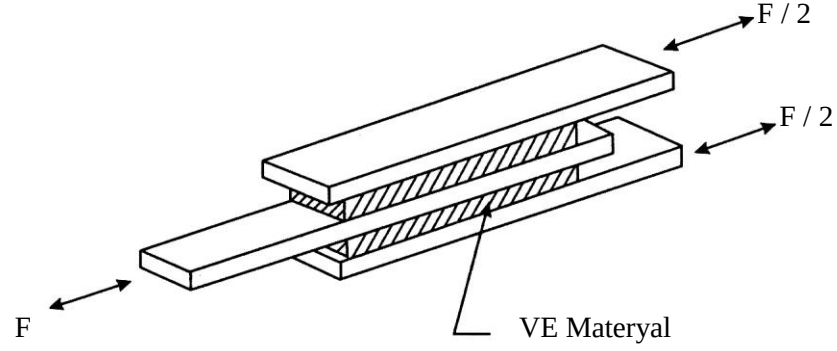
Tablo 1.1 aynı zamanda VE polimerlerinin deformasyonları, viskoz akışkanların ve ya akışkan ağzı deformasyonları sayesinde enerjiyi sönümleyen VE katı ve sıvı cihazlarda yer verir. Bunların enerji sönümlemeleri cihazdaki hem göreceli deplasmana hem de hıza bağlıdır.

1.1.2.1 VE Katı Cihazlar

VE katı cihazların inşaat mühendisliğinde kullanımı, 1969 New York ‘taki World Trade Center (Dünya Ticaret Merkezi) inşaatında rüzgar yüklerine direnimi sağlamak amacıyla 10.000 adet VE sönümleyicisinin kullanımıyla başlamıştır. Son zamanlara kadar, VE sönümleyicilerinin dinamik davranışı ve viskoelastik olarak sönümlenmiş yapıların sismik davranışı üzerinde analitik ve deneysel çalışmalar devam ettirilmiştir (**Zhang ve diğ., 1989; Zhang ve Soong, 1992; Foutch ve diğ., 1993; Lobo ve diğ. 1993a; Lobo ve diğ. 1993b; Chang ve diğ., 1994 ve Shen ve diğ., 1995**). İnşaat mühendisliğinde kullanılan VE malzemeleri tipik kopolimer veya camsı maddelerdir. Tipik bir VE katı cihaz, 3M Company Inc. tarafından çelik levhalarla sınırlanmış VE tabakalarından ibaret olarak üretilmiştir. Bu cihaz Şekil 1.6 gösterilmiştir. Japonya’ da, Hazama Corporation benzer malzemeleri kullanarak benzer cihazları ve Shimizu Corporation ise katı termoplastik kauçuk yapraklarını çelik levhalar arasına yerleştirerek VE duvarlarını geliştirmişlerdir. VE katı cihazlar enerjiyi, aynı zamanda titreşim frekansı, gerilme ve ortam sıcaklığına bağlı olarak VE tabakalarının kayma deformasyonu sayesinde sönümler.

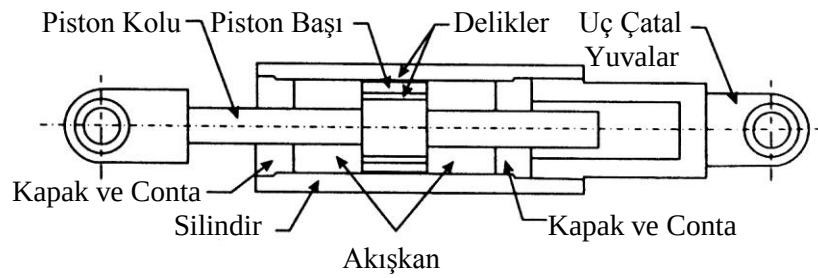
1.1.2.2 Viskoz Akışkan Cihazlar

Viskoz akışkan cihazlar, son zamanlarda viskoz duvarlar ve viskoz akışkan sönümleyicileri içeren bir şekilde geliştirilmiştir. Viskoz duvarlar, yüksek viskoziteli



Şekil 1.6 : VE Katı Cihaz (3M Company)

sıvı ile dolu bir kap içinde hareket eden bir levhadan ibaret olarak, Sumitomo Conctruction Comp. tarafından üretilmiştir (**Arima ve diğ., 1988**). Yaygın olarak askeri ve uzay endüstrisinde uzun yıllardır kullanılmakta olan viskoz akışkan sönümleyiciler, son yıllarda inşaat mühendisliği yapı uygulamalarına adapte edilmiştir (**Makris ve Constantinou, 1990; Constantinou ve Symans, 1992**). Bir viskoz akışkan sönümleyici, genellikle silikon veya benzeri tipteki yağ bileşiklerini barındıran kısım ve pistondan oluşur. Pistonda, sıvının bir ucundan diğer tarafına geçebilmesi için gerekli olan küçük delikler bulunur (**Constantinou ve Symans, 1992**). Böylece, sönümleyici yüksek viskoziteli akışkan içindeki pistonon hareketi sayesinde enerjiyi sönümler. Bu tür bir çubuk biçimli cihazın çalışma düzeneği Şekil 1.7 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 1.7 : Delikli Viskoz Akışkan Cihaz (Taylor Cihazları)

1.2 Viskoz Sönüm’ ün Dinamik Tepki Üzerindeki Etkisi

Bir yapı üzerinde tatbik edildiğinde, sönümleyiciler deprem kaynaklı enerjiyi sönümler ve yapıya ilave rijitlik ve dayanım kazandırır. Çalışma prensiplerinin bir tanıtımı olarak, viskoz sönümlü basir bir tek kütleli dinamik sistem aşağıda tekrar gözden geçirilmiştir; önce durağan durumlu (steady-state), itici (impulsive), uzun

sürekli (long-duration) ve yakın bölge (near-field) için deprem yer hareketleri girilir, daha sonra, bu tek serbestlik dereceli sistem (TSDS)' in sonuçları çok katlı yapıya genellenerek tartışılmıştır. Bu bilgilerle, dizaynırlar, istenen derecede deprem performansı ortaya koyabilecek en yüksek potansiyele sahip ilave enerji sönüm sistemi karakteristiklerini seçebilirler.

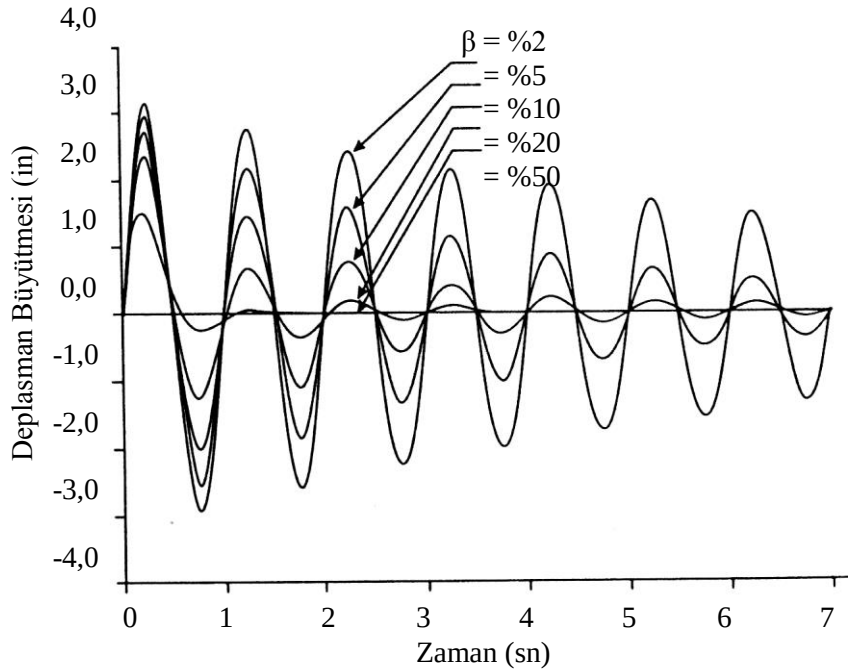
1.2.1 İtici ve Sinüsoidal Yer Hareketleri

Geleneksel binalardaki bazı sönümleyicilerin varlığı, profesyonel mühendislerce uzun yıllardır bilinmekte ve kabul edilmektedir. Binalardaki tabii enerji sönümleyicilerinin özellikleri kesin ve net olarak tanımlanamamasına rağmen, tipik binaların doğrusal tepki analizlerinde, kritik sönümün %2-5 'i kadar doğal viskoz sönümün kullanılması pratikte kabul edilmiştir. Ayrıca, sönümleyici ilavesinin sönümlemeyi önemli ölçüde artırabilmesine rağmen, dizayn spektrumlarının çoğu, %5' lik kritik viskoz sönüm olduğu varsayılarak geliştirilmiştir. Takibeden tartışmalarda, bina sistemlerinde sönümlemenin etkileri konusundaki farklı bakış açıları özetlenmesi eğilimi oluşmuş ve doğrusal sistem davranışı kabulü benimsenmiştir.

İlk olarak, durağan durumda viskoz sönümü kritik değerden az olan bir TSDS ele alınır. Sonrasında, hemen hemen bir deprem yer ivme itkisi gibi, ilk hızı yaratacak yer hareketi itkisine maruz bırakılır. Şekil 1.8' de kritik viskoz sönümün %2, %5, %10, %20 ve %50' si için yapının serbest titreşim sonuç eğrileri gösterilmiştir. Artan sönümle birlikte başlıca iki etki görülmektedir. Birincisi, yapısal tepkinin başlangıç genliği, sönümdeki artışla birlikte azalır (%5 sönümde 3 in' ten %50 sönümde 1,5 in' e). İkincisi, devir sayısı ile birlikte başlangıç genlik değerleri, %2 sönümde 6 devirden, %5 sönümde 2 devire, %10 sönümde 1 devire ve %20 sönümde ½ devire düşer. Deprem yer hareketi, tek itkilerin bir serisi olarak düşünüldüğünde, yapının bu vuruş serilerine tepkisi, her bir itkidenden gelen hareketlerin toplamı olarak alınabilir. Şekil 1.8' de, itki gerçekleştiğindeki zamandan zamana değişim görülmektedir. Şöyle basitçe sonuçlandırılabilir ki, daha yüksek sönümlü sistemlerin tepkisi, düşük sönümlü sistemlerinkinden daha küçük olacaktır ki, bunun sebebidir başlangıç genliğinin daha küçük olması ve de tepkinin daha çabuk kaybolmasıdır.

Daha sonra, bir TSDS' in durağan hal tepkisi sinüsoidal bir yer ivmesine tabi tutulur. Geleneksel olarak kolay bir kıyaslama yapabilmek için, sinüsoidal bir etkiye

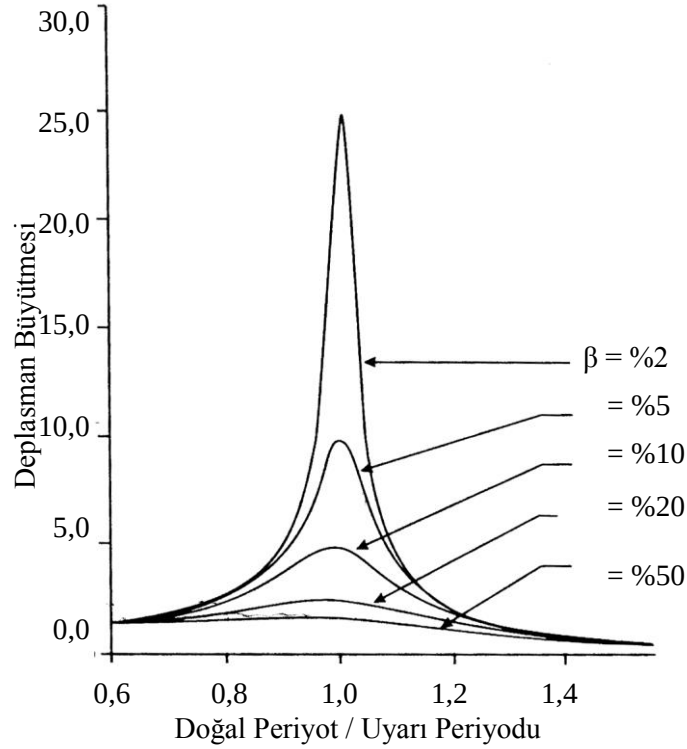
verilecek olan tepki, onun statik tepkisi ve sönümsüz doğal frekansı ile normalize edilir. Deplasman büyütmesi, yapının zemine göre göreceli deplasmanının yapı kütlesine eşit bir kuvvete maruz kalan yapının statik deplasmanına bölünmesi ve maksimum yer ivmesi ile çarpılması olarak ifade edilir. Yapının sönümsüz doğal periyodunun, sinüsoidal uyarı periyoduna oranı ise bir diğer normalizasyon methodudur. Şekil 1.9’ da farklı kritik viskoz sönüm yüzdeleri için sonuçlar verilmiştir. Uyarı periyodu yaklaşık olarak doğal periyotla aynı olduğunda, sönümdeki artışın sistemin dinamik tepki deplasmanında belirgin bir düşüşe yol açtığı Şekil 1.9’ dan görülmektedir. Bu periyot oranının 1 değerinden aşağı ve yukarı yönlü hareketinde, sönümdeki artış deplasmanda küçük değişikliklere yol açar ki, bu nedenle söz konusu durumda sönüm daha az etkilidir. Periyot oranı yaklaşık olarak 0,8 ~ 1,2 olduğunda, sönümdeki %5’ ten %50’ ye olan değişimde deplasman büyütmesini %20, 1 periyot oranına göre ise %80 azaltır. Bu sebeple, eğer sistemin periyodu etki hareketinin periyoduna yakın değil ise, ilave edilen viskoz sönümleme tepki üzerinde önemli bir etki göstermeyecektir.



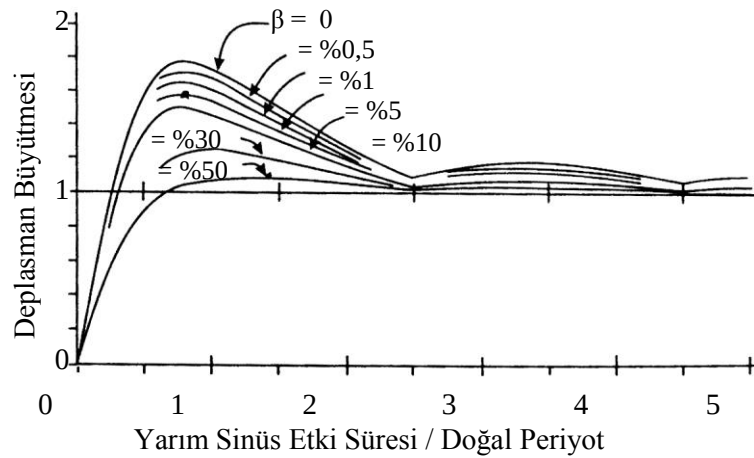
Şekil 1.8 : Serbest Titreşim – İlk Hız

Normal fay doğrultusundaki yakın bölge deprem yer hareketi itici tipi hareketler olarak tanımlanabilir. Yakın fay normal yer ivmesinin, yarım devir sinüsoidal yer ivmesi olarak sunulduğu varsayılır. Yapının maksimum göreceli deplasman büyütmesi **Ayre (1961)**’ den adapte edilerek Şekil 1.10’ da gösterilmiştir. Etki

ortadan kalktıktan sonra, hareket serbest titreşimdeki gibi azalma gösterir. Bu itici tepkilerin genel karakteristikleri, Şekil 1.8’ de gösterilen başlangıç hızı etkisine benzerdir. Maksimum deplasman büyütmesi, normal periyodun $\frac{3}{4}$ ’ ü süresinde yarım devir etkide ortaya çıkar. Deplasman büyütmesi, artan sönümlerle daha küçük hale gelir. Burada bir durağan hal tepkisinden daha az değişiklikler vardır, fakat değişim başlangıç hız etki tepkisi sonuçlarına benzerdir. Maksimum düzenli deplasman büyütmesi aralığı $\beta = \%1$ için 1,7’ den $\beta = \%50$ için 1,1’ e dir.



Şekil 1.9 : Sinüsoidal Zemin İvmesi



Şekil 1.10 : Yarım-Sinüs İtkili Zemin İvmesi (Ayre, 1961)

Özet olarak, ilave viskoz sönümleme ilk hız itkileri için tüm periyotlarda, yarım devir sinüsoidal itkili zemin ivmeleri için ise geniş bir periyot aralığında etkilidirler. Durağan hal sinüsoidal etki şarları altında, sönümleme, rezonans tepkilerinin azaltılmasında oldukça etkinsede, rezonansa yakın dinamik büyütme iki itici etken durumları için olandan daha büyüktür. Tüm bu durumlarda, sönümlemedeki artış tepkilerin dinamik deplasman büyütmelemlerini azaltır.

1.2.2 Deprem Zemin Hareketleri

Deprem zemin hareketi karakteristikleri, 1985 Mexico City depremi gibi sinüsoidal etki yaklaşımıyla veya 1992 Landers, California depremi gibi yarım veya tam devirli sinüs dalgaları yaklaşımlarıyla çeşitlendirilebilir. İvme tepki spektrumu (SA), hız tepki spektrumu (SV) ve deplasman tepki spektrumu (SD) zemin karakteristiklerindeki geniş değişimi ifade eder. Bu spektrumlar sırasıyla kütlenin maks. kesin ivmesi, kütlenin göreceli hızı ve kütlenin maks. göreceli deplasmanının yapının doğal periyodunun bir fonksiyonu olarak tanımlanmasıdır. Tarihsel olarak, **Newmark ve Hall (1982)**, kütle ve temel arasındaki maks. göreceli deplasman, farklı yapısal periyotlar için kaydedilen zemin hareket ivme kayıtlarından spektral deplasman, SD' yi elde etmek için hesaplanır. Uygun pseudo-SA ve pseudo-SV değerleri SD periyot faktörü ile hasaplanır. Bu pseudo-SA ve pseudo-SV değerleri, sönüm değerleri küçük iken ($< \%10$), gerçek SA ve SD değerlerine makul bir yakınlık göstermektedir. Daha büyük sönüm için basit matematiksel ilişkiler iyi işlemez ve gerçek SA değeri her zaman pseudo-SA değerine eşit veya onu aşacaktır. Var olan pratikle tutarlık sağlanması için, aksi belirtilmedikçe SA, pseudo-SA olarak ve SV, pseudo-SV olarak alınacaktır.

Göreceli deplasmanlar bina hasarlarının tahmini açısından anahtar parametre olarak bilinirler. Ayrıca SD spektral deplasmanı burada ilave sönümleyicilerin etkisini tasvir atemek için kullanılmışlardır. Diğer yandan, dizayn kuvveti parametreleri pseudo-SA tekniği kullanılarak elde edilen model standartlarına göre belirlendiği için, SA değeri de burada hesaba katılır.

Çeşetli oranlarda sönümlü elastik ve inelastik TSDS' in analitik çalışmalarının bir çoğuda literatürdeki yerini almıştır. **Wu (1987)**, inelastik yapısal davranışlar nedenli dinamik tepki düzeltmeleri ve ilave viskoz sönümleme sebepli düzeltmelerin iki bağımsız faktöre ayrılabilir olduğunu göstermiştir. Devamında bu iki faktörün kolay

üretiminin onların birleşik etkilerinin oluşturabileceğini göstermiştir. Çalışmasındaki deprem ivme ölçerlerinin tipik uzak bölge depremlerinin gerçek ve yapay kayıtlarını içerdiğini ortaya çıkarmıştır. Çalışmasında, sönümün değişken olmasında düktilitenin sabit kaldığını, sönüm sabit tutulduğunda ise düktilitenin değişken olduğunu öne sürmüştür. Böylece, onun sonuçlarının katı yorumu, düktilite sabit iken akma deplasmanındaki azalma artan sönümlemenin etkisi olduğu fikri olmuştur. Şekil 1.11 %10' dan %50' ye kadar sönüm ve 0,1 – 0,5 sn periyotlu, maks. ivme değerlerine göre normalize edilmiş SA verilerini göstermektedir. En soldaki ordinat değerleri, sistemin elastik tepki verilerini ifade etmektedir. Basit bir ilişki olarak denklem (1.1) aşağıda açıklanmıştır.

$$\text{Büyütme faktörü} = -0,349 \left[\ln(0,0959 \beta) + \ln(2,89 \mu - 1,89)^{-0,244} \right] ; T = 0,1 \text{ sn}$$

$$\text{Büyütme faktörü} = -0,547 \left[\ln(0,417 \beta) + \ln(1,822 \mu - 0,822)^{-0,562} \right] ; T = 0,5 \text{ sn} \quad (1.1)$$

Burada, β kritik sönüm oranı, T periyot, μ elastik-plastik yapısal sistemin düktilitesi (μ standartlarda kullanılan R ve R_w ile direkt olarak kıyaslanamaz). Analitik veri ve uygun basit denklemler (çizgiler) %10, %20, %30 ve %50 sönüm oranları için Şekil 1.11' de verilmiştir. Maks. hız ile normalize edilmiş spektral hız için benzer sonuçlar Şekil 1.12' de karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar denklem (1.2) ile aşağıda ifade edilmiştir.

$$\text{Büyütme faktörü} = -0,417 \left[\ln(0,524 \beta) + \ln(1,529 \mu - 0,529)^{-0,705} \right] \quad (1.2)$$

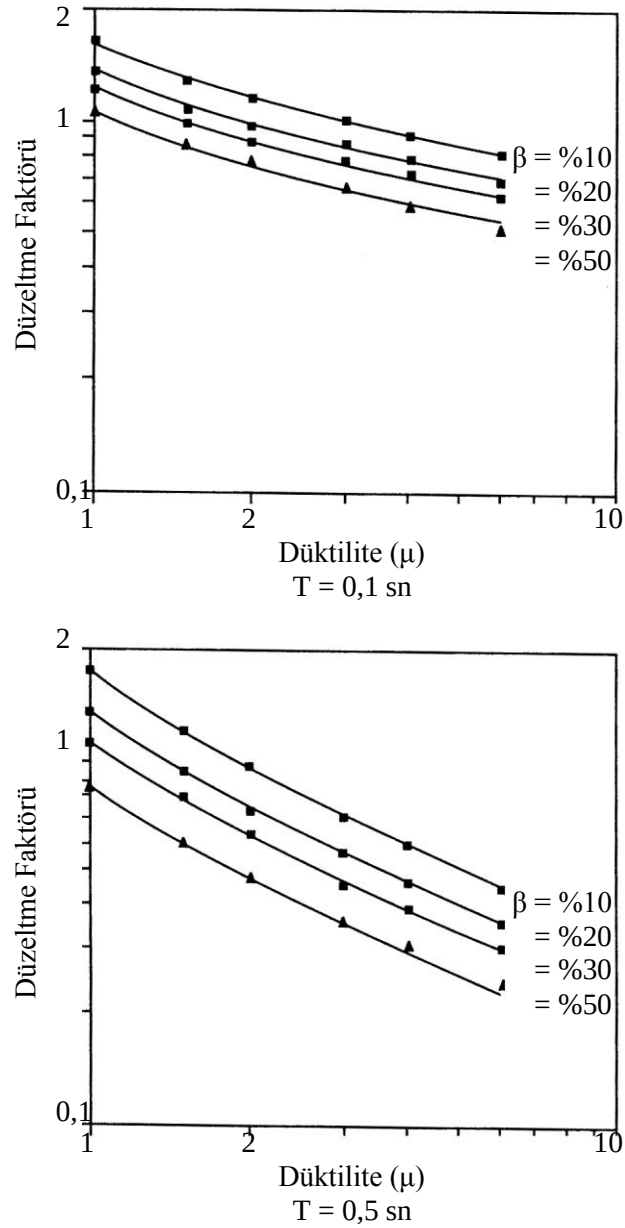
Benzer sonuçlar, T = 3 sn ve T = 10 sn için maks. zemin deplasmanlarıyla normalize edilmiş spektral deplasman değerleri Şekil 1.13' te gösterilmiştir. Bu sonuçlarla (1.3) denklemi aşağıda ifade edilmiştir.

$$\text{Büyütme faktörü} = -0,478 \left[\ln(0,475 \beta) + \ln(1,0 \mu)^{-1,06} \right] ; T = 3 \text{ sn}$$

$$\text{Büyütme faktörü} = -0,291 \left[\ln(0,0473 \beta) + \ln(1,0 \mu)^{-1,06} \right] ; T = 10 \text{ sn} \quad (1.3)$$

1 ve daha büyük değerli sabit düktilite faktörü için, düzeltme faktörlerini veren beş ilkel denklem ile hesaplanan spektral tepkideki değişim Tablo 1.2' de özetlenmiştir. Aşağıda bu değerler diğer önerilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Dikkat edilmesi gereken önemli nokta ise, basit düzeltme denklemleri inelastik tepkiyi kapsar ve

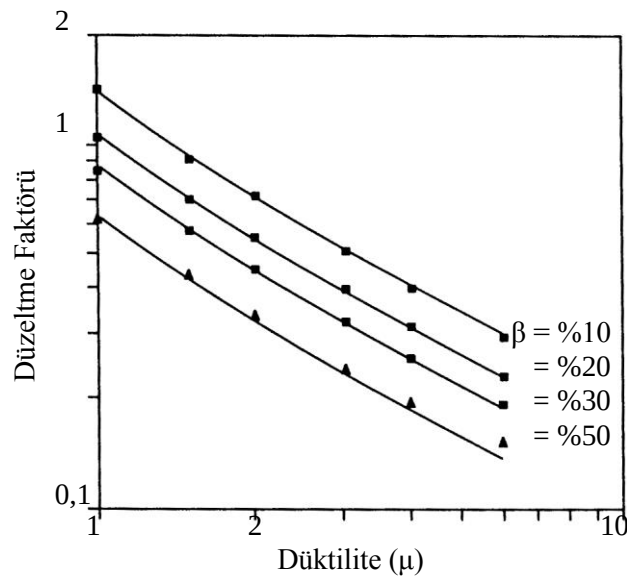
inelastik tepkinin etkisi, sönümün sabit tutulması ve μ düktilitesinin değişiminin sağlanmasıyla benzer şekilde kurulabilir.



Şekil 1.11 : pseudo-SA İçin Düzeltme Faktörleri

Bağımsız yapılan diğer çalışmalarda farklı bakış açıları ve farklı deprem ivme ölçerler kullanılarak, artan viskoz sönümleme sayesinde deprem spektral tepkilerinin azaltılması hususundaki genel kanı haline gelmiştir. **FEMA 222A (1994)** pasif enerji sönümleyicilerinin kullanımı için minimum gerekleri ortaya koymuştur. Tablo 1.3' te artırılmış bina sönümleri için standart yanal yüklerin düzeltme faktörleri listelenmiştir. **FEMA 273 (1997a)** 0,7 sn' nin üstü ve altı spektral periyot aralıkları

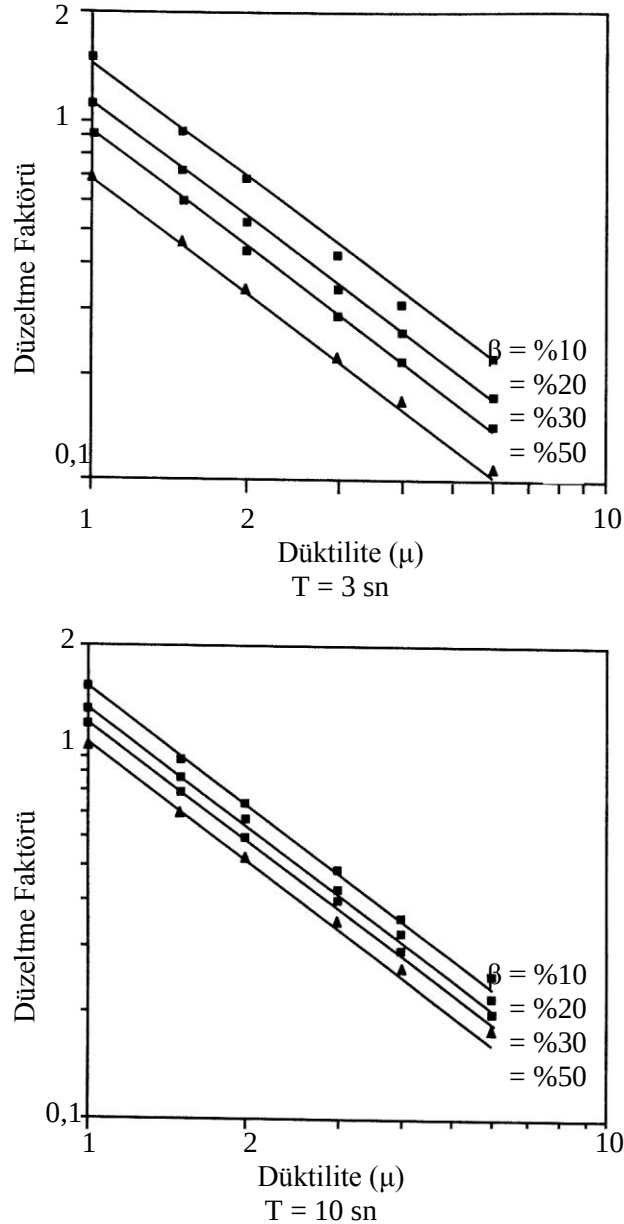
için, spektral azaltma parametrelerini (B_s ve B_l) elde etmiştir. **FEMA 368 (2000)** artan efektif sönüm için minimum dizayn kuvveti gerekliliklerinde izin verilebilir azaltmaları elde etmiştir. Düşük bir eşik periyot değerinin üstünde sabit olan B parametresi sönümle birlikte değişir. Bu değerler yakın bölge normal fay depremlerini içerir şekilde geliştirilmiş ve bu tür depremler için dizaynda aynı düzeltme faktörleri kullanılarak sonuçlandırılmıştır. $1/B_s$ ve $1/B_l$ değerleri **FEMA 273 (1997a)** ve **FEMA 273 (1997b)**' den, $1/B$ değerleri ise **FEMA 368 (2000)**' den alınarak, **FEMA 222A (1994)** değerleri ile birlikte Tablo 1.3' te verilmiş ve Tablo 1.2 ile direk bir karşılaştırma olanağı sunulmuştur.



Şekil 1.12 : pseudo-SV İçin Düzeltme Faktörleri

Ayrıca daha genel bir kanıya varmak için, Amerika' da kaydedilen 102 depreme ait 1053 ivme – zaman (time-history) grafiği esas alınarak istatistiksel çalışma yapılmıştır (**Lin ve Chang, 2003**). Tüm yer hareketleri 25 gal ile 1,6 g arası maks. ivme değerli, 5,5 ile 7,5 magnitudlü, 0,1 ile 180 km arası fay uzaklığı ve **FEMA 368 (2000)**' de A – D zemin koşulları standartlarına uygun olarak seçilmiştir. Seçilen bu 1053 yer hareketinden, 0,01 sn' den 10 sn' ye 500 titreşim periyodu, 0,02' den 0,5' e 6 sönüm oranı derecesi ve 3 tip tepki spektrumu olmak üzere toplam 9.477.000 tepki spektrumu ve sönüm azaltma faktörü hesaplanmıştır. Her periyot ve sönüm oranı için, deplasman, hız, pseudo-hız, ivme ve pseudo-ivme tepki spektrumları için aritmetik ortalama değerleri ve aritmetik ortalama + 1 standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Böylece, deplasmandan türetilen sönüm azaltma faktörleri (B_d),

hızdan türetilen sönüm azaltma faktörleri (B_v) ve ivmeden türetilen sönüm azaltma faktörleri (B_a) belirlenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta ise, yapının sönümü onun inelastik tepkisinden (ör: plastik mafsalları varlığı) kaynaklanıyorsa dizayn kuvveti atalet kuvveti olmalı ve sönüm azaltma faktörü ivme tepkisinden türetilmelidir. Aksi takdirde, yani sönüm ilave enerji sönümleyicilerinden kaynaklanıyorsa dizayn kuvveti yenilenen kuvvet ve sönüm azaltma faktörüde deplasman tepkisinden türetilmelidir. Çok küçük periyotlu ($<0,2$ sn) sistemler hariç, B_d belli bir değere kadar periyottan bağımsız olarak ortaya çıkmıştır. Bu tür sistemler için %10, 20, 30 ve 50 için B_d sırasıyla 0,77, 0,57, 0,46 ve 0,35 değerlerini almıştır.



Şekil 1.13 : Spektral Deplasman İçin Düzeltme Faktörleri

Tablo 1.2 : Viskoz Sönümleme Fonksiyonu Olarak Düzeltme Faktörleri (Wu, 1987)

Sönüm oranı $\beta(\%)$	Yapı periyotları, T (sn)				
	0,1	0,5	Hız	3,0	10,0
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	0,87	0,82	0,81	0,81	0,88
20	0,74	0,64	0,62	0,63	0,77
30	0,67	0,53	0,51	0,52	0,70
50	0,57	0,41	0,37	0,38	0,61

Tablo1.3 : Viskoz Sönümleme Fonksiyonu Olarak Düzeltme Faktörleri

Sönüm oranı	FEMA 222A (1994)	FEMA 273 (1997a)	FEMA 273 (1997a)	FEMA 368 (2000)
$\beta(\%)$		1 / B _s	1 / B _i	1 / B
<2	–	1,25	1,25	1,25
5	1,0	1,0	1,0	1,0
10	0,84	0,77	0,83	0,83
15	0,72	–	–	–
20	0,64	0,56	0,67	0,67
25	0,58	–	–	–
30	0,53	0,43	0,59	0,56
40	–	0,37	0,53	0,48
50	–	0,33	0,50	0,42
60	–	0,33	0,50	0,37
70	–	0,33	0,50	0,33
80	–	0,33	0,50	0,30
90	–	0,33	0,50	0,28
100	–	0,33	0,50	0,25

Yine sönüm oranları artarken B_v değerleri düşüş göstermiştir. %10, 20, 30 ve 50 için B_v sırasıyla 0,77, 0,56, 0,46 ve 0,34 değerlerini almıştır. 2 sn' den küçük periyotlar için, sönüm oranındaki artış B_a 'nın azalmasına neden olmuştur. Bunun ötesinde, B_a artan sönüm oranıyla birlikte artmış ve periyot yeterince büyük değere ulaştığında ise 1' den büyük değerler almıştır. Bu tür sistemler için %10, 20, 30 ve 50 için B_a

sırasıyla 0,78, 0,61, 0,54 ve 0,49 değerlerini almıştır. Tablo 1.4’ de viskoz sönümüm sırasıyla, deplasman, hız ve ivme tepkileri üzerindeki etkisi için sönüm azaltma faktörleri aritmetik ortalama değerler olarak verilmiştir. Bu tablo bize ortalama olarak beklenebilecek değerleri sunduğu için önemlidir. Fakat sonuçlardaki dağılımın derecesini bilmekte o derecede önemlidir. Bu sebeple Tablo 1.5’ te aynı verileri arit.ort. + 1 standart sapmalı olarak sunulmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında görülmüştür ki; **FEMA 368 (2000)** hariç diğer standartlar bu çalışmada elde edilen B_d değerlerine göre daha korumacıdır.

1.2.2.1 Yakın Bölge Depremlerinin Etkisi

SAC çelik moment çerçevesi projesi kapsamında, Kranwinkler ve Seneviratna (1998) 20 yakın bölge deprem ivme ölçeri kullanarak 3 katlı çelik moment çerçeve bina üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada %2,5, %5, %10 ve %20’ lik viskoz sönümleme kullanılmıştır. %5 sönüm değeri 1’ e normalize edilmiş ve 4 sönüm derecesi için bu 20 deprem kaydı ile ortalama tepkilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları Tablo 1.6’ da listelenmiştir. Sonuç olarak; ilave viskoz sönümleme ile üretilen tepki düzeltmesinin kat dereceleri arasındaki değişimi küçüktür ve Tablo 1.2 ve 1.6’ te verilen değerler yakın bölge depremleri için bile güvenilirdir. Dikkat edilmesi faydalı olabilecek bir nokta ise, Tablo 1.2 ve 1.3’ te de görüldüğü gibi sönümde, kritik sönümün %30’ unun üstündeki artışlar tepkide küçük azalmalara neden olur ve bu tür artışlar genelde sönümleyicilerin ekonomik kullanımına fırsat vermez.

1.3 Sönümleyici İlaveli Yapılar İle Geleneksel Yapılar Arasındaki Farklar

Yakın bölge deprem etkileri ile ilgili önceki tartışmalar bir kenara bırakılmış ve yalnızca TSDS’ ler dikkate alınmıştır. Burada çok serbestlik dereceli sistemler (ÇSDS)’ in dinamik analizinin yeniden incelenmesi yapılmamıştır, bu tür bilgiler için **Chopra (1980)** önerilmiştir. Çok katlı yapısal analiz bakış açısıyla, geleneksel yapılarla sönümleyici ilaveli yapıların yapısal özellikleri arasında önemli farklılıklar vardır. Bu tür durumlar için, var olan analiz methodlarının yenilenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bazı potansiyel farklılıklar aşağıda sunulmuştur.

Tablo 1.4 : Deplasman (a), Hız (b) ve İvme (c) Ortalama Sönüm Azaltma Faktörleri

Sönüm		Periyot (sn)											
		0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
a	%2/%5	1,25	1,31	1,30	1,28	1,25	1,23	1,21	1,19	1,17	1,15	1,14	1,12
	%10/%5	0,85	0,77	0,78	0,79	0,80	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
	%15/%5	0,77	0,65	0,66	0,67	0,69	0,69	0,70	0,72	0,74	0,76	0,77	0,78
	%20/%5	0,72	0,57	0,57	0,59	0,61	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,70	0,72
	%25/%5	0,69	0,51	0,51	0,52	0,55	0,56	0,57	0,60	0,62	0,64	0,65	0,68
	%30/%5	0,66	0,46	0,47	0,48	0,51	0,51	0,53	0,56	0,58	0,60	0,61	0,64
	%40/%5	0,61	0,40	0,40	0,41	0,44	0,45	0,46	0,49	0,51	0,54	0,55	0,58
	%50/%5	0,58	0,35	0,35	0,36	0,39	0,40	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51	0,54
b	%2/%5	1,37	1,31	1,27	1,21	1,16	1,14	1,11	1,09	1,07	1,05	1,04	1,03
	%10/%5	0,77	0,77	0,80	0,84	0,87	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,95	0,97
	%15/%5	0,65	0,65	0,69	0,74	0,80	0,82	0,84	0,87	0,90	0,92	0,92	0,94
	%20/%5	0,57	0,57	0,62	0,68	0,74	0,77	0,80	0,84	0,87	0,89	0,90	0,92
	%25/%5	0,52	0,51	0,57	0,63	0,70	0,74	0,77	0,81	0,85	0,87	0,89	0,91
	%30/%5	0,48	0,46	0,52	0,60	0,67	0,71	0,75	0,79	0,83	0,85	0,87	0,90
	%40/%5	0,42	0,39	0,46	0,54	0,62	0,67	0,71	0,76	0,80	0,83	0,85	0,88
	%50/%5	0,37	0,34	0,41	0,50	0,59	0,64	0,68	0,73	0,77	0,80	0,83	0,86
c	%2/%5	1,25	1,31	1,30	1,27	1,23	1,22	1,19	1,16	1,13	1,11	1,09	1,06
	%10/%5	0,85	0,78	0,79	0,81	0,83	0,84	0,86	0,89	0,92	0,95	0,98	1,01
	%15/%5	0,78	0,68	0,69	0,72	0,76	0,78	0,83	0,87	0,93	0,98	1,04	1,10
	%20/%5	0,74	0,61	0,63	0,67	0,74	0,77	0,83	0,91	0,98	1,06	1,14	1,23
	%25/%5	0,71	0,57	0,60	0,65	0,74	0,79	0,87	0,97	1,07	1,16	1,27	1,39
	%30/%5	0,69	0,54	0,58	0,65	0,75	0,82	0,91	1,04	1,16	1,29	1,41	1,56
	%40/%5	0,66	0,50	0,56	0,66	0,80	0,90	1,03	1,20	1,37	1,54	1,72	1,92
	%50/%5	0,64	0,49	0,57	0,70	0,87	1,00	1,16	1,38	1,60	1,82	2,03	2,29

Tablo 1.5 :Deplasman (a), Hız (b) ve İvme (c) Ort.+1 S.S Sönüm Azaltma Faktörleri

Sönüm		Periyot (sn)											
		0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
a	%2/%5	1,33	1,35	1,34	1,33	1,28	1,27	1,26	1,23	1,21	1,20	1,19	1,18
	%10/%5	0,79	0,76	0,76	0,76	0,78	0,78	0,77	0,79	0,81	0,81	0,81	0,81
	%15/%5	0,69	0,63	0,63	0,63	0,66	0,65	0,65	0,67	0,68	0,69	0,69	0,69
	%20/%5	0,63	0,55	0,55	0,55	0,58	0,57	0,57	0,59	0,60	0,61	0,61	0,61
	%25/%5	0,58	0,49	0,49	0,48	0,52	0,51	0,51	0,53	0,54	0,56	0,55	0,56
	%30/%5	0,55	0,45	0,44	0,44	0,47	0,46	0,46	0,48	0,50	0,51	0,51	0,51
	%40/%5	0,50	0,38	0,38	0,37	0,41	0,40	0,39	0,42	0,43	0,44	0,44	0,44
	%50/%5	0,46	0,34	0,33	0,32	0,36	0,35	0,34	0,37	0,39	0,39	0,39	0,40
b	%2/%5	1,41	1,36	1,32	1,29	1,23	1,21	1,20	1,15	1,13	1,11	1,10	1,09
	%10/%5	0,74	0,75	0,77	0,79	0,83	0,83	0,83	0,86	0,88	0,89	0,89	0,91
	%15/%5	0,61	0,62	0,64	0,67	0,73	0,74	0,74	0,77	0,81	0,83	0,83	0,86
	%20/%5	0,53	0,53	0,56	0,60	0,66	0,67	0,68	0,72	0,76	0,79	0,79	0,82
	%25/%5	0,47	0,47	0,50	0,54	0,61	0,63	0,64	0,68	0,72	0,75	0,76	0,79
	%30/%5	0,43	0,42	0,46	0,50	0,58	0,59	0,61	0,65	0,69	0,73	0,74	0,77
	%40/%5	0,36	0,35	0,39	0,44	0,52	0,54	0,56	0,61	0,65	0,68	0,70	0,73
	%50/%5	0,32	0,30	0,35	0,39	0,47	0,50	0,53	0,57	0,62	0,65	0,67	0,71
c	%2/%5	1,33	1,34	1,33	1,32	1,27	1,27	1,25	1,21	1,20	1,19	1,17	1,15
	%10/%5	0,80	0,77	0,77	0,77	0,80	0,80	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87
	%15/%5	0,71	0,66	0,66	0,66	0,70	0,70	0,71	0,74	0,77	0,79	0,81	0,82
	%20/%5	0,65	0,59	0,59	0,60	0,66	0,66	0,67	0,71	0,75	0,78	0,80	0,83
	%25/%5	0,61	0,54	0,55	0,57	0,63	0,64	0,65	0,71	0,76	0,80	0,82	0,86
	%30/%5	0,58	0,51	0,52	0,54	0,62	0,63	0,65	0,73	0,79	0,84	0,87	0,91
	%40/%5	0,55	0,46	0,50	0,53	0,63	0,65	0,68	0,78	0,87	0,94	0,98	1,05
	%50/%5	0,52	0,44	0,48	0,53	0,65	0,69	0,73	0,86	0,97	1,06	1,12	1,21

Tablo 1.6 : Üç Katlı Moment Çerçevesi İçin Viskoz Sönümün Fonksiyonu Olarak Ort. Kat Öteleme Azaltmaları (Krawinkler ve Seneviratna, 1998)

Sönüm Oranı				
β (%)	Kat 1	Kat 2	Kat 3	Ortalama
2	1,109	1,086	1,114	1,103
5	1,0	1,0	1,0	1,0
10	0,857	0,875	0,839	0,857
20	0,667	0,699	0,639	0,668

1.3.1 Sönümlemedeki Belirgin Artışlar

Sönümleyici ilaveli yapılar geleneksel yapılardan daha yüksek modal sönüm oranları ortaya koyarlar. Bu farklılık, sönüm oranının kritik değere yaklaştığı veya aştığı daha yüksek modlarda özellikle belirgindir. Bu nedenle, sönüm ilaveli yapının hareket denklemindeki sönüm terimi, yapının modal özelliklerinin belirlenmesinde önemli hale gelir. Ayrıca, ilave edilen sönümleyicilerin yapıya etkisi yalnızca sönümlemedeki önemli artışlar değil, aynı zamanda modal sönümlemenin yeniden dağılımını getirir. Bazı modal tepki bileşenlerinin geleneksel yapıların toplam tepkisine olan katkısı, sönümleyici ilavesinden sonra önemli hale gelmektedir.

1.3.2 Orantısız Sönümleme

Analitik uygunluk için, orantısız sönümleme genellikle geleneksel yapıların analizinde kabul edilir. Bu kabul modal süperpozisyon sayesinde yapısal analizi kolaylaştırıcı rol oynar. Yapıya sönümleyici ilavesinin sonucu, seçilen cihazın tipi ve montajının yapıldığı yere bağlıdır. Eğer monte edilen sönümleyici orantılı ise – ilave rijitlikli yapının sönümsüz mod şekli, sönümleyici cihaz sebebiyle yapının sönüm matrisini diagonalize ederse- yapı orantılı sönümlemeye sahip olur. Bu durumda, tipik modal analiz yaklaşımı iyi çalışır. Sönümlü sistemin titreşiminin normal modlarının sönümsüz sisteminkilerle hemen hemen aynı olması, modal özelliklerin hesabı için rutin bir işlem uygulanmasını sağlar.

Orantılı sönümleme kabulüne rağmen, ilave sönümleyicilerin karakteristiklerinin yapının kütle ve yapısal rijitliğindeki değişimlere eşlenmesi pratik olmayabileceği için, bu kabul ilave sönümleyici yapılar için genellikle geçerli değildir. Bu nedenle bazı durumlarda yapıda sönümleyici ilavesinin belirli katlarla sınırlı kalması arzu

edilir. Böylece, yapıda sönümlleme özelliklerinin dağılımının orantısız olması muhtemeldir. Bu durumda, bilinen analiz modelindeki değişiklikler dikkate alınmalıdır.

Basitleştirilmiş analiz ve dizayn methodları Bölüm 1.4’ te tartışılmıştır. Sönümleyici ilaveli yapının performansının ve tepkisinin nitelendirilme olasılığı, orantısız hareketin derecesine bağlıdır.

1.3.3 Sönümlleme Cihazının Doğrusal Olmaması

Geleneksel bir yapı verilen yükleme şartları altında, akma sebebiyle doğrusal veya doğrusal olmayan davranış gösterirse, sönümleyici ilave edilmiş yapılar, yerel deplasman ve hızlarda sönümleyici dinamiğinin genellikle doğrusal olmaması sebebiyle, genellikle doğrusal olmayan davranış sergilerler. Bu olgu katı yapısal analiz methodlarını oldukça karmaşıktırır. Gerekliği takdirde, titiz bir doğrusal olmayan analiz yapılabilse de, final dizaynını doğrulamak için yeterli derecede doğruluğu olan, basit yaklaşık methodlar ilk dizaynı için gerekli, son dizayn ise arzu edilirdir.

1.4 Sönümleyici İlaveli Yapıların Dizayn Ve Analizi

Sönümleyici monte edilmiş sistemler için sönümleyici seçimi ve dizaynının mümkün olduğunca kolay olması önemlidir. Seçilen dizaynın performans hedeflerini başarılı bir şekilde yakalaması basit ve kompleks analitik yöntemlerin kullanılmasını gerektirir. Bölüm 3’ te dört yöntem tasarlanmış ve en kompleksinden başlayarak en basitine doğru sunulmuştur. İlk ve en kompleks olan analizde, yapısal elemanların ve sönümlleme cihazlarının doğrusal olmaması prensibiyle modellenmesi istenmektedir. İkinci ve üçüncü yöntemler, hem yapısal elemanlarının doğrusal olmayan, cihazların doğrusal; hem de yapısal elemanlarının doğrusal, cihazlarının ise doğrusal olmaması prensibiyle modellenmesi istenmektedir. Son ve en basit yöntemde ise, yapısal elemanlarının ve cihazların doğrusal modelleri kullanılır.

2. SÖNÜMLEYİCİLERİN TANIMLANMASI VE KULLANILABİLİRLİĞİ

Bu bölüm, sönümleyicilerin mekanik özellikleri ve matematiksel modellenmesi konusunu inceler ve yapısal kullanılabilirliği hakkında bazı genel yorumları içerir. Bölüm 1’ de gösterilmiş olan, eş doğrusal rijitlik ve viskoz karakteristikleri nedeniyle karmaşık ve çoğunlukla doğrusal olmayan davranış gösteren sönümleyicilerin yerleştirilmesi genel kavramı, sönümleyici ilaveli yapıların ön analiz ve dizaynı için büyük faydalar sağlamaktadır. Bu doğrusal yaklaşım bu bölümde vurgulanmaktadır.

2.1 Metalik Akma Ve Sürtünme Cihazları

Bu cihazlar, metalik malzemenin akması sayesinde veya kayan bitişik yüzeyler arasındaki sürtünme sayesinde enerji sönümler. İki cihazda burada ele alınmıştır; çünkü, Bölüm 1.1’ de açıklandığı üzere, enerji sönümlerinin, cihazdaki ilk göreceli deplasmana bağlı olması ve göreceli hıza duyarlı olmaması nedeniyle, histeritik cihazlar olarak dikkate alınırlar. Böylece yapı mühendisler tarafından iyi bilinen histeritik kuvvet-deplasman ilişkisi ile modellenenbilirler.

Doğrusal olmayan kuvvet-deplasman ilişkilerini sunmak için kullanılan bazı tipik modeller; basit elastoplastik model, bilineer model ve polinom model olmak üzere **Jennings (1964)** tarafından tanımlanmıştır. Bu modeller Şekil 2.1’ de gösterilmiş ve aşağıda ele alınmıştır. Bu modellerin periyodik histeritik karakterleri, adını yapıda 0’ dan istenen kuvvet veya deplasman değerine kadar artan kuvvet hareketi ile elde edilen doğrusal kuvvet sapma eğrisinden alan, çatı eğrileri ile temellendirilirler. Periyodik histeritik şekli, seçilen dönüş deplasmanında bir başlangıç noktalı çatı eğrisinin boyutunun iki katıdır (Şekil 2.2). Histeritik eğrinin bir devirde kapsadığı alan, her devir için sönümlenen enerjidir. Eş viskoz sönümleme, bir viskoz sönümleyici devirindeki alana eşit histeritik eğrideki alanın oluşturulmasıyla elde edilir. Bu, takibeden tartışmada, kuvvet-deplasman şekillerinin karakteristiklerinin herbiri için yapılır.

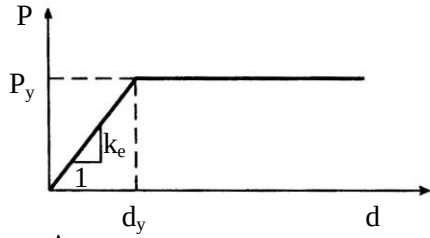
2.1.1 Elastoplastik Form

Başlangıç elastik rijitliği deneysel akma kuvveti ve akma deplasmanından aşağıdaki gibi belirlenir.

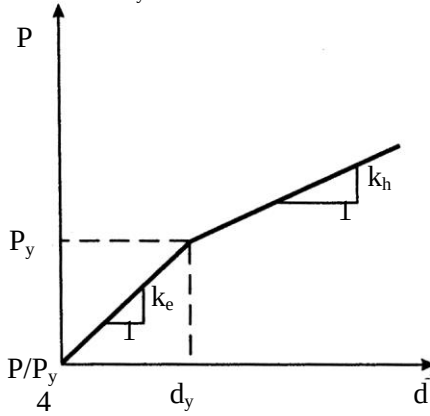
$$k_e = p_y / d_y \quad (2.1)$$

Cihaz deplasmanının d_y 'yi aştığı her durumda kuvvet p_y 'ye eşit olur. Her devir için enerji sönümlemesi, histeritik spiralin (p_y, d_o) ile $(-p_y, -d_o)$ arasındaki alanına eşittir.

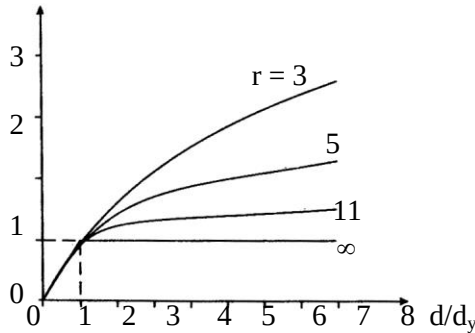
$$E = 4 p_y (d_o - d_y), \quad d_o \geq d_y \quad (2.2)$$



Elastoplastik Model



Bilineer Model



Polinom Model

Şekil 2.1 : Doğrusal Olmayan Kuvvet-Deplasman Modelleri (Jennigs, 1964)

2.1.2 Bilineer Form

Elastoplastik durumda ki gibi olduğundan, başlangıç rijitliği (2.1)' de verilmiştir. Tipik olarak gerilme pekleşmesi eğimi adı verilen ikinci eğim k_h rijitliği ile ifade edilir. Gerilme pekleşmesi rijitliğinin devirsel enerji sönümü ve cihaz yenilenen kuvvet üzerindeki tesirine dikkat edilmelidir. Bunun önemi ilerleyen tartışmalarda ortaya çıkacaktır. Bidoğrusal enerji sönümü ilişkisi (2.3)' de ifade edilmiştir.

$$E = 4(k_e - k_h)d_y(d_0 - d_y), \quad d_0 \geq d_y \quad (2.3)$$

Bunun anlamı, deplasman d_y ' yi aştığında kuvvet artmakta ve gerilme pekleşmesi rijitliği arttıkça her devirde sönümlenen enerji azalmaktadır.

2.1.3 Polinom Form

Bu durumdaki kuvvet-deplasman ilişkisi (2.4)' te ifade edilmiştir.

$$d / d_y = p / p_y + \alpha (p / p_y)^r \quad (2.4)$$

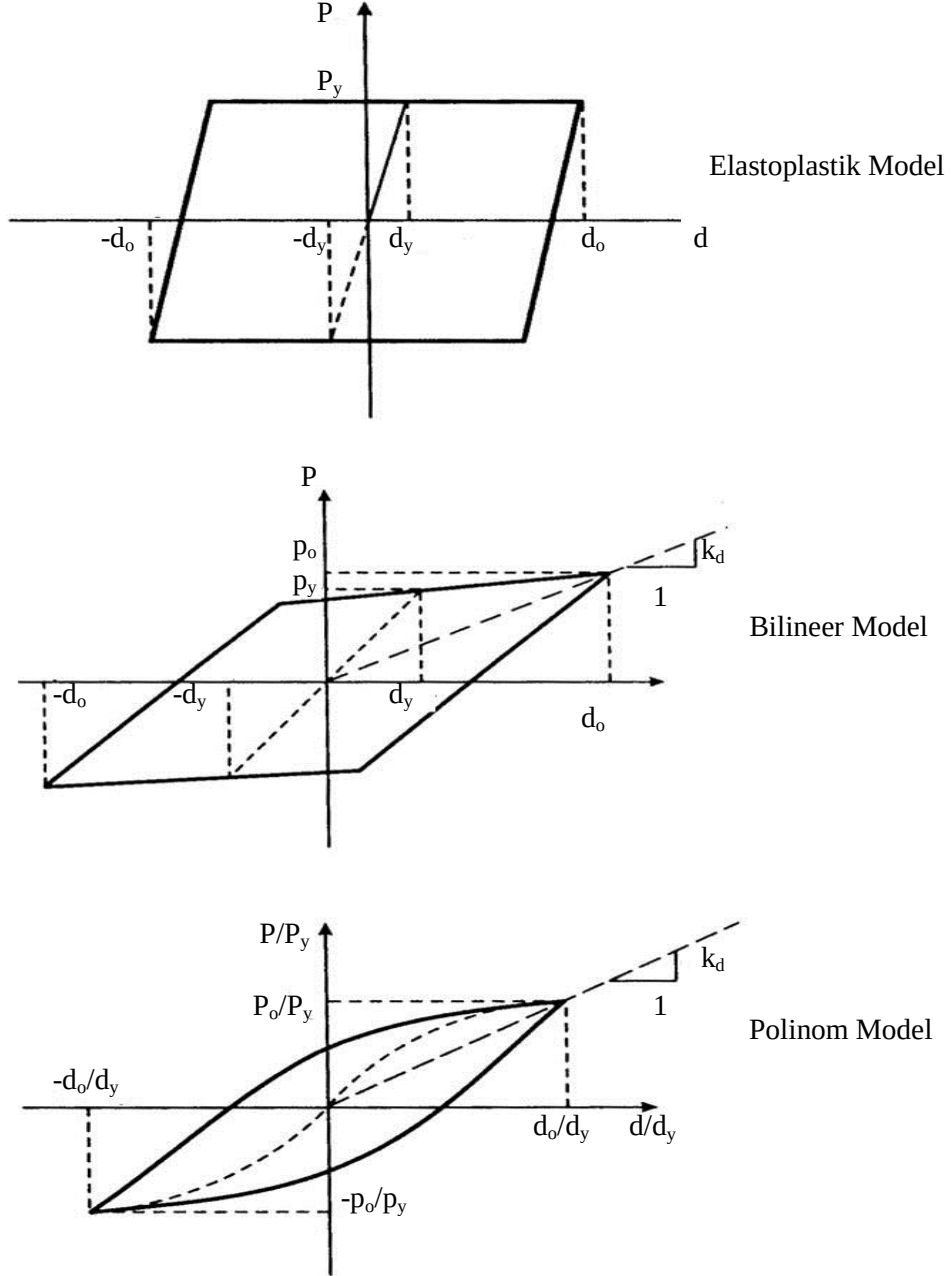
Burada, d , cihazın deplasmanı, d_y , karakteristik deplasman, p , cihaza uygulanan kuvvet, p_y , karakteristik kuvvet, α , pozitif bir sabit ve r , 1' den büyük tek tam sayıdır. Bu denklem r ' nin çift değerleri içinde yeniden yazılabilir, fakat var olan konuda bu gereksizdir. Ters dönen eğri, çatı eğrisinin ikizidir ve devirsel kuvvet-deplasman ilişkilerini tanımlarlar. Periyodik histeritik eğride (p_0, d_0) ile $(-p_0, -d_0)$ arasında kalan alan, yani modelin her devir için enerji sönümlemesi (2.5) ile ifade edilmiştir.

$$E = 4d_y p_y [(r - 1) / (r + 1)] (p_0 / p_y)^{r+1} \quad (2.5)$$

d_y , p_y , α ve r parametreleri, belli bir cihazın test verileri kullanılarak belirlenir.

Şekil 2.3, metalik akma ve sürtünme cihazlarının tipik periyodik histeritik şekillerini göstermektedir. Bu şekiller, cihazların mekanik özellikleri ve deneysel veriler ışığında oluşturulurlar. Bilineer ve polinom form metalik akma cihazının histeritik davranışı yaklaşım sağlamak için kullanılır ki; bu dikkat edilmesi gereken bir husustur. Bir sürtünme cihazı için, $d_y = 0$ koşulunu sağlayan elastoplastik model, oldukça uygundur. Şekil 2.3' ten aynı zamanda, hem metalik akma hem de sürtünme

cihazları için, maks. cihaz deplasmanındaki histeritik eğriler değişik uyarı frekanslarında esasen değişmeden kalır. Böylece, bu cihazların orandan bağımsız özellikleri açığa çıkmış olur.



Şekil 2.2 : Periyodik Doğrusal Olmayan Kuvvet-Deplasman Modelleri

2.1.4 Eş Viskoz Sönümleme Ve Rijitlik

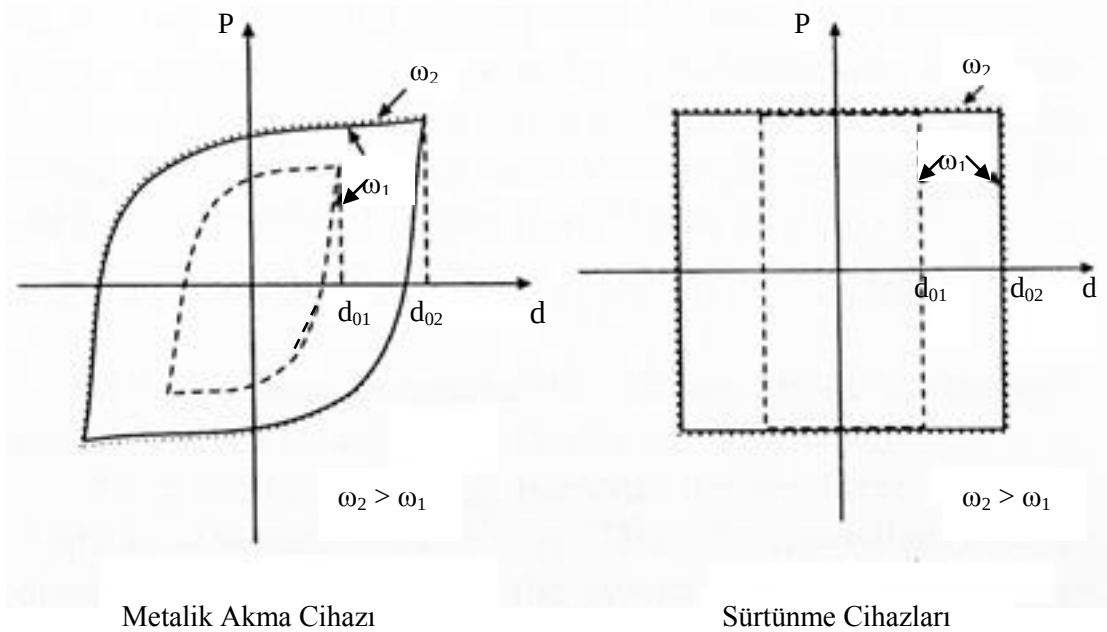
Hız-orantılı viskoz sönümleyicili basit bir tek katlı elastik yapı ele alalım. Bilinen hareket denklemi (2.6)'da ifade edilmiştir.

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + k x = -m \ddot{x}_g \quad (2.6)$$

Burada, $\ddot{x}$, $\dot{x}$ ve x , sırasıyla temele göre yatay yapısal ivme, hız ve deplasman; $\ddot{x}_g$, deprem sebebiyle oluşan temelin ivmesi; m , c ve k sırasıyla, yapının kütlesi, viskoz sönümleme parametresi ve rijitliğidir. $c \dot{x}$ ve kx terimleri Şekil 2.4’ de ifade edilmiştir. $c \dot{x}$ ve kx yapısal reaktif kuvvet olarak tanımlanır. Dikkat edilmesi gereken nokta, maks. kuvvet, $p_{\max}$ ile maks. deplasman, $x_{\max}$ aynı zamanda oluşmaz. Bu farkların sonucu bir sonraki bölümde ele alınacaktır. Her devir için sönümlenen enerji miktarı, elipsin alanı olarak (2.7)’ de ki gibi tanımlanır.

$$E = (2\pi^2 c x_0^2) / T \quad (2.7)$$

Burada, x_0 , devirsel deplasmanın maks. genliği; T , devirsel hareketin periyodudur.



Şekil 2.3 : Metalik Akma Ve Sürtünme Cihazlarının Tipik Periyodik Histeritik Şekilleri (ω_1, ω_2 : Titreşim Frekansları)

Elastoplastik model için, E' nin viskoz- E' ye eşit olarak belirlenmesi (2.8) ile ifade edilen bir eş viskoz sönüm parametresinin ortaya çıkarır (**Hanson ve Soong, 2001**).

$$c_d = 4 p_y (d_0 - d_y) T / (2\pi^2 d_0^2), \quad d_0 \geq d_y \quad (2.8)$$

Burada d_0 , maks. yapısal deplasman x_0 ' a uygun, maks. cihaz deplasmanıdır. Benzer şekilde bilineer model için eş viskoz sönüm parametresi (2.9) ile ifade edilmiştir.

$$c_d = 4(k_e - k_h) d_y (d_0 - d_y) T / (2\pi^2 d_0^2), \quad d_0 \geq d_y \quad (2.9)$$

Görülebildiği gibi, eş viskoz sönümleme maks. devirsel deplasman, d_0 , ile ters orantılı ve T devirsel tepki periyodu ile de doğru orantılıdır. Eş viskoz sönümleme, elastoplastik modelde, cihazın akma kuvveti, p_y , ile doğru orantılı; bilineer modelde ise, elastik ve gerilme pekleşmesi rijitliklerinin farkının akma deplasmanının, d_y ile çarpımı ile doğru orantılıdır. Eş rijitlik, maks. cihaz deplasmanı, d_0 , ' ndaki, sekant rijitliği olarak alınabilir. Bilineer model için, eş rijitlik, Şekil 2.2' den görülebildiği gibi, (2.10)' ile ifade edilmiştir.

$$k_d = p_0 / d_0 = [k_e d_y + k_h (d_0 - d_y)] / d_0, \quad d_0 \geq d_y \quad (2.10)$$

Denklem (2.10)' da $k_h = 0$ kullanılarak, elastoplastik model için eş rijitliğin elde edilebileceği açıktır.

Sürtünme cihazı için p_y kayma kuvveti haline gelir ve $d_y \rightarrow 0$ ve $k_e \rightarrow \infty$ iken $d_y k_e = p_y$ olur. Bu nedenle, eş viskoz sönümleme cihaz kayma kuvveti ve devirsel periyotla doğru, maks. devirsel deplasman, d_0 , ile ters orantılıdır. Bu durumda, kayma oluştuğunda $k_d = 0$ olur.

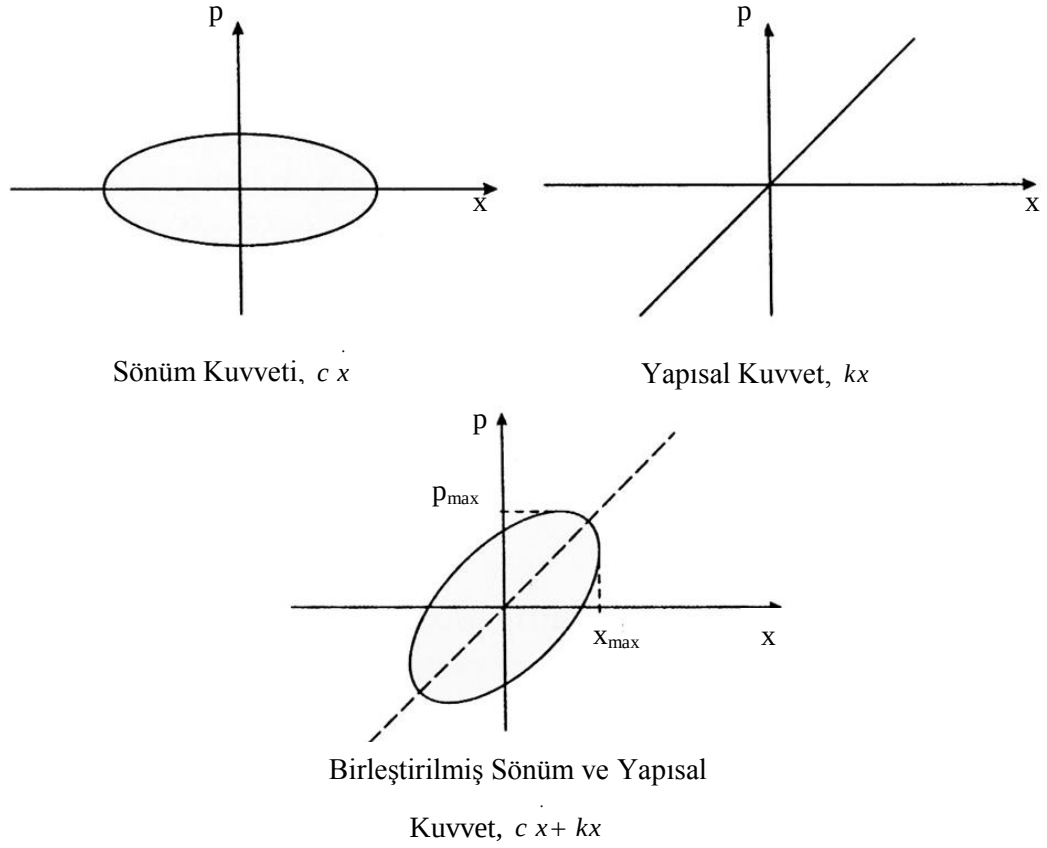
Benzer bir biçimde, polinom modelle sunulan cihazın eş viskoz sönümleme ve rijitliği (2.11) ve (2.12) gibi olur.

$$c_d = 4 d_y p_y T [(r - 1)(r + 1)] (p_0 / p_y)^{r+1} / (2\pi^2 d_0^2) \quad (2.11)$$

$$k_d = p_0 / d_0 \quad (2.12)$$

p_0 değeri (2.13) denkleminde elde edilir.

$$d_0 / d_y = (p_0 / p_y) + \alpha (p_0 / p_y)^r \quad (2.13)$$



Şekil 2.4 : Sönüm Ve Yapısal Yenilenen Kuvvetler

Her bir histeritik cihaz için eş viskoz sönümün belirlenebilmesi önemlidir. Bir sonraki konuda ele alınacak olan çok katlı yapılar için modal sönümün belirlenmesi, her kat için bağımsız eş sönüm tahminlerini gerektirir. Bu enerji sönümleme cihazları çerçeve eleman boyutlarına göre küçük ebatlı olabilir. Eğer bu doğru ise, yapısal eleman akmaya başladığında, enerji sönümlemesi cihazın sönümlemesini bir hayli aşmıştır. Diğer bir ifadeyle, histeritik cihazlar aşırı derecede etkili olabilir ve yapı akana kadar, eş viskoz sönümleme olarak değerlendirilebilirler. Histeritik cihazlar için, enerji sönümü yapısal elemanlara atfedilir ve histeritik cihazların enerji sönümlemesi, bir tek enerji sönüm sistemiyle birlikte dikkate alınmalıdır. Fakat viskoz enerji sönümü, orana bağlı sönümleme, sistemin inelastik orandan bağımsız enerji sönümlemesine bir ilavedir.

2.2 VE Katı Cihazlar

Yapı elemanlarında kullanılan VE malzemeleri, kayma deformasyonuna katıldığında enerji sönümleyen, tipik kopolimer veya elastomerik maddelerdir. Tipik bir VE cihaz, VE materyallerinin bir veya daha fazla tabakasının çelik levhalara bağlanmasından ibarettir. Bu cihazların en basit şekli Şekil 1.6’ da görülmektedir. Cihaz, göreceli kat deplasmanı cihazda kayma deformasyonuna neden olduğu için, yapıya monte edilir. VE materyallerinin mekanik özellikleri sıcaklık ve frekansa bağlıdır. Belirli bir uygulama için bütün frekans özelliklerinin teşkilinde, yeterli derecede doğruluk elde etmek için, cihaz hareketinin beklenen frekansı hemen hemen doğru olarak kabul edilebilir. Sönümlenen enerji ısıyı değiştirdiğinden, cihaz sıcaklığı, başlangıç ortam sıcaklığına göre artış gösterecektir. Kullanılan cihaza göre beklenen sıcaklık değişim aralığı, uygulamada cihazın dizaynında hesaba katılmalıdır.

VE cihazlarının dizaynında kullanılan başlıca VE malzeme özellikleri; G' , kayma depolama modülü (malzemenin elastik kayma rijitliğini elde eder); G'' , kayma kaybı modülü (malzemenin hız bağımlı veya viskoz rijitliğini verir). Malzeme gerilme-deformasyon ilişkileri (2.14) ile ifade edilmiştir.

$$\tau(t) = G' \gamma(t) \pm G'' \dot{\gamma}(t) / \omega \quad (2.14)$$

Bu ifadede, $\tau(t)$, zamanın fonksiyonu olarak kayma gerilmesi; $\gamma(t)$, zamanın fonksiyonu olarak kayma deformasyonu; $\dot{\gamma}(t)$, zamanın fonksiyonu olarak kayma deformasyonunu değişim oranı (kayma hızı); ω , periyodik dairesel frekans (rad/sn). Bu ilişki Şekil 2.5 ‘da şekillendirilmiştir. Gerilme-deformasyon ilişkisinin, 0’ dan farklı eğime sahip olan bir elips olduğu açıktır. Eğim, G' terimi ile, elipsin alanı ise G'' terimi ile ilişkilidir. Böylece, VE materyalleri ve viskoz sönümleyicilerin enerji sönümlemeleri arasında basit bir ilişki kurulmuş olur. Şekil 2.5 periyodik genlik ve frekanstaki veya oran bağımlılıklarını gösterir.

A alanlı ve h kalınlıklı, iki levha arasında bağlanmış bir VE materyal tabakası düşünülür. Cihazın eş veya efektif rijitliği (2.15)’ de eş veya efektif viskoz sönümlemesi ise (2.16)’ da ifade edilmiştir.

$$k_d = AG'(\omega) / h \quad (2.15)$$

$$c_d = AG''(\omega) / \omega h \quad (2.16)$$

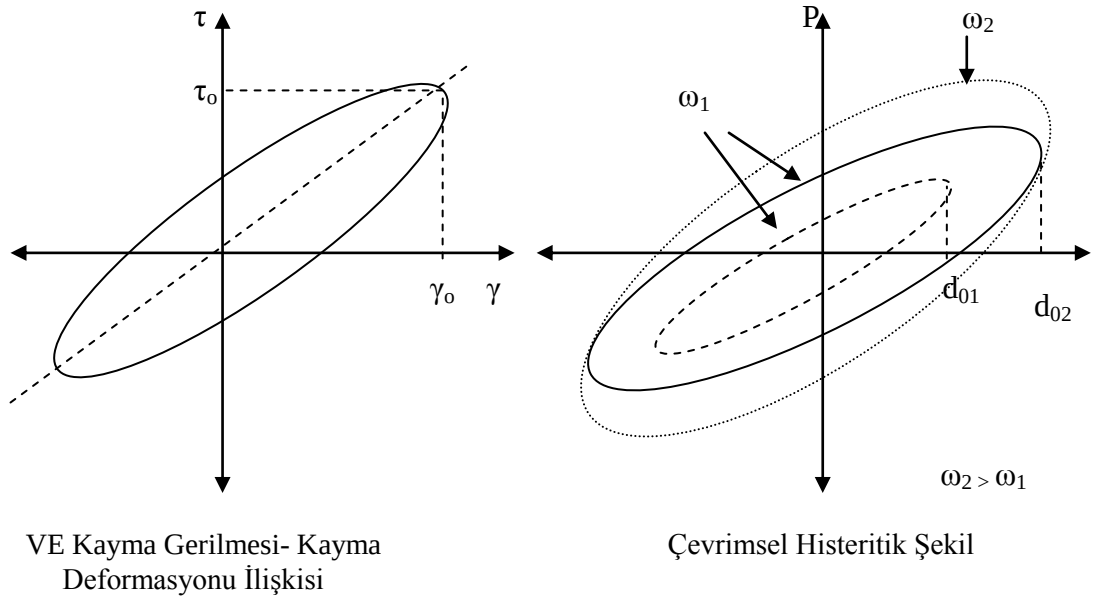
Kayma kayıp modülünün kayma depolama modülüne oranı, η , kayıp faktörünü tanımlamak için uygundur.

$$\eta = G''(\omega) / G'(\omega) \quad (2.17)$$

Deneysel veriler göstermiştir ki; $G'(\omega)$ ve $G''(\omega)$, uyarı frekansının fonksiyonu olmalarına rağmen, η kayıp faktörü genellikle ω ' ye duyarlı değildirler (**Soong ve Dargush, 1997**). Kayıp faktörü kullanıldığında, efektif viskoz sönümleme aşağıdaki denklemle açıklanabilir.

$$c_d = k_d \eta / \omega \quad (2.18)$$

Verilen bir ω frekansında, sönüm parametrelerinin rijitlikle orantılılıkları görülmektedir.



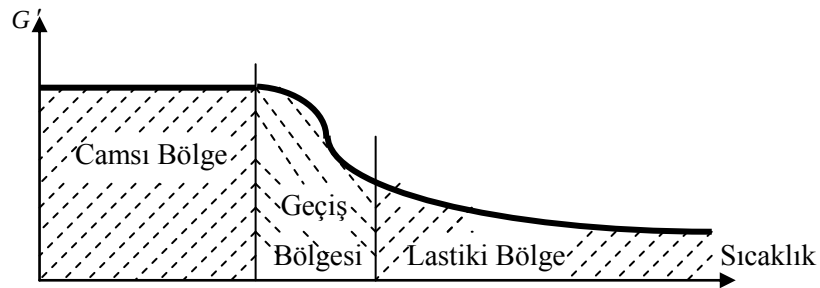
Şekil 2.5 : VE Katı Cihazın Tipik Histeritik Şekilleri

2.2.1 Frekans, Sıcaklık Ve Gerilim Genliği Etkileri

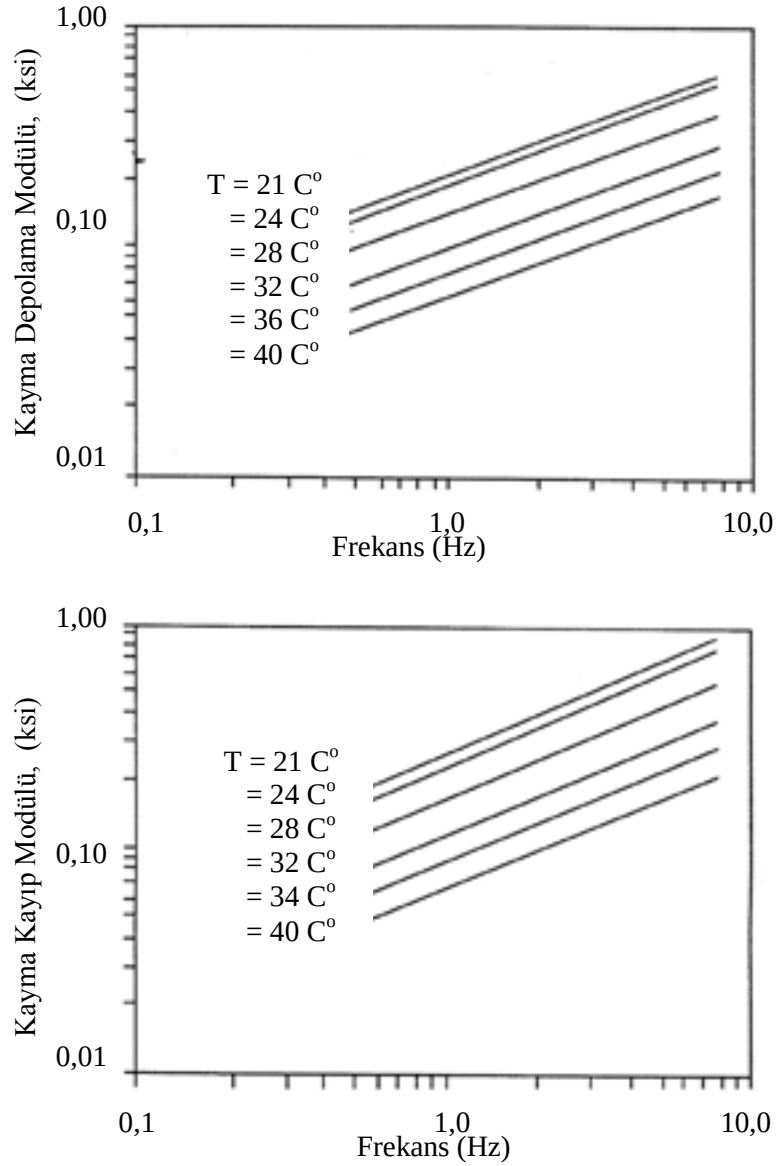
G' ve G'' 'deki değişimlerin, devirsel frekansa uyumlu log-log ordinatlı düzlemde doğrulara tekabül ettiği gözlenmiştir. Böylece, verilen sıcaklıkta, bu log-log doğru ilişkisini tanımlamak için, farklı frekanslardaki sadece iki teste ihtiyaç duyulur.

VE malzemenin özelliklerinin düşük sıcaklıkta camsı davranıştan, yüksek sıcaklıkta lastiki davranışa olan değişimi Şekil 2.6' da gösterilmiştir. En yüksek kayıp faktörlü materyaller, camsı davranış sıcaklığından lastiki davranış sıcaklığına değişen, en küçük ısı geçiş aralığına sahiptir ve en yüksek kayıp faktörü, bu aralığın ortasına yakın bir noktada gerçekleşir. Malzeme bilimi, VE malzemeleri araştırmaları ile, operasyon sırasında, malzeme sıcaklığındaki değişim ve ortam sıcaklığının etkisini tanımlamak için bir çok yaklaşım geliştirmişlerdir. Genel olarak, sıcaklık etkisi ve frekans etkisi, bu iki etkiyi de karakterize edebilen basit bir log-log düzlem üzerinde birleştirilebilir. Şekil 2.7' de malzeme sıcaklığı ve frekans değişimleri gösterilmektedir. Bu tanımlama, VE malzemelerinin frekansa bağımlılıklarının temellendirilebilmesi için basit bir yol ortaya koyar (Soong ve Dargush, 1997).

VE malzemelerinin büyük gerilmelere maruz kaldığında doğrusal olmayan davranış göstereceği dikkate alınmıştır. %125 kadar büyüklükteki tek genlikli periyodik gerilimlerin esasen doğrusal olduğu bulunmuş, mekanik enerjiden ısıya dönüşüm nedeniyle sıcaklık artışı dikkate alınmıştır. Bu gözlem, sıcaklık artışı hesaba katıldığında, doğrusal özelliklerin büyük gerilim davranışlarının tahmini için kullanılabileceğini önermektedir. Cihaz malzemesi başlangıç sıcaklığına döndüğünde, malzeme özellikleride başlangıç özelliklerine döner.



Şekil 2.6 : VE Kayma Depolama Modülü Sıcaklık İlişkisi



Şekil 2.7 : Kayma Depolama Ve Kayma Kayıp Modülleri İçin Basitleştirilmiş İlişkiler (Shen ve Soong, 1995)

2.3 Viskoz Sıvı (Akışkan) Cihazlar

Akışkanlar aynı zamanda etkili bir biçimde enerji sönmölemek için kullanılabilirler. Yapısal uygulamalar için, akışkan hareketlerine göre teşkil edilmiş, bir kaç enerji sönmö cihazı geliştirilmiştir. Örneğin, viskoz sönmöleme duvarları Japonya’ da binalar üzerinde uygulanmaktadır. Bu cihazlar enerjiyi, içinde bulundurdukları sıvının kayma hareketi sayesinde sönmölerler. Diğer bir cihaz ise enerjiyi sadece içinde bulunan sıvının lokal deformasyonu ile değil, aynı zamanda sıvının küçük deliklerden geçmesi için zorlanması sayesinde sönmölerler.

Bu tür delikli (orificed) sönümleyiciler çoğunlukla Amerika’ da kullanılmaktadır. Şimdiki tartışmamızın odaklanacağıda bu tip cihazlardır.

Tipik çubuk dizaynı delikli sıvı sönümleyiciler esasen askeri ve endüstriyel amaçla geliştirilmişlerdir. Şekil 1.7’ de bu tür bir cihaz görülmektedir. Bu silindirik cihaz piston kolu ile akmaya zorlanan sıkıştırılmaz sikon yağ barındırmaktadır. Piston başı, sıcaklık değişimini telafi etmek için bir pasif bimetalik termostatlı sıvı kontrol delikli dizayna sahiptir. Kapalı muhafaza için yüksek derecede güçlendirilmiş contalara ihtiyaç duyulur. Deliğin şekli değiştirilirse, viskoz sıvı cihazlar bir çıkış kuvveti elde etmek için kullanılabilir. (2.19)’ da bu kuvvet ifade edilmiştir.

$$p(t) = c_v(\omega) \left| \dot{d} \right|^\alpha \text{sgn}(\dot{d}) \quad (2.19)$$

Burada, $c_v(\omega)$ yaklaşık olarak 4 Hz’ in altında sabit tutulan genelleştirilmiş sönüm parametresi ve α ‘nın 0,2 ile 2,0 arasında değer alır. $\alpha = 1$ ise cihaz doğrusal, aksi takdirde doğrusal olmayan davranış gösterir. α , 0,5 gibi küçük değerlerde, yüksek hızlı şokları azaltmada etkili olurken, $\alpha \equiv 1$ genellikle yapısal uygulamalarda rüzgar ve depreme karşı kullanılır.

Viskoz sıvı sönümleyicilerin kuvvet-deplasman eğirileri Şekil 2.8’ de gösterilmiştir. Bu şekil aynı zamanda onların devirsel genlik ve frekansla olan bağlarını gösterir. Cihazın eş rijitliği, yaklaşık 4 Hz’ in altındaki frekans değerlerinde ihmal edilebilir. Eş sönüm sabiti, c_d , aşağıda görüldüğü gibi oluşturulabilir. Her devir için enerji sönümü (2.20) ile ifade edilmiştir.

$$E = 2\pi^2 c_d d_0^2 / T = \pi \omega c_d d_0^2 \quad (2.20)$$

Burada, d_0 maks. cihaz deplasmanıdır. Viskoz sönümleyici için (2.21)’ de **Soong ve Constantinou (1994)** tarafından verilen enerji sönümü denklemi görülmektedir.

$$E = \lambda c_v(\omega) d_0^{1+\alpha} \omega^\alpha = \lambda p_0 d_0 \quad (2.21)$$

Burada,

$$\lambda = 4(2)^\alpha \frac{\Gamma^2(1 + \alpha / 2)}{\Gamma(2 + \alpha)} \quad (2.22)$$

Denklem (2.21)' de p_0 0 deplasmandaki kuvvettir. Denklem (2.22)' deki Γ gama fonksiyonu (2.23) ve (2.24) ile ifade edilmiştir.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} u^{x-1} e^{-u} du \quad (2.23)$$

ve x tam sayı ise;

$$\Gamma(x) = (x-1)! \quad (2.24)$$

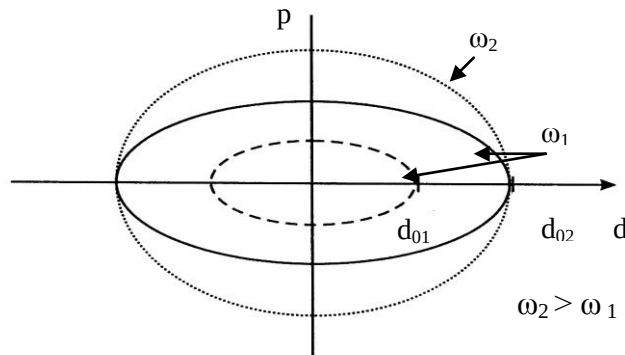
Denklem (2.20) ve (2.21) c_d eş sönümlenme parametresini yazmak için kullanılabilir.

$$c_d = \lambda c_v(\omega) \omega^{\alpha-1} d_0^{\alpha-1} / \pi \quad (2.25)$$

Bu ifade $\alpha = 1$ olduğunda (2.26) ifadesine kısaltılabilir.

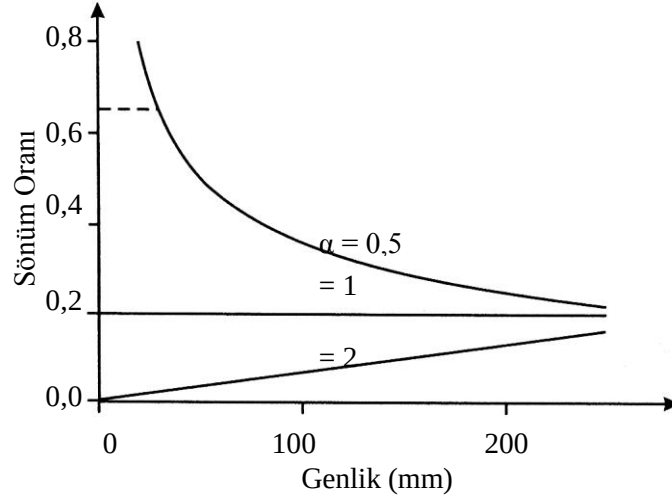
$$c_d = c_v(\omega) \quad (2.26)$$

(2.25)' ten görüldüğü gibi, eş sönümlenme frekans kadar hareketin genliğine bağlıdır. $\alpha < 1$ için, sönüm parametresi, artan hareket genliği ile birlikte, azalır. Doğrusal cihazlar ($\alpha = 1$) için sönüm parametresi hareket genliğinden bağımsız olmasına karşın, $\alpha > 1$ için, sönüm parametresi, artan hareket genliğiyle birlikte, artar. Şekil (2.9)' da bu davranış gösterilmiştir. Bu şekilde genlik 0' a yöneldiğinden $\alpha = 0,5$ ' lik sönüm parametresi sonsuza yaklaşmaktadır. Bu davranış gerçekçi değildir. Gerçekte cihazlar düşük hızlarda doğrusal davranış gösterirler ve bu yüzden sönüm derecesi şekilde görüldüğü gibi sabit bir değer alır.



Şekil 2.8 : Kuvvet-Deplasman ilişkisi

Şekil 2.8’ den açık bir şekilde görüldüğü gibi, viskoz sıvı cihaz için eş rijitlik sıfırdır. Böylece, yapıya monte edildiğinde cihaz sistem rijitliğine katkı yapmaz. İlerleyen bölümler referans olması için eş sönümleme ve rijitlik formülleri Tablo 2.2’ de özetlenmiştir.

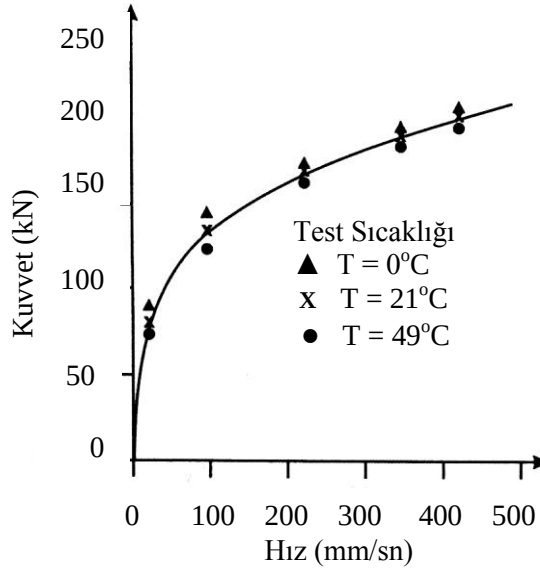


Şekil 2.9 : Hareket Genliğinin Fonksiyonu Olarak Viskoz Sıvı Cihazın Sönüm Oranı (Soong ve Constantinou, 1994)

2.3.1 Sıcaklık Etkisi

Sıvı özelliklerindeki değişiklikler sıvı hacmi ve metalik kısımlarla telafi edilirse, viskoz sıvı sönümleyiciler göreceli olarak çevre sıcaklığına duyarsız olarak dizayn edilebilirler. Tipik sıvı sönümleyiciler ($\alpha = 1$) 0° - 50° aralığında test edilmişlerdir (**Constantinou, 1993**). Sonuçlar göstermiştir ki; sönüm sabitleri, oda sıcaklığındaki (24°C) değerlerine göre, 0° ’ de %44’ ten, 50° ’ de %-25 varan değişimler sergilerler. Şekil 2.10, 0° ile 49° aralığındaki sıcaklıkta test edilen bir sıvı sönümleyicinin mekanik özellikleri üzerindeki deneysel sonuçları göstermektedir.

Çalışma esnasında cihaz içindeki sıvının sıcaklığında, özellikle uzun süreli çarpma hareketleri, altında önemli artışlar olmasına rağmen, 5.000 psi’ lik basınç azalmasıyla kullanılan bir viskoz cihazın tipik parametre değerleri ışığında, **Makris ve diğ. (1997)**, adiabatik şartlar altında 1 devir sırasında yaklaşık 30°C ’ lik sıcaklık artışı olduğunu ve 5 devir içinde kolaylıkla 120°C ’ yi aşabileceğini tahmin etmiştir. Sonuç olarak, tekrarlanan devirler altında cihaz contalarındaki viskoz ısınma nedeniyle doğabilecek hasarlardan kaçınmak için, daha büyük çaplı piston kullanarak dinamik basınç düşüşlerinin küçük tutulması sağlanmalıdır.



Şekil 2.10 : Sıcaklığın Fonksiyonu Olarak Kuvvet-Deplasman İlişkileri (Constantinou ve diğ., 1993)

2.4 Uygulanabilirlik

Önceki bölümlerden görüldüğü üzere, yapıya sönümleyici eklemenin direkt bir sonucu, yapının enerji yutma kapasitesinin artmasıdır. Daha önemlisi sönümleyiciler enerjiyi sönümlemeli, aksi takdirde enerji yapısal yanal sistemlerle sönümlenir ve böylece yapısal eleman ve bağlantı noktalarındaki potansiyel hasar ortadan kalkmış veya azaltılmış olur. Farklı cihazlar enerji sönümünü farklı yollarla sağlarlar. Ayrıca metalik akma, sürtünme ve VE cihazları aynı zamanda ilave rijitlik ve dayanım katarlar. Enerji sönümlemesi sayesinde, sönümleyicilerin yapıya eklenmesi ötelemeye azalma dolayısıyla da hasarda azalmayı beraberinde getirir. Rijitlik veya dayanımdaki artış yapısal periyodu azaltır ve böylece maks. deplasmanda daha fazla bir azalma, diğer bir yandanda, böyle bir artış yapıda sarf edilen yanal kuvveti artırır.

Sönümleyicilerin dinamik karakteristiklerinin ve pratiksel sınırlandırılmasının temelinde, sönümleyicilerin yapıya daha geleneksel güçlendirilmiş projelere (örneğin; temel izolasyonu, berkitilmiş çerçevelerin veya kayma duvarlarının yerleşimi) kıyasla nasıl uygulanabileceğini içeren bazı genel gözlemler yapılmasıdır. Aşağıdaki bazı yorumlar **Kircher (1998)** tarafından dile getirilerek temellendirilmiştir.

2.4.1 Bina Tipleri Ve Biçimleri

Genel kanı, yükseklik, şekil ve taşıyıcı planına uyumlu bina biçimlerinin büyük bir bölümü için sönümleyiciler kullanılabilir. Bir sönümleyicinin enerji yutma kapasitesi, cihazın göreceli deplasmanın artmasıyla artacağından, çelik moment çerçevesi gibi daha esnek bir yapısal sistemli yapılardaki sönümleyicilerin daha iyi performans göstermesi beklenir. Aynı nedenle, sönümleticilerin rijit güçlendirilmiş betonarme veya kayma duvarlı yapılar için zayıf bir aday olmasına rağmen, yapısal elemanın kırılma önceki süreçte enerji sönümüne katkı sağlayarak, düktil olmayan elemanlı yapılarda hasarın kontrol altına alınması amacıyla kullanılmaktadır.

2.4.2 Performans Düzeyleri

FEMA 274 (1997b)' in 9. bölümü, yapı için kesin bir performans başarısı sağlayan sönümleyici ve temel izolasyon sistemlerinin uygulanabilirliği hakkında bazı işaretler elde etmiştir (Tablo 2.1). **FEMA 274 (1997b)**, sönümleyicilerin hem can güvenliği hem de derhal kullanım hedeflerini yakalamak için muhtemel adaylar olduğunu önermişlerdir. Çökmenin engellenmesi derecesinde, ekonomi projenin uygun bir şekilde güçlendirilmesini dikte edebilir. Operasyonel seviyede, son deneyimler sönümleyicilerin operasyonel şartları yerine getirebildiğini göstermiştir. Bu seviyede sönümleyici uygulanabilirliğinin sınırlıdan muhtemele olmak üzere yeniden sınıflandırılması tavsiye edilebilir.

Tablo 2.1 : Sönümleyici ve Temel İzolasyonunun Performans Dereceleriyle Uyumlu Uygulanabilirliği (FEMA 274, 1997b)

Performans		Temel	
Derece	Sınıf	İzolasyonu	Sönümleyici
Operasyonel	Hasar Kontrolü	Çok Muhtemel	Sınırlı
Derhal Kullanım	Hasar Kontrolü	Muhtemel	Muhtemel
Can Güvenliği	Sınırlı Güvenlik	Sınırlı	Muhtemel
Çökme Engellenmesi	Sınırlı Güvenlik	Kullanışlı Değil	Sınırlı

2.4.3 Varolan İle Yeni Yapıların Karşılaştırılması

Amerika' da sönümleyiciler genellikle varolan yapıların yenilenmesi veya güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu kesinlikle cazip seçenektir, çünkü sönümleyiciler yapının global performansını kayda değer bir ilave olmaksızın

geliştirir, eğer yoksa yanal kuvvetler geleneksel güçlendirilmiş projeye katılır. Sönümleyiciler genellikle yapısal çerçeveli sistemlerde kullanıldığından, montajı diğer alternatiflerden daha az çaba gerektirir. Örneğin temel izolasyonu için temelin çevresinin kazılması gerekir.

Standartlara göre dizayn edilen yeni yapılar can güvenliği performans gereklerini karşılamalıdır. Böyle durumlarda, sönümleyiciler, yapısal eleman ve bağlantılarının potansiyel hasarlı inelastik tepkilerine karşı veya yapısal olmayan sistemlere zarar verebilecek olan aşırı ivme seviyelerine karşı, ilave bir koruma sağlamak amacıyla kullanılabilirler ve kullanılmaktadırlar. Sönümleyiciler aynı zamanda kat ötelemelerinin kontrolü için kullanılabilir. Varolan uygulamada bu amacı sağlamak üzere rijitliği artırmak için eleman boyutlarını artırmaktır.

2.4.4 Mimarinin Etkisi

Sönümleyiciler genellikle çerçeve sistemlere monte edildiklerinden, duvar arkasına veya bölmenin arkasına saklanabilirler. Bu sayede yapının mimari bütünlüğü açısından min. etkiye sahiptirler. Sönümleyicilerin teşhir olduğu yapılarda, yapı mimarisi üzerindeki etkileri kabul edilmiştir. Dahası bazılarında mimari iyileştirmelerde düşünülmüştür.

2.4.5 Çevresel Etkiler

Ortam sıcaklığının sönümleyiciler üzerindeki etkilerinden önceki bölümlerde bahsedilmişti. Sönümleyiciler için geleneksel olmayan malzemeler ve sıvı kullanmak ve yorulma, toz, UV etkisi, hararet, aşınma gibi çevresel etkiler önemli problemler hale gelebilir. Malesef bu alanda az çalışma yapılmıştır ve çevresel etkiler ile ilgili bilgilerde kıttır.

2.4.6 Yaşlanma

Yaşlanma kesinlikle uzun süreli güvenilirlik ve yaşam periyodu maliyeti ile ilişkili olan önemli bir endişe kaynağıdır. Yine, sismik uygulama alanında sönümleyici teknolojisi göreceli olarak yeni, gelişmekte ve gerçek sismik yükler altında, binalara monte edilen sönümleyiciler test edilemediği için yaşlanma bilgileri yaygın olarak mevcut değildir.

Yukarıda dile getirilen endişe için akrilik tabanlı VE sönümleyicileri bir olarak, 30 yılı aşkın süredir bir çok yapıda rüzgar titreşimlerini azaltmak için kullanılmaktadır. Bazı numuneler periyodik olarak bu zaman süresince test edilmiştir. Test edilen numunelerin rijitliğinin 25 yıllık bir sürede % 35 azaldığı görülmüştür (**Lai ve Lunsford, 1994**). **Lai ve Lunsford (1994)** sönümleyici rijitliğindeki azalmanın sebebinin VE materyalleri tarafından emilen nem olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bundan başka, rijitlik azalmasının, sönümleyicinin artan sıcaklıktaki bir vakum fırına koyularak ortadan kaldırılabileceğini göstermişlerdir. Uzun süreli sabit kalacak stabil bir sönümleyici rijitliği için, sönümleyici yerleştirilmeden önce, gerçek yerleşim çevre şartlarını sunan göreceli nem şartları için dengelenmesi önerilir.

Diğer bir istisnai uygulama ise metalik akma cihazlarıdır. Bunların uzun dönem performans karakteristikleri ve bakım maliyetleri güzel bir şekilde netleşmiştir. Eğer bu cihazlar rüzgar yüklerinin bir çok tekrarlı devirlerine maruz kalacağı bir biçimde kullanılırsa, dizaynlarında çevrimsel yorulma süreleri dikkate alınmalıdır.

2.4.7 Maliyet Ve Sönümleyici Tipinin Seçimi

Yapıya sönümleyici montajı ek bir maliyet getirir ve verilen projede sönümleyici kullanılıp kullanılmayacağı, kullanılacaksa da hangi tipin kullanılması gerektiği kararı önemli bir noktadır. Maliyet analizi, dizayn, fabrikasyon ve yapıya montaj bir çok etkenin güçlü bir fonksiyonudur. Bu etkenler;

- Yer hareketi ve zemin koşulları
- Yapısal tip
- Performans hedefi ve hesaplanan depremsellik aralığı
- Sönümleyici ve sönümleyici grubunun gerekli sayı ve birim ömür maliyeti
- İhtiyaç duyulan ve kuvvet, deplasman ve hıza uygun sönümleyici kapasitesi
- Varolan yapısal elemanların, bağlantıların ve temellerin güçlendirilmesi gereği
- Montaj ve inşaat detayları
- İnşaat süresince iş ve kullanım faaliyetlerindeki duraksama
- Gerekli bakım, teftiş ve yeniden yenileme maliyetleri

Yukarıda incelenen etkenlerin çoğu literatürde kabul edilebilir şekilde yerini almamış ve bunlardan bazıları sönümleyici teknolojisindeki gelişmeyle birlikte yüksek değişkenlik gösterebilir tarzıdır. Maliyet minimizasyonu ve sönümleyici seçimi için gereklilik olan iki nokta, sönümleyici özelliklerinin tam olarak kavranması ve

sönümleyici dizaynı işleminde akılcılığın muhafaza edilmesinin, açık olmasına rağmen yeni ve yenilenen yapılar için rehber olan standartlar FEMA, SEAONC ve ATC bilinçli olarak esnektir.

Eğer küçük hareketler için sönüm artışı isteniyorsa, VE ve Viskoz sıvı cihazlar, hareketin her seviyesinde enerji sönümleyebildikleri için, daha uygundur. Histeritik ve sürtünme cihazları akma veya sürtünmeyi yenip enerji sönümlemeye başlayabilmeleri için kafi bir göreceli deplasmana ihtiyaç duyarlar.

Sönümleme cihazı geniş bir yelpazede değişen ortam sıcaklığına maruz kalırsa, başlangıç sıcaklık koşullarının tüm değişim aralıklarında optimum performansı gösterecek, bir sönümleyici dizayn etmek güç olacaktır.

Eğer yanal yüklerdeki artışla eş zamanlı olarak sönümde artması isteniyorsa histeritik ve VE cihazlar kullanılabilir. Rijitlikte artış istenmiyorsa, bir viskoz sıvı cihaz muhtemelen en iyi seçim olacaktır.

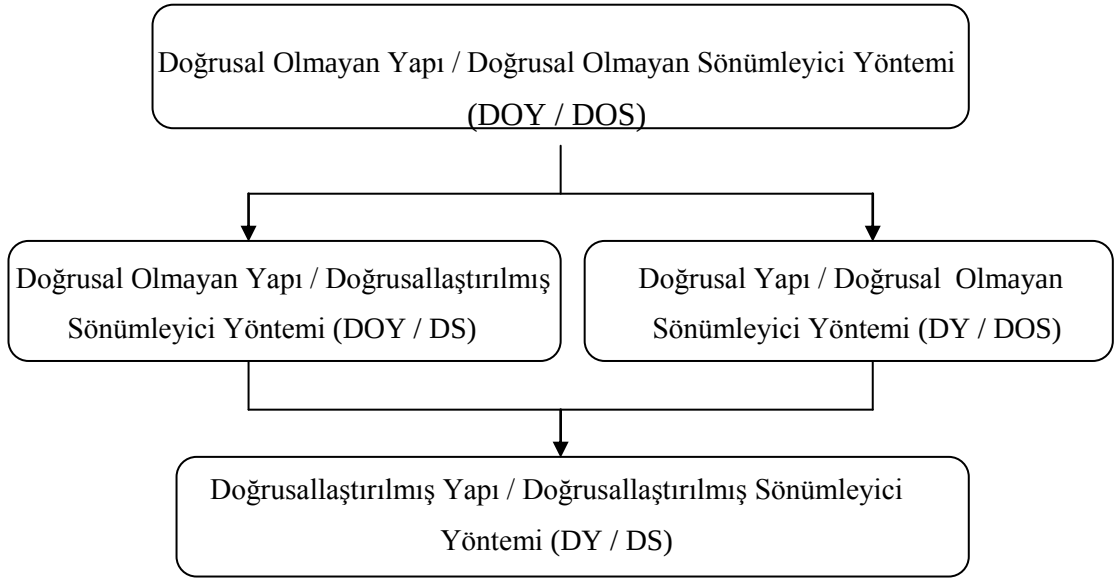
Tablo 2.2 : Histeritik ve VE Cihazların, Eş Viskoz Sönüm ve Rijitlik Parametreleri (Hanson ve Soong, 2001)

Tip	Model	Eş Sönüm (c_d)	Eş Rijitlik (k_d)
Histeritik	Elastoplastik	$0, \quad d_0 < d_y$	$k_e \quad d_0 < d_y$
(Metalik Akma)	Bilineer ($k_h = 0$)	$4(k_e - k_h)d_y(d_0 - d_y)T / (2\pi^2 d_0^2), \quad d_0 \geq d_y$	$[k_e d_y + k_h(d_0 - d_y)] / d_0, \quad d_0 \geq d_y$
	Polinom	$4d_y p_y T [(r-1)(r+1)] (p_0 / p_y)^{r+1} / (2\pi^2 d_0^2)$ $(p_0, \quad d_0 / d_y = (p_0 / p_y) + \alpha (p_0 / p_y)^r \text{ formülünden belirlenir})$	p_0 / d_0
Histeritik (Sürtünme)	Elastoplastik	$4 p_y d_0 T / (2\pi^2 d_0^2)$	Berkitme Rijitliği (kayma yokken) $0 \quad (\text{kayma süresince})$
VE Kati	—	$AG''(\omega) / \omega h$	$k_d = AG'(\omega) / h$
Viskoz Sıvı	Doğrusal Olmayan	$\lambda c_v(\omega) \omega^{\alpha-1} d_0^{\alpha-1} / \pi$	0
	Doğrusal ($\alpha = 1$)	$c_v(\omega)$	0

3. SÖNÜMLEYİCİ İLAVE EDİLMİŞ YAPILARIN ANALİZİ

Bu bölümün amacı, dizaynır için, bir yandan mevcut hesaplama olanaklarının değişen dereceleri için yeniden biçimlendirilebilir analiz yöntemlerinin bir serisini elde etmek, diğer bir yandan da arzu edilen kesinlik derecesini yakalamaktır. Bu tür çalışmaların amacı, dizaynırlara basit fakat akılcı yöntemler sunmak ve bu sayede dizaynırların, yapısal uygulamalardaki sönümleyici teknolojisinin faydalarını kullanarak, uygun bir sınırlandırma anlayışı kazanmasıdır.

Aşağıda analizlerin üç derecesi (ve dört yöntemi) incelenmiştir. Buna ait bir şema Şekil 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Sönümleyici İlaveli Yapılar İçin Analiz Yöntemleri

3.1 Doğrusal Olmayan Yapı / Doğrusal Olmayan Sönümleyici (DOY / DOS) Yöntemi

Bir dizayn depreminde yapının maks. deplasmanı genellikle onun akma deplasmanını aşar, bu sönümleyici ilave edildiğinde bile olabilir. Bölüm 2 göstermiştir ki; VE katı cihazları hariç, cihazdaki deplasman gibi yerel deplasman ve hızlarda sönümleyiciler genellikle doğrusal olmayan davranış sergilerler. Bu yüzden doğrusal olmama bulunan sönümleyici gibi yapısal elemanlarda, dinamik analiz

(time-history) oldukça kesin ve tam bir analiz elde etmek için hesaplamalara dahil edilir.

Sönümleyicisiz geleneksel yapılar için, güvenilir bazı genel amaçlı sonlu eleman programları doğrusal olmayan yapısal problemlerin çözümünde kullanılabilir. Bu programlar ABAQUS, ADINA, ANSYS ve MSC/NASTRAN' dır. Ayrıca inşaat mühendisliği için özel dizayn edilmiş ETABS, DRAIN, SAP2000 ve IDARC gibi programlar vardır. Son yıllarda bu programların bazıları, yapısal analiz prosedürlerine sönümleyicilerin doğrusal olmayan modellenmesi yeteneğini eklemişlerdir. Örneğin ETABS ve SAP2000' de, metalik akma cihazlarının bilineer histeritik davranışlarını modelleyebilen, eksenel olmayan plastisite elemanı mevcuttur. Bu doğrusal olmayan analiz programları bazı kabuller altında çalışırken bunlar, sönümleyici bulunduran eleman yalnızca önceden belirlenmiş sınırlı sayıda yerde bulunabilir ve tanımlanmış bu doğrusal olmayan elemanlardaki kuvvetler her zaman veya yükleme adımı sonunda iterasyon ile hesaplanır.

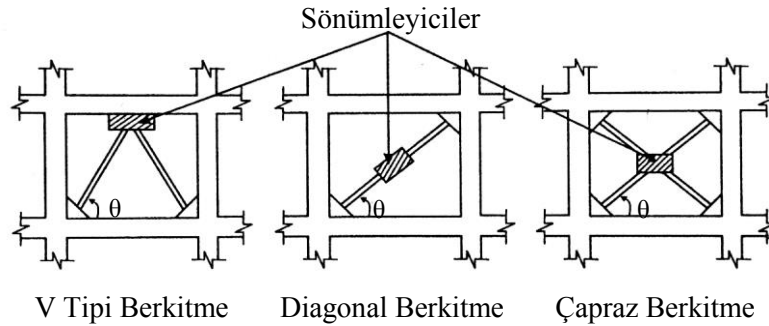
Aynı zamanda doğrusal olmayan sönümleyici ilaveli yapıların analizi için yaklaşık methodlarda bulunmaktadır. Örneğin, **FEMA 273 (1997a)** ve **FEMA 274 (1997b)** ile sunulan basitleştirilmiş doğrusal olmayan statik prosedürler, deprem etkisinde sönümleyici ilaveli yapıların inelastik tepkisini geliştirmeyi mevcut kılmıştır. Bu yöntemlerde gerçek inelastik ÇSDS, bir eş doğrusal TSDS' e dönüştürülür. TSDS' in inelastik tepkisi, B_s ve B_l sönüm azaltma faktörleri (Tablo 1.3) kullanılarak, depremin %5 sönümlü elastik tepki spektrumundan oluşturulan spektrum temel alınarak hesaplanır. Bu prosedür bazı anahtar basitleştirmelere dayasada, bazı çalışmalar bu methodun kullanılabilirliğini onaylamıştır (**Tsopelas ve diğ., 1997; Constantinou ve diğ., 1998 ve Ramirez ve diğ., 2000**).

3.2 Doğrusal Olmayan Yapı / Doğrusallaştırılmış Sönümleyici (DOY / DS) Yöntemi

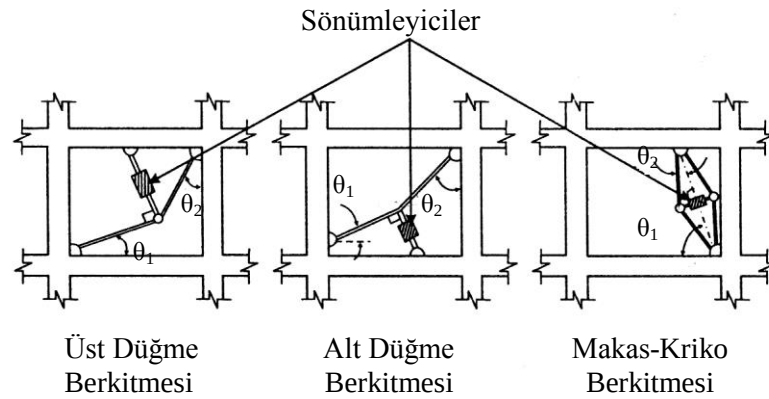
DOY / DS yöntemi, Bölüm 2' de geliştirilmiş olan sönümleyicilerin doğrusal tanımı kullanılarak basitleştirilebilir. Bu yaklaşımda, öncelikle sönümleyicilerin eş doğrusal sönümleme ve rijitlik karakteristikleri yapısal elemanlarınkilerle bütünleştirilir. Bu adım, sönümleyici ilaveli yapıların doğrusal olmayan analizi için, değiştirilmiş sönüm ve rijitlik elemanlı geleneksel yapıların analizinde kullanılan, prosedürlerin

takip edilmesine imkan verir. Bu yaklaşım, doğrusal olmayan yapısal dinamik analizde kullanılacak bilgisayar programı için daha geniş bir seçime izin verir.

Bu bütünleştirme methodu geliştirilmeden önce, hangi tarzda olursa olsun, sönümleyiciler yapıya genellikle berkitme elemanı sayesinde monte ediliyordu. Böylece, sönümleyici-berkitme birleşimi (yalnız sönümleyici değil) dikkate alınmalıdır. Tipik sönümleyici-berkitme birleşimleri Şekil 3.2’ de gösterilmiştir. Şekil 3.3 ‘da daha sonraları düğme (toggle) veya makas-kriko (scissor-jack) tipi olarak adlandırılan birleşim şekilleri görülmektedir (**Constantinou ve Sigaher, 2000**). Her durumda berkitmeler sonlu bir rijitliğe sahiptir. Bu yüzden sönümleyici berkitme birleşimi davranışı, berkitme rijitliğini veren bir veya daha fazla yay elemanı ile seri bağlı olan sönümleyici davranışdır. Şekil 3.4 geleneksel bir moment çerçevesi yapısının tipik yapısal biçimleri ile sönümleyici ilaveli bir yapının karşılaştırılmasını yapar. Bu şekilde, geleneksel moment çerçevesinin bir kısmı, diğer kısımları sönümleyici ilaveli kuvvetlerden bağımsızken, sönümleyici ilaveli sistemde kuvvetleri taşır. Bu yüzden, dizaynırlar kuvvetlerdeki bu farkı bilmeli ve eleman dizaynında bunu hesaba katmalıdırlar.

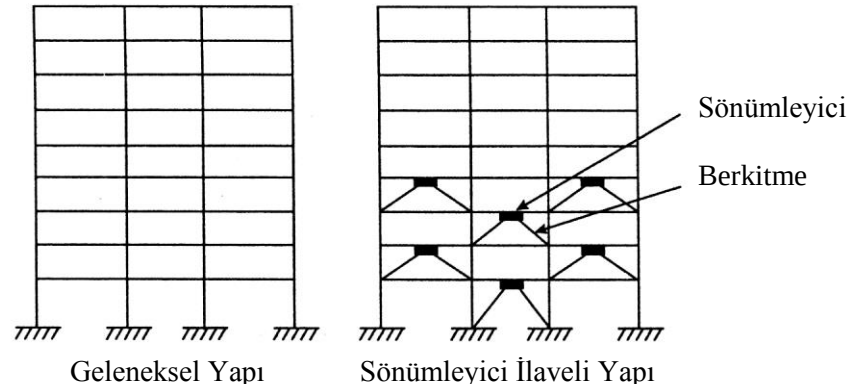


Şekil 3.2 : Sönümleyici-Berkitme Birleştirme Biçimleri

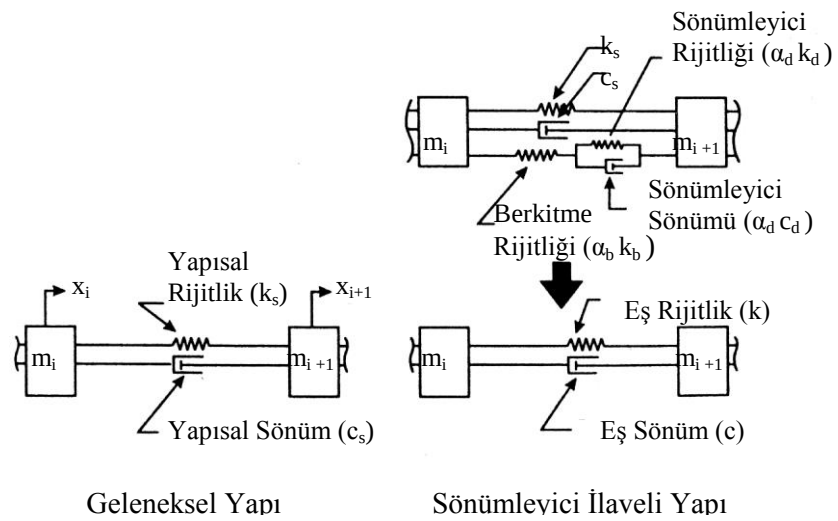


Şekil 3.3 : Sönümleyici Düğme Ve Makas-Kriko Berkitme Birleştirme Şekilleri

Şekil 3.4’ te gösterilen geleneksel yapıların konvansiyonel analitik modelleri, Şekil 3.5’ de gösterilmiş olan ve her bir kat için ayrı yay-viskoz sönüm-kütle sistemleri varsayar. Sönümleyicilerin doğrusal tanımı kullanıldığında, sönümleyici ilaveli yapılar için, Şekil 3.5’ de görülen, daha karmaşık bir yay-sönüm düzenlemesi ortaya çıkar. Bu şekilde, k_s ve c_s , sırasıyla yanal kat rijitliği ve sönüm parametresi; k_d ve c_d sırasıyla, eksenel sönümleyici rijitliği ve sönüm parametresi; k_b , eksenel berkitme rijitliği; α_b ve α_d , sırasıyla Şekil 3.2 ve 3.3 ve berkitme-sönümleyici kuvvet-deplasman ilişkisinin eksenel koordinatlardan yatay koordinatlara dönüşümü ile ifade edilen berkitme-sönümleyici şeklinin etkisini hesaba katan parametrelerdir. Bunların açıklamaları Tablo 3.1 ile verilmiş ve bu tabloda yer alan sönümleyici düzenlemeleri Şekil 3.2 ve 3.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Tipik Yapısal Biçimlerin Karşılaştırılması



Şekil 3.5 : Basitleştirilmiş Analitik Modeller

Tablo 3.1’ deki γ_1 , γ_2 ve γ_3 aşağıda ifade edildiği şekilde türetilmişlerdir (Constantinou ve Sigaher, 2000).

$$\gamma_1 = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} + \sin \theta_1 \quad (3.1)$$

$$\gamma_2 = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} \quad (3.2)$$

$$\gamma_3 = \frac{\cos \theta_1}{\tan \theta_2} \quad (3.3)$$

θ_1 ve θ_2 değerlerine bağımlı olan γ_1 , γ_2 ve γ_3 parametreleri 1’ den belirgin bir biçimde büyüktür (γ_1 için Şekil 3.6’ da gösterilmektedir). Bu sönümleyici düzenlemeleri, cihaz deplasmanında yapısal ötelenmeye kıyasla büyük büyütme üretebilir. Bu özellik aynı zamanda, küçük ötelenmelere uğrayan fakat büyük sönüm kuvvetlerine ihtiyaç duyulan, rijit yapısal sistemler için avantaj olabilir. İlaveten, makas-kriko düzeneği, katları arasında büyük açıklıklar olması arzu edilen yapılar için cazip olabilir.

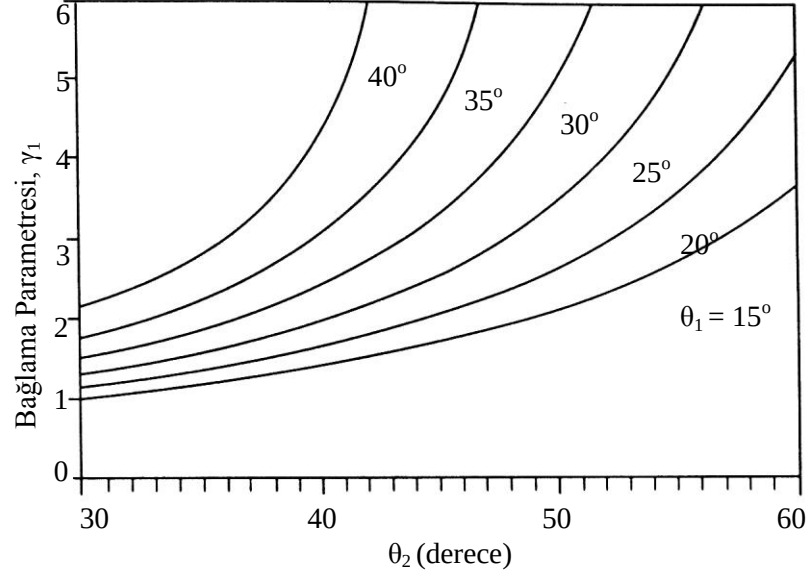
Tablo 3.1 : Bağlama Parametreleri

Sönümleyici Birleşimi	α_b	α_d
Diagonal Berkitme	$\cos^2 \theta$	$\cos^2 \theta$
V veya Çapraz Berkitme	$2 \cos^2 \theta$	1
Üst Düğme Berkitmesi	γ_1^2	γ_1^2
Alt Düğme Berkitmesi	γ_2^2	γ_2^2
Makas-Kriko Berkitmesi	γ_3^2	γ_3^2

Şimdi, sönümleyici ilaveli bir yapı için eş rijitlik ve sönüm parametrelerini, belirgin bir berkitme-sönümleyici düzeneğinde hesaba katalım. ω frekanslı harmonik titreşim altında, sönümleyici ilaveli yapı için eş kat rijitliği ve sönümü parametreleri, k ve c Şekil 3.6’ dan görüldüğü gibi kolaylıkla türetilebilir. Bu parametreler aşağıda ifade edilmiştir (Hanson ve Soong, 2001).

$$k = k_s + \frac{\alpha_b \alpha_d k_b k_d (\alpha_b k_b + \alpha_d k_d) + \omega^2 \alpha_b \alpha_d^2 k_b c_d^2}{(\alpha_b k_b + \alpha_d k_d)^2 + \omega^2 \alpha_d^2 c_d^2} \quad (3.4)$$

$$c = c_s + \frac{\alpha_b^2 \alpha_d k_b^2 c_d}{(\alpha_b k_b + \alpha_d k_d)^2 + \omega^2 \alpha_d^2 c_d^2} \quad (3.5)$$



**Şekil 3.6 : Üst Düğme Biçimi İçin Bağlama Parametresi
(Constantinou ve Sigaher, 2000)**

Eğer $k_b \gg k_d$ ise k ve c (3.6)'daki gibi kısaltılabilir.

$$k = k_s + \frac{\alpha_b \alpha_d k_b (\alpha_b k_b k_d + \omega^2 \alpha_d c_d^2)}{(\alpha_b^2 k_b^2 + \omega^2 \alpha_d^2 c_d^2)} \quad (3.6)$$

$$c = c_s + \frac{\alpha_b^2 \alpha_d k_b^2 c_d}{\alpha_b^2 k_b^2 + \omega^2 \alpha_d^2 c_d^2} \quad (3.7)$$

Diğer yandan, $k_d \gg k_b$ ise, k ve c aşağıdaki hale gelir.

$$k = k_s + \frac{\alpha_b k_b (k_d^2 + \omega^2 c_d^2)}{k_d^2 + \omega^2 c_d^2} \quad (3.8)$$

$$c = c_s + \frac{\alpha_b^2 k_b^2 c_d}{\alpha_b (k_d^2 + \omega^2 c_d^2)} \quad (3.9)$$

$k_b \rightarrow \infty$ ise, rijit berkitmeli sistem, k ve c aşağıdaki hale gelir.

$$k = k_s + \alpha_d k_d \quad (3.10)$$

$$c = c_s + \alpha_d c_d \quad (3.11)$$

Geleneksel yapılarda her kat için k_s ve c_s denklemde yerine koyulur ve k ve c yukarıdaki gibi türetilir. Hem doğrusal hemde doğrusal olmayan yapı analizi bilinen yollarla, önemli istisnaları dikkate alarak, sürdürülebilir.

- Bölüm 1.3.1’ de ele alınmış olduğu gibi, sönümleyici ilaveli yapılarda sönüm artışları önemli boyutlara ulaşabilir. Bundan dolayı, sönümlemiş yapının modal periyot ve mod şekillerinin, sönümlememiş yapının modal periyot ve mod şekilleriyle aynı olması kabulü geçerli olmayabilir. Örnek hesaplamalar, kırıtık sönümün %50’ sine kadar olan orantılı sönümleme için, sönümsüz mod şekilleri alınarak sönümlü doğal periyotların hesaplanabileceğini göstermiştir.
- Bölüm 1.3.2’ de tartışıldığı üzere, geleneksel bir yapıya sönümleyici ilavesinin genellikle orantısız sönümlemeye yol açmasına rağmen, ilave edilen sönümleyiciler bina yüksekliği boyunca enerji sönümlediklerinde, orantısız sönümlemenin etkisi ihmal edilebilir. Hiçbir şüphe kalmadığında, orantısız sönümlemenin potansiyel önemi ilaveli sönüm matrisinin sönümsüz elastik mod şekilleri ile sağ ve soldan çarpılmasıyla belirlenebilir. Sönümleme matrisinin diagonal dışı terimlerinin hesabı, diagonal terimlerin hesabından yeteri kadar küçük değilse, dinamik birleştirme oluşacak ve orantısızlık etkisi önemli olur. Orantılı sönümleme dizayn adımlarında kabul edilir ve orantısızlık etkisi şüpheli kalırsa, tamamlanan dizaynın tepki (response history) analizi ile beklenen dinamik tepki doğrulatılmalıdır. Hareket denklemlerinin direkt integrasyon tepki (response history) analizi kullanılabilir, fakat birleştirilmiş modal integrasyon çözümleri kullanılamaz, çünkü orantısız sönümleme etkisini tam olarak yansıtamaz.
- Örneğin (2.9) ve (2.10) denklemlerinden de görüldüğü gibi, eş rijitlik ve sönümü k_d ve c_d , d_0 ’ ın bir fonksiyonudur. Bu yüzden, bu durumda yapısal analiz, tahmini bir başlangıç değerinden başlatılarak, makul bir yakınlığa ulaşılan dek

iteratif olarak sürdürülmelidir. Bunların başlangıç değeri hedef dizayn değerleri temelinde atanabilir.

3.3 Doğrusal Yapı / Doğrusal Olmayan Sönümleyici (DY / DOS) Yöntemi

Basitleştirmeler sayesinde, sönümleyici ilaveli sistemin linner davranışı beklenir veya eş mevcut doğrusallaştırma teknikleri yoluyla, örneğin: **Soong ve Grigoriu (1992)**, doğrusallaştırılabilir. Sönümleyicilerin doğrusal olmayan davranışı hala sönümleyici ilaveli yapısal sistemlerin doğrusal olmayan modellenmesi gerektirse de, var olan ve daha önce bahsettiğimiz bilgisayar programlarının kullanımı, yapısal elemanlar doğrusal elemanlarla tanımlandığında, daha kolay hale gelir.

Daha ileri bir basitleştirme adımı olan sönümleyicilerin doğrusal tanımlanması sonraki bölümde ele alınacaktır.

3.4 Doğrusal Yapı / Doğrusal Sönümleyici (DY / DS) Yöntemi

Sönümleyici ilaveli yapının doğrusal davranışı beklendiğinde veya doğrusallaştırılabildiğinde, birleştirilen sönümleyicilerin doğrusallaştırılmış davranışları sönümleyici ilaveli yapının analizini doğrusal yapar ve doğrusal yapılar için modal analiz ve tepki spektrum analizi bilinmektedir. Bu yüzden, geleneksel yapı dizayn işlemlerini takip ettiği için bu yöntem caziptir. Bu doğrusallaştırma tekniklerinin sağlam bir geçerliliği olmadığı durumlarda bile, DY/DS yönteminin sonuçları, sönümleyici dizaynı ve sönümleyici ilaveli yapı davranışları açısından faydalı bir ön bilgi sunmaktadır.

Geleneksel zaman ve tepki spektrum analizlerinin kullanımında, bariz orantısız sönümlemeli yapıların mod şekillerinin kompleks oluşu, muhtemel bir karışıklık olarak ortaya çıksa da; orantılı sönüm kabulü ile mod şekillerindeki sapma genellikle önemli olmaz. Tepki hesaplarında gerçek ve değiştirilmiş rijitlik matrisli geleneksel mod şekillerinin kullanımı kabul edilebilir olabilir. Bu tepki spektrum analizi için mod şekilleri ile ilgili ek görevi ortadan kaldırır.

4. YAPISAL UYGULAMALAR İÇİN SÖNÜMLEYİCİ DİZAYNI

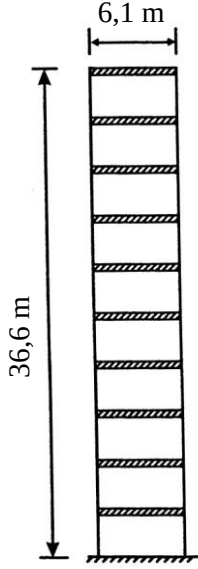
Sönümleyici ilaveli yapılar için, Bölüm 2’ de ilave enerji sönümleme sistemlerinin tanımlanması ve Bölüm 3’ te geliştirilen analiz yöntemleri, yapısal uygulamalar için, bu cihazların sismik dizaynının yapılmasına fırsat vermiştir. Bununla birlikte, genel dizayna etki eden noktaların hepsi olmasa da bazıları aşağıda ele alınmıştır.

4.1 Enerji Sönümleme Sistemlerinin Optimum Yerleştirilmesi

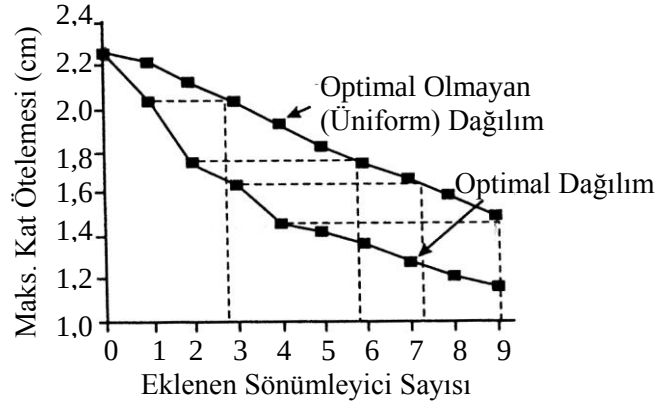
Sönümleyici cihazların optimum yerleştirilmesi, bu cihazların ekonomik kullanımı için önemli bir etkidir. Bu konuda bazı araştırmacılar çalışmaktadırlar. **Ashour ve Hanson (1987)** üniform kayma kirişi olarak modellenen yapı için sönümleyici yerleşimi ele almıştır. Optimal yerleşim için ilk mod sönüm oranını maks. yapan bir yerleşim öngörüyordu. Bir diğer yaklaşım olarak, sönümleyicinin optimum yerleşimini belirlemek için, her adımda performans göstergesinin maksimize edildiği bir zincirleme optimizasyon modeli önerilmiştir (**Zhang ve Soong, 1992**). Temel fikir, sönümleyicilerin bağlanma noktaları arasında en büyük göreceli deplasman ve hız veren yerde her bir cihazın yerleşimini sağlamaktır. Son zamanlardaki çalışmalardan biriside, **Lopez Garcia (2001)**, zincirleme optimizasyon modelini basitleştirerek, sönümleyici dizaynı için daha kolay entegre edilir hale getirmiştir.

Optimal dağılımlı sönümleyici ilavesinin avantajı, aynı etkiyi sağlayacak optimal olmayan sönümleyici sayısının tahminiyle yansıtılabilir. Örneğin Şekil 4.1’ de on katlı bir çerçeve yapısı ve Tablo 4.1’ de ise yapının parametre değerleri verilmiştir. Şekil 4.2 gösterir ki; maks. kat ötelemesine karşı gelen VE sönümleyici sayısı, optimal ve optimal olmayan (düzenli) yerleşim için verilmiştir (**Zhang ve Soong, 1992**). Örneğin 1,45 cm’ lik aynı kat ötelemesi optimal yerleşimli dört sönümleyici ile yakalanırken, optimal olmayan dağılımda bu değere dokuz sönümleyiciyle ulaşılmaktadır. Yukarıda verdiğimiz örnekte de olduğu gibi bu konudaki çalışmalar genellikle çerçeve olarak modellenmiş yapılar üzerinde yapılmıştır. Bu nedenle, asimetrik yapıların çevirme ve burulma tepkileri arasındaki birleşme etkisi gibi bazı tepki karakteristikleri göz önüne alınan bazı çalışmalarda yapılmıştır (**Wu ve diğ.,**

1997). Bu çalışmalarda 3D yapılarıdaki katlar arası öteleme ve burulma tepkilerinin oluşturabileceği katlar arası öteleme, performans parametresi olarak, yapısal güvenliği artırmak amacıyla dikkate alınmıştır (Wu ve diğ., 1997).



Şekil 4.1 : 10 Katlı Yapının Görünüşü



Şekil 4.2 : Sönümleyici Sayısının Fonksiyonu Olarak Kat Ötelemesi

Tablo 4.1 : 10 Katlı Yapının Parametre Değerleri (Zhang ve Soong, 1992)

Kat	Kütle (kg * 1,000)	Rijitlik (kN/cm)	Sönüm (kN-sn/cm)
10	0,207	164,5	1,44
9	0,207	164,5	1,44
8	0,207	286,6	1,98
7	0,207	286,6	1,98
6	0,207	421,7	2,91
5	0,207	421,7	2,91
4	0,207	540,1	3,73
3	0,207	540,1	3,73
2	0,207	687,1	4,76
1	0,207	687,1	4,76

4.2 Kiriş Ve Kolonlardaki, Kuvvet Ve Momentler

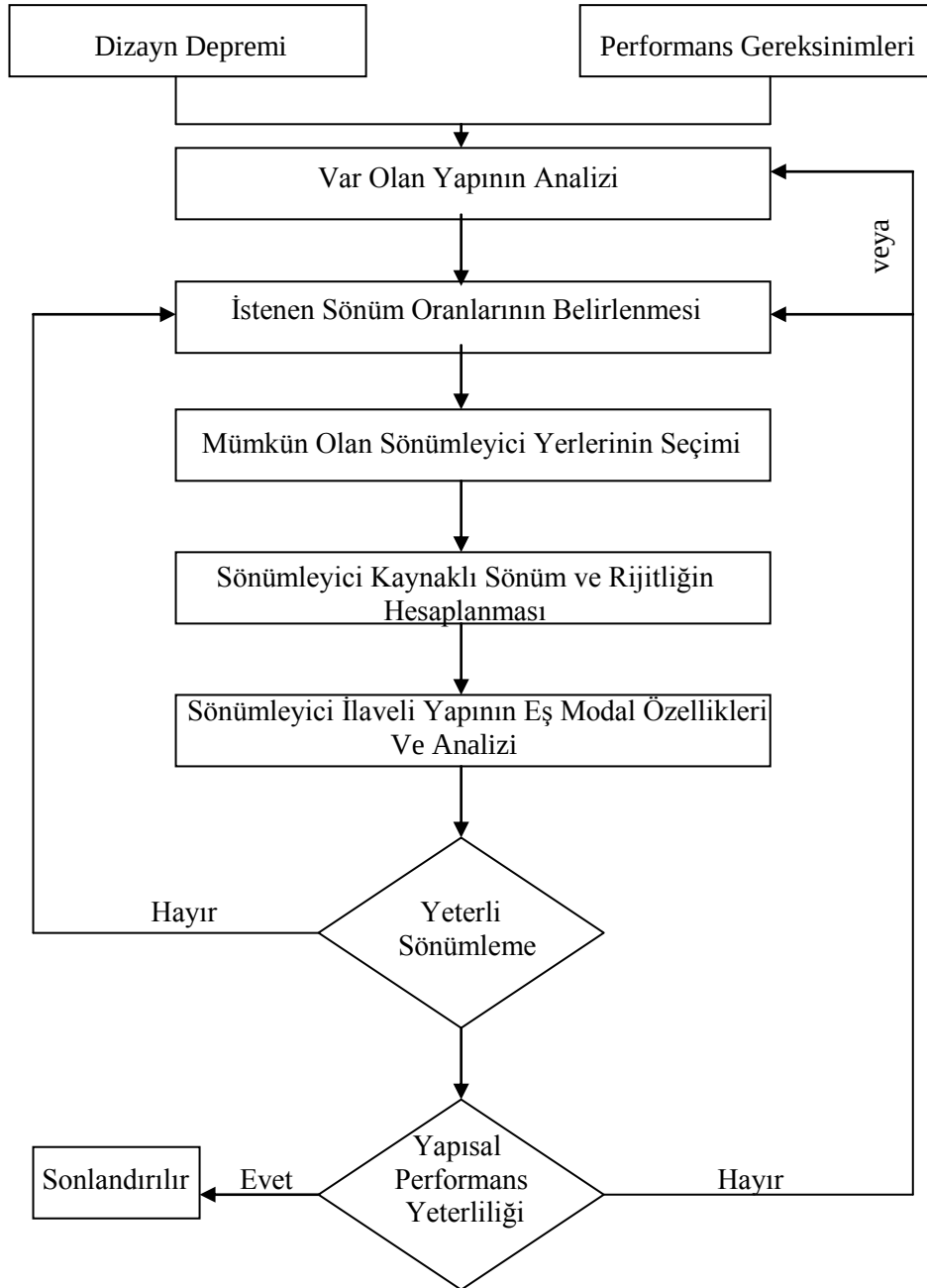
Bir moment çerçevesine sönümleyici ilavesi Şekil 3.2 ve 3.3' deki biçimde yapılırsa, bu onun moment çerçevesi olan tipini berkitilmiş çerçeve biçimine çevirir. Sonuç olarak, yapısal elemanlarda ve temeldeki kuvvet ve momentler bundan etkilenir. İlave enerji sönüm sistemleri sistemde önemli bir öteleme azalmasını sağlamakla birlikte, kolon eğilme momentlerinde bir azalma ve aynı zamanda da kolon eksenel kuvvetlerinde ise önemli bir artışa neden olmaktadır (**Constantinou ve diğ., 1998**). Bu yüzden değiştirilmiş yük yönleri incelenmelidir, bu aynı zamanda sönümleyici yerleştirilmesi için bir fikir olabilir (**Soong ve diğ., 1998**).

4.3 Dizayn Yöntemleri

Sönümleyici ilaveli yapının dizaynı Bölüm 2 ve 3' teki gelişim temelinde gerçekleştirilebilir. Diğer bir çok yöntem gibi bu da genel olarak iteratif bir methodtur. Öncelikle ilave enerji sönüm cihazsız yapı analizi gerçekleştirilir. Yeni binalar için, bu bazı standartlarla azaltılmış yanal yükler ve istenen deplasman sınırları olabilir. Var olan binalar için ise, vurgu muhtemelen eleman kuvvetlerinde sınırlı veya hiç artış olmaksızın deplasman performansındaki gelişim üzerinde odaklanacaktır. Devamında da ilave sönüm cihazlı yapılar için ihtiyaç duyulan sönüm oranı birincil parametre haline gelir. Dizayn normal olarak her tekrarında yapısal özellikleri güncellemeye devam eden ve birbirini takip eden adımlardan oluşur.

1. Binanın yapısal özelliklerinin belirlenmesi ve yapısal analizin gerçekleştirilmesi
 2. İstenen tüm sönüm oranlarının belirlenmesi
 3. Yapıda istenen ve mevcut sönümleyici yerlerinin seçimi
 4. Sönümleyicinin oluşturduğu rijitlik ve sönümün hesaplanması
 5. Sönümleyici ilaveli yapının eş modal sönüm oranlarının, rijitliğinin ve mod şekillerinin hesaplanması
 6. Sönümleyici ilaveli yapının performans analizi
5. ve 6. adımlarla istenen sönüm oranları ve yapısal performans koşulları sağlanırsa dizayn sonlandırılır. Aksi takdirde, yeni yapısal özellikler ve sönümleyici yerleşimi

veya boyut ve özelliklerinde değişime sebep olacak yeni bir dizayn devri gerçekleştirilir. Genel bir dizayn takip şeması Şekil 4.3’ da verilmiştir.



Şekil 4.3 : Sönümleyici Dizayn Takip Şeması

5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, Bölüm 4’ te elealmış olduğumuz, yapısal uygulamalar için pasif enerji sönüm cihazlarının dizaynı ve optimum dizayn koşullarının hazırlanması, konusunun sayısal örneklerle desteklenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla aşağıda bazı dizayn ve optimizasyon uygulaması örnekleri verilmiştir.

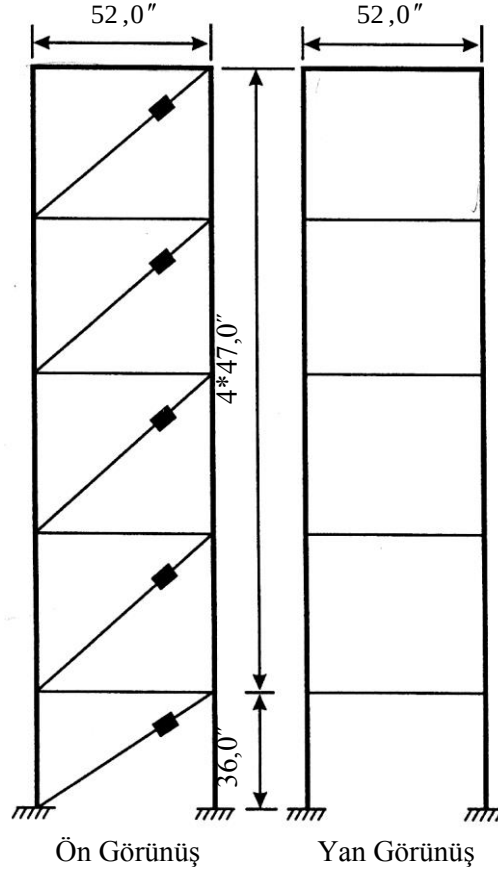
5.1 Geleneksel Yapı İle Sönümleyici İlaveli Yapıların Karşılaştırılması

Bu örnekte laboratuvar ortamında kapsamlı bir şekilde test edilmiş olan, 2/5 ölçekli beş katlı çelik yapı dikkate alınmıştır. Bu çerçevenin avantajı final sönümleyici dizaynının laboratuvar ortamında tahkik edilmiş olmasıdır. Bu nedenle SAP2000 programı ile yapacağımız dizayn sonuçlarını bu değerlerle karşılaştırma imkanı bulabileceğiz.

- Yapının Özellikleri: Çerçevenin tüm boyutları planda 52" * 52" ve 224" ' lik yükseklik olarak Şekil 5.1’ de gösterilmiştir. Elemanların en kesit özellikleri Tablo 5.1’ de listelenmiştir. Boş çelik çerçeve modeli, %1 kritik sönüm oranlı yapının hesaplanan temel periyodu 0,34 sn’ dir.
- Yanal rijitlik ve ağırlık matrisleri, sırasıyla (5.1) ve (5.2) ile ifade edilmiştir.

$$K (kip / in) = \begin{bmatrix} 14,74 & -14,74 & 0 & 0 & 0 \\ -14,74 & 29,47 & -14,73 & 0 & 0 \\ 0 & -14,73 & 29,47 & -14,73 & 0 \\ 0 & 0 & -14,73 & 29,47 & -14,73 \\ 0 & 0 & 0 & -14,73 & 47,42 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$W (kip) = Mg = \begin{bmatrix} 1,31 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,27 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,27 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1,27 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1,12 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$



Şekil 5.1 : Beş Katlı Çelik Yapı

Tablo 5.1 : Yapısal Elemanların En Kesit Özellikleri

	Kolon	Kiriş
Alan (in. ²) :	2,41	1,30
I (in. ⁴) :	2,20	3,28

- Dizayn depremi: 0,6g maks. ivme değerli 1940 El Centro depremi dizayn depremi olarak kullanılmıştır .
- Performans Gereksinimleri: Yapının elastik kalması ve katarası ötelemesi oranı %0,5' ten az olması.
- Çalışma Sıcaklığı: Sönümşeyicilerin enerji yutma kapasitelerinin maks. çevresel sıcaklıkta en zayıf olması nedeniyle, çalışma sıcaklığı olarak 25°C seçilmiştir.

1. Adım: Yapısal Analizin Gerçekleştirilmesi

Tabo 5.4' den görüldüğü gibi maks. kat arası öteleme oranı %1,653 tür ve istenen %0,5' lik değerden oldukça yukarıdadır. Bu nedenle performans gereklerinin sağlanması için sönümleyici ilavesi gerekmektedir.

2. Adım: İstenen Sönüm Oranının Tayini

Genelde istenen sönüm oranı, dizayn depreminin tepki spektrumlarından belirlensede, bu çalışmada %15' lik eş sönüm oranı hedefler için uygun kabul edilmiştir.

3. Adım: Arzu Edilen ve Mümkün Olan Sönümleyici Yerlerinin Belirlenmesi

Bu örnekte sönümleyiciler her kata diagonal biçimde yerleştirilecektir. Berkitme elemanı ile kat arasındaki açı, ilk kat için $\theta = 34,7^0$ diğer katlar için ise $\theta = 42,1^0$ dir.

5.1.1 Sürtünme Sönümleyicileri İlaveli Yapı

Daha önce belirtildiği gibi, sönümleyicilerle %14' lük ilave sönüm yaratarak toplamda %15' lik hedef yakalanacaktır.

Her kata sönümleyici yerleştirilmesi basit bir üç diagonalli ilave sönüm matrisi oluşturacaktır. Gereken ilave sönüm parametreleri, orantılı sönümleme kabulü ile kolaylıkla belirlenebilir. Bu durumda seçilen maks. cihaz dizayn deplasmanı yapısal dizayn limitlerinin %85' i ile sınırlandırılır. Böylece cihaz deplasmanları aşağıdaki gibi elde edilir.

$$d_0 = 0,85 * 0,005 * 47 * \cos 34,7^0 = 0,126 \text{ in. (birinci kat için ve 0,125 in. kullanılır)}$$

$$d_0 = 0,85 * 0,005 * 47 * \cos 42,1^0 = 0,148 \text{ in. (diğer katlar için ve 0,145 in. kullanılır)}$$

Dizaynın diğer bir şartı ise yapısal elemanların elastik kalmasıydı. Bu yüzden p_y 'nin seçimi kolon ve berkitmelerin dizaynı ile kontrol edilecektir. Genelde daha küçük bir p_y değeri, daha büyük bir p_y değerinden daha ekonomik olacaktır. Bu örnekte p_y için 3 kips değeri kabul edilmiştir.

Tablo 3.1' den α_d değerleri belirlenir.

$$\alpha_d = \cos^2 34,7^0 = 0,676 \quad (\text{birinci kat})$$

$$\alpha_d = \cos^2 42,1^0 = 0,551 \quad (\text{diğer katlar})$$

İlave rijitlik kayma hareketi başladıktan sonra 0 olacaktır. Eş viskoz sönümleme parametresi (2.8) denkleminde $d_y = 0$ uygulandıktan aşağıdaki hale gelir.

$$c_d = 4 p_y d_0 T / (2\pi^2 d_0^2), \quad d_0 \geq d_y \quad (5.3)$$

Böylece (3.11) denkleminde ifade edilen ilave viskoz sönüm parametresi hesaplanabilir hale gelmiştir. Burada cihaz akma kuvveti (p_y) 3,0 kips seçilmiştir.

$$\alpha_d c_d = 0,676 * 4 * 3,0 * 0,34 / (2\pi^2 * 0,125^2) = 0,745 \text{ kip-sn/in. (ilk kat)}$$

$$\alpha_d c_d = 0,551 * 4 * 3,0 * 0,34 / (2\pi^2 * 0,145^2) = 0,524 \text{ kip-sn/in. (diğer katlar)}$$

Her cihaz için gerçek sönüm parametreleri, belirlenen dizayn yanal deplasmanlarının %85' inden daha az olan deplasmanlar için, yukarıdaki değerlere eşit olacak veya aşacaktır. Sönümleyici ilaveli yapı için hesaplanan modal özellikler Tablo 5.2' de gösterilmiştir. Bu tabloda ilk mod sönüm oranının %31,00 olduğu görülür ve bu değer seçilen min. %15' lik sönüm oranının bir hayli üzerindedir.

Yapının doğrusal dinamik analizi, rijit-plastik eleman olarak tanımlanan ve 3,0 kips' lik kayma kuvvetli sönümleyici ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Analizin sonuçları Tablo 5.4 ile özetlenmiştir. Bu tablodan maks. katarası ötelemenin 0,226 in. olduğu görülmektedir ve bu değer sınır katarası öteleme değeri olan 0,235 in. (kat yüksekliğinin %0,5' i) değerinin altındadır. Dolayısıyla da yapılmış olan dizayn yapısal performans hedeflerini karşılamaktadır.

Tablo 5.2 : Modal Özellikler

Mod No	Modal Periyot (sn)	Modal Sönüm Oranı (%)
1	0.34	57.84
2	0.27	42.45
3	0.15	1.00
4	0.11	157.06
5	0.09	115.55

5.1.2 VE Sönümleyicileri İlaveli Yapı

VE sönümleyici rijitliği, k_d ve kayıp faktörü, η ' nün seçimi bir deneme yanılma prosedürüdür. Bu veriler aynı zamanda VE sönümleyici ilavesinin getirdiği ilave rijitliğin, birincil yapının kat rijitliği ile orantılı olması gerekliliği esasına dayanarak

ta belirlenebilir. Bu, modal gerilim enerji yönteminin her kat için düzenlenmesiyle elde edilir **(Soong ve Lai, 1991)**.

$$\alpha_{di} k_{di} = \frac{2\beta}{\eta - 2\beta} k_{si} \quad (5.4)$$

Burada β hedef ilave sönüm oranı, k_{di} ve k_{si} sırasıyla i. kat sönümleyici rijitliği katkısı ve sönümleyicisiz kat rijitliği katkısıdır. Daha önce belirtildiği gibi, sönümleyicisiz tipik kat rijitliği $k_{si} = 14,73$ kip/in. tir. $\eta = 1,1$ ve $\beta = 0,14$ olarak alırsak tipik bir kattaki sönümleyici rijitliği k_{di} (5.4) denkleminde aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\alpha_{di} k_{di} = \frac{2 * 0,14}{1,1 - 2 * 0,14} * 14,73 = 5,03 \text{ kip/in.}$$

α_{di} 'nin birinci kat için 0,676 ve diğer katlar için 0,551 olduğu bilinmektedir.

$$k_{di} = 5,03 / 0,676 = 7,44 \text{ kip/in. (birinci kat ve iki çerçevenin her biri için 3,72 kip/in.)}$$

$$k_{di} = 5,03 / 0,551 = 9,13 \text{ kip/in. (diğer katlar ve iki çerçevenin her biri için 4,56 kip/in.)}$$

Her katta iki sönümleyici kullanıldığından ihtiyaç duyulan berkitme-sönümleyici rijitliği 4,56 kip/in.' tir.

VE materyalinin kalınlığı, h , VE sönümleyicideki maks. gerilimin izin verilen maks. değerden küçük olmalı koşulunu sağlayan, izin verilen maks. sönümleyici deformasyonundan belirlenebilir. Bu örnekte maks. dizayn sönümleyici deformasyonları aşağıda ifade edilmiştir.

$$0,005 * 47 * \cos 34,7^\circ = 0,147 \text{ in. (birinci kat için)}$$

$$0,005 * 47 * \cos 42,1^\circ = 0,174 \text{ in. (diğer katları için)}$$

Maks. dizayn sönümleyici gerilimi %60 olarak kabuledilirse, h kalınlığı aşağıdaki gibi belirlenebilir.

$$h = 0,147 / 0,60 = 0,25 \text{ in. (birinci kat için)}$$

$$h = 0,174 / 0,60 = 0,39 \text{ in. (diğer katlar için)}$$

$h = 0,30 \text{ in.}$ olarak seçilir. Ayrıca sönümleyici özellikleri maks. sönümkeyici gerilimi, %20 ve 25°C ' lik sıcaklık etkileri temelinde belirlenir. Bu örnekte $G'=250 \text{ psi}$ (Şekil 2.7) olarak belirlenir. VE sönümleyicisinin alanı (2.15) denklemi ile belirlenir.

$$A = 4,56 * 0,3 / 0,25 = 5,47 \text{ in}^2.$$

Her sönümleyicide iki VE tabakası bulunursa, toplam $6,5 \text{ in}^2$. değeri seçilir.

Sönümleyiciler üniform dağıtıldığından orantılı sönümleme kabulü yapılabilir. Sönümleyici ilaveli yapının modal özellikleri iterasyonla hesaplanır.

$$k_d = AG' / h = 6,5 * 0,25 / 0,3 = 5,42 \text{ kip/in.}$$

$$c_d = \frac{AG''}{(2\pi / T)h} = \frac{6,5 * 1,1 * 0,25}{(2\pi / 0,34)0,3} = 0,322 \text{ kip-sn/in.}$$

Bu değerler her katta iki sönümleyici olduğundan iki ile çarpılır. Sonuç modal özellikler Tablo 5.3' te listelenmiştir. Tabloda ilk mod sönüm oranı %20,7 olarak görülmektedir. Buradan yeterli sönüm oranının elde edildiği görülmektedir.

Tablo 5.3 : Modal Özellikler

Mod No	Modal Periyot (sn)		Modal Sönüm Oranı (%)	
	A = 6,5 in ² .	A = 7,0 in ² .	A = 6,5 in ² .	A = 7,0 in ² .
1	0,29	0,28	20,80	21,94
2	0,24	0,24	16,59	17,57
3	0,15	0,15	1,00	1,00
4	0,09	0,09	57,22	60,63
5	0,08	0,08	45,08	47,92

Fakat Tablo 5.4' te maks. katarası ötelemenin $0,246 \text{ in.}$ olduğu görülmektedir. Bu değer maks. değer olan $0,235 \text{ in.}$ üzerindedir. Burada performans hedeflerinin katarası öteleme içinde yakalanması için sönümleyici alanında küçük bir artış yapmanın gerekli olduğu görülmektedir.

Tablo 5.4 : Dizayn Depremi İçin Dinamik Tepki Özeti

Maks. Tepki	Kat Seviyesi	Sönümleyicisiz (% Öteleme Oranı)	Sürtünmeli Sön.'li (Ötelemadaki Azalma %)	VE Sönümleyicili (Ötelemadaki Azalma %)	
				A = 6,5 in ² .	A = 7,0 in ² .
Göreceli Kat	5	2,725	0,718	0,841	0,791
Deplasmanı			(73,7)	(69,1)	(71,0)
(in.)	4	2,394	0,648	0,742	0,697
			(73,0)	(69,0)	(70,9)
	3	1,828	0,515	0,574	0,540
			(71,8)	(68,6)	(70,5)
	2	1,091	0,319	0,356	0,339
			(70,7)	(67,3)	(68,9)
	1	0,314	0,093	0,111	0,106
			(70,3)	(64,7)	(66,3)
Katarası	5-4	0,331	0,070	0,099	0,093
Öteleme		(0,705)	(78,9)	(70,1)	(71,9)
(in.)	4-3	0,566	0,133	0,168	0,157
		(1,204)	(76,5)	(70,3)	(72,2)
	3-2	0,737	0,196	0,217	0,201
		(1,569)	(73,5)	(70,6)	(72,7)
	2-1	0,777	0,226	0,246	0,233
		(1,653)	(70,9)	(68,4)	(70,0)
	1-0	0,314	0,093	0,111	0,106
		(0,872)	(70,3)	(64,7)	(66,3)

A = 7,0 in². seçilirse;

$$k_d = AG' / h = 7,0 * 0,25 / 0,3 = 5,83 \text{ kip/in.}$$

$$c_d = \frac{AG''}{(2\pi / T)h} = \frac{7,0 * 1,1 * 0,25}{(2\pi / 0,34)0,3} = 0,347 \text{ kip-sn/in.}$$

Yukarıdaki gibi belirlenir. Ve yine yapı rijitlik ve sönümüne katkıları aşağıda belirlenir.

$$\alpha_{di} k_{di} = 0,676 * 2 * 5,83 = 7,89 \text{ kip/in. (ilk kat için)}$$

$$\alpha_{di} k_{di} = 0,551 * 2 * 5,83 = 6,43 \text{ kip/in. (diğer katlar için)}$$

$$\alpha_{di} C_{di} = 0,676 * 2 * 0,347 = 0,47 \text{ kip-sn/in (ilk kat için)}$$

$$\alpha_{di} C_{di} = 0,551 * 2 * 0,347 = 0,38 \text{ kip-sn/in. (diğer katlar için)}$$

Yapılan bu yeni iterasyon sonucunda Tablo 5.4' te daha önce yakalanamayan 0,235 in.' lik kat ötelemesi hedefinin, 0,233 in. ile yakalandığını görmekteyiz. Dolayısıyla bir önceki itersyonda yakalanmış olan performans hedeflerine, bu iterasyonda da kat ötelemesi hedefini katarak sönümleyici ilaveli yapı dizaynını sonlandırabiliriz.

5.2 Sönümleyici Yerleşim Pozisyonunun Yapı Tepkisine Etkisi

Bu bölümde dört farklı sönülmeyici yerleşim biçimi ile teşkil edilmiş bir yapı dikkate alınacaktır. Bu sayede farklı sönümleyici pozisyonlarının yapının tepkisi üzerinde yaratacağı tesiri kıyaslamalı olarak görebileceğiz. Bu örnekte dikkate alacağımız yapı Bölüm 5.1' de ifade edilmiş olan yapı olacaktır. Yapının tüm özellikleri yukarıdaki örneklerdekiyle aynıdır. Bu örnekte Bölüm 5.1.1' de de kullanılmış olan sürtünmeli cihazlar kullanılacaktır. Cihaz özellikleride yine ilgili örnekteki ile aynıdır. Ve yine her katta iki çerçeveye birer adet cihaz bağlanacaktır.

Paragrafın başında bahsetmiş olduğumuz dört farklı sönümleyici pozisyonu aşağıda ifade edilmiştir.

Durum 1. Üniform (her katta ve aynı sayıda) sönümleyici dağılımı durumu

Durum 2. Sadece 1. kata sönümleyici yerleştirilmesi durumu

Durum 3. Sadece 2. kata (katarası ötelemenin maks. olduğu kat) sönümleyici yerleştirilmesi durumu

Durum 4. Sadece 5. kata (maks. göreceli yanal deplasmanların olduğu kat) sönümleyici yerleştirilmesi durumu

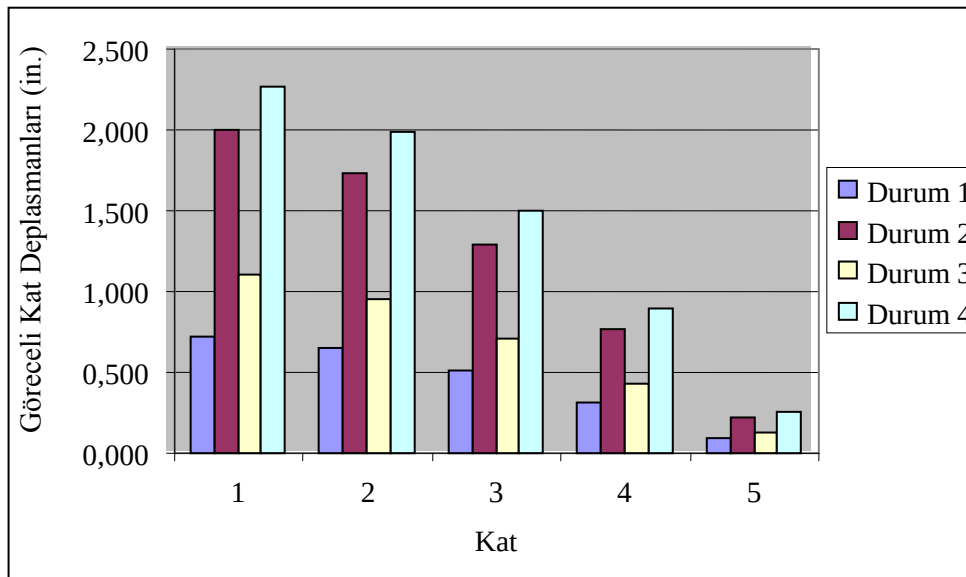
Yukarıda belirtmiş olduğumuz bu dört farklı durum için SAP2000 programıyla analiz yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.5 ve Tablo 5.6' da listelenmiştir. Tablo 5.5 ile göreceli kat deplasmanları, Tablo 5.6 ile de katarası öteleme değerleri ifade edilmektedir. Daha kolay bir kanıya varılması amacıyla elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 5.2 ve Şekil 5.3' te gösterilmiştir.

Tablo 5.5 : Yapının Göreceli Kat Deplasmanları (in.)

Kat	Göreceli Kat Deplasmanlar (in.)			
	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
5	0,718	1,995	1,102	2,271
4	0,648	1,729	0,949	1,986
3	0,515	1,293	0,712	1,505
2	0,319	0,763	0,431	0,892
1	0,093	0,219	0,126	0,254

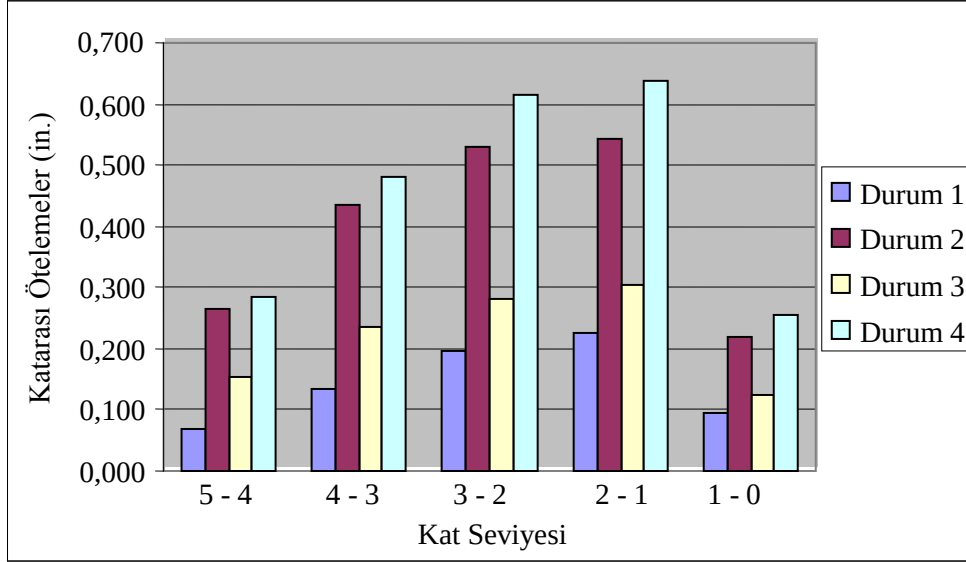
Tablo 5.6 : Yapının Katarası Ötelemeleri (in.)

Kat Seviyesi	Katarası Ötelemeler (in.)			
	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
5 - 4	0,070	0,266	0,153	0,285
4 - 3	0,133	0,436	0,237	0,480
3 - 2	0,196	0,530	0,282	0,614
2 - 1	0,226	0,544	0,305	0,638
1 - 0	0,093	0,219	0,126	0,254

**Şekil 5.2 : Göreceli Kat Deplasmanları – Sönümleyici Pozisyonu İlişkisi**

Tablo 5.5, Tablo 5.6 ve Şekil 5.2, Şekil 5.3’ ten açıkça görebileceğimiz gibi; öncelikle üniform (Durum 1) dağılımlı yapı hem göreceli kat deplasmanlarında hem de katarası ötelemelerinde daha iyi sonuç vermektedir. Durum 2 ve Durum 4’ te Durum 1’ e kıyasla düşük performans gösterilmiş ve oldukça yüksek deplasman

değerleri elde edilmiştir. Durum 3’ te ise Durum 1’ e oldukça yakın bir performans kaydedilmiştir. Buradan görülebileceği gibi optimum yerleşimin elde edilmesimde Durum 1 ve sonrasında Durum 3 daha uygun alternatiflerdir.



Şekil 5.3 : Katarası Ötelemeleri – Sönümleyici Pozisyonu İlişkisi

5.3 Sönümleyici-Berkitme Birleşim Tiplerinin Yapı Tepkisine Etkisi

Bu örnekte Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 ile ifade edilmiş olan sönümleyici-berkitme birleşimleri ele alınacaktır. Böylece farklı sönümleyici-berkitme birleşimlerinin yapı tepkisi üzerindeki etkisi görülmeye çalışılacaktır. Bu örnekte de bir örnekte kullanmış olduğumuz yapı ve özellikleri ile yine sürtünmeli cihazlar kullanılmıştır. Bu örnekte diagonal, ters V, çapraz ve üst ve alt düğme (toggle) tipleri kullanılmış ve analizi yapılacak olan yapıya ait berkitme-sönümleyici birleşim tipi parametreleri Tablo 5.7’ de dört farklı durum için belirtilmiştir.

SAP2000 analiz sonuçları, göreceli kat deplasmanları ve katarası öteleme değerleri olmak üzere sırasıyla Tablo 5.8 ve Tablo 5.9’ de listelenmiştir. Daha kolay bir kanıya varılması amacıyla elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’ te gösterilmiştir.

Tablo 5.7 : Berkitme-sönümleyici Birleşim Tipi Parametreleri

Tip	Kat	θ_1	θ_2	α_b	α_d	d_o^*	c_d	$\alpha_d c_d$
Diagonal	1	34,7	-	0,676	0,676	0,125	1,102	0,745
	Diğ.	42,1	-	0,551	0,551	0,145	0,951	0,524
Ters V	1	54,2	-	0,686	1	0,150	1,378	1,378
	Diğ.	61,1	-	0,469	1	0,200	1,033	1,033
Çapraz	1	34,7	-	1,352	1	0,125	1,654	1,654
	Diğ.	42,1	-	1,102	1	0,145	1,425	1,425
Üst Düğme	1	30,0	48,0	16,600	16,600	0,070	2,953	49,016
	Diğ.	30,0	31,0	2,441	2,441	0,100	2,067	5,043

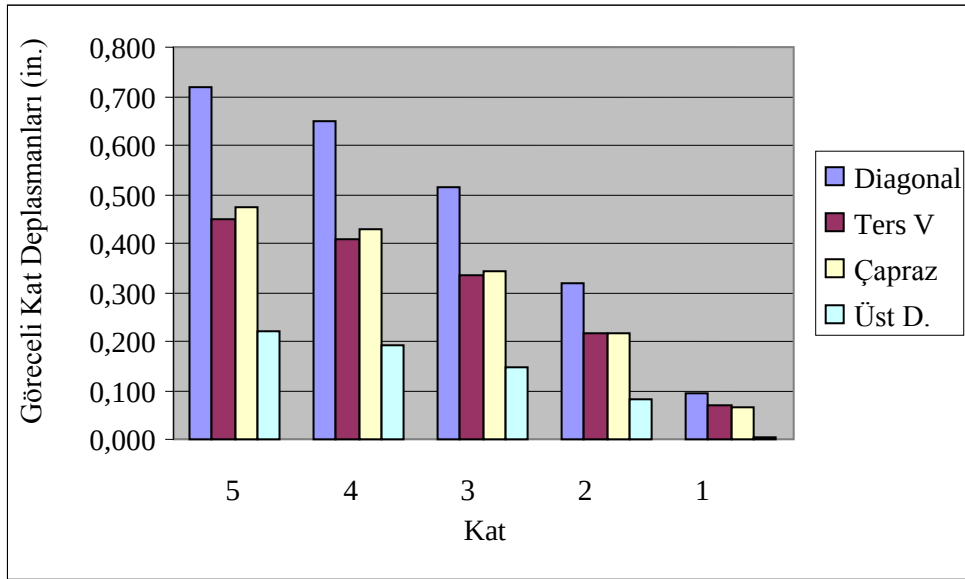
* : Cihaz deplasmanları (d_o), uygun değerlere yuvarlanmış olarak alınmıştır.

Tablo 5.8 : Yapının Göreceli Kat Deplasmanları (in.)

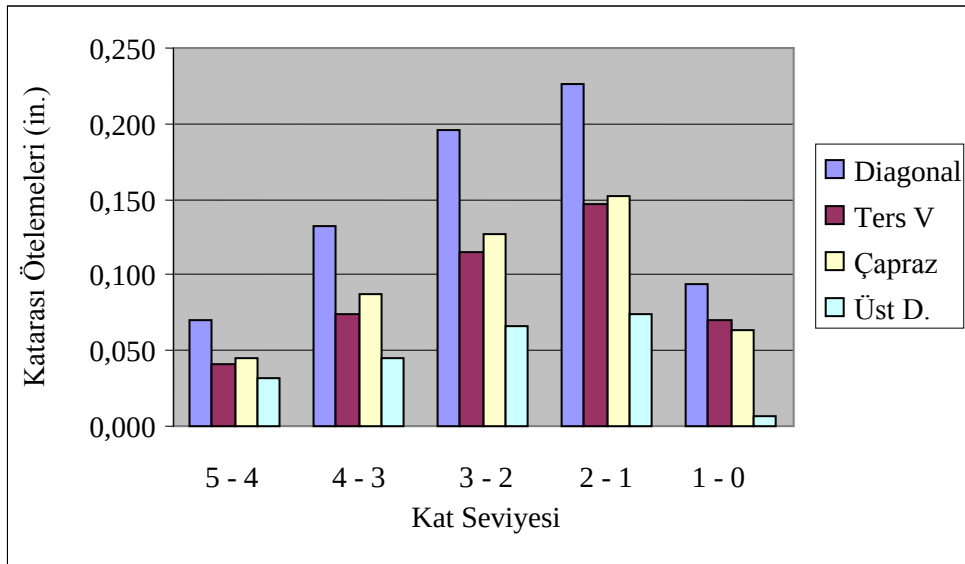
Kat	Göreceli Kat Deplasmanlar (in.)			
	Diagonal	Ters V	Çapraz	Üst Düğme
5	0,718	0,449	0,475	0,222
4	0,648	0,407	0,430	0,191
3	0,515	0,333	0,343	0,146
2	0,319	0,217	0,216	0,080
1	0,093	0,070	0,064	0,006

Tablo 5.9 : Yapının Katarası Ötelemeleri (in.)

Kat Seviyesi	Katarası Ötelemeler (in.)			
	Diagonal	Ters V	Çapraz	Üst Düğme
5 - 4	0,070	0,042	0,045	0,031
4 - 3	0,133	0,074	0,087	0,045
3 - 2	0,196	0,115	0,127	0,066
2 - 1	0,226	0,147	0,152	0,074
1 - 0	0,093	0,070	0,064	0,006



Şekil 5.4 : Göreceli Kat Deplasmanları – Sönümleyici-Berkitme Birleşimi İlişkisi

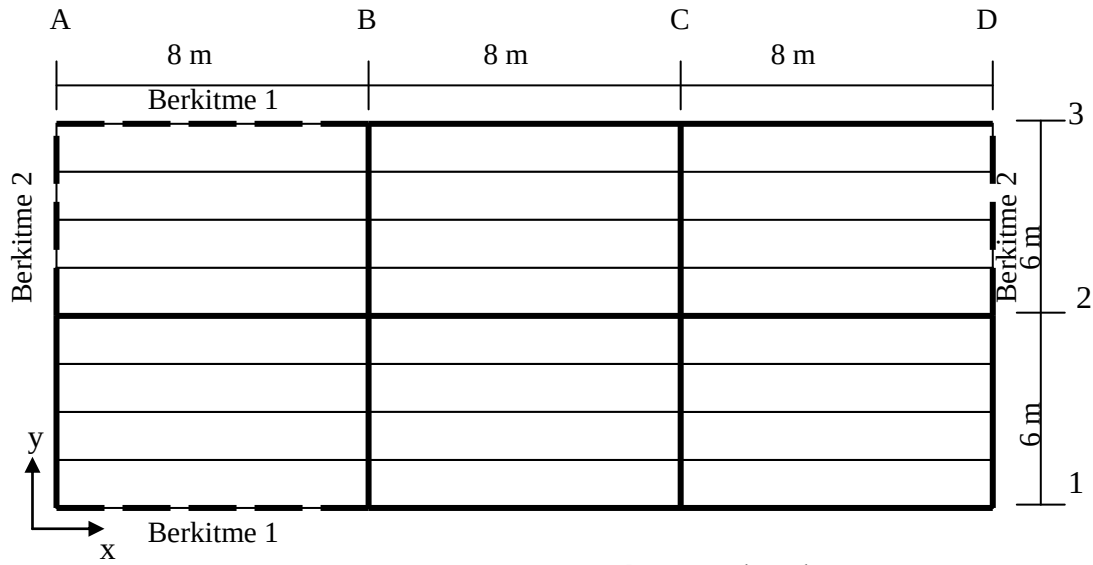


Şekil 5.5 : Katarası Ötelemeleri – Sönümleyici-Berkitme Birleşimi İlişkisi

Yukarıdaki tablo ve şekillerden de açıkça görebileceğimiz gibi; üst düğme tipi birleşim diğerlerinden oldukça iyi performans göstermiştir. Ters V ve Çapraz tipi birleşimler birbirine yakın performanslar göstermiştir. Diagonal birleşim ise en düşük performans değerlerini vermiştir. Esasen bu sonuçlar bağlanma parametreleri arasındaki farklardan da tahmin edilebilirdi.

5.4 Oval Delikli, Sürtünme Bulonlu Birleşimler

İnceleme konusu yapı 6 katlı, merkezi çaprazlı ve moment çerçevesi çelik bir sistem olup, tipik kat kalıp planı ve 1 aksının görünüşü sırasıyla; Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’ de gösterildiği gibidir. Çözümleme için 3 Mart 1992 Erzincan Depremi D-B ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremi K-G bileşenlerine ait ivme kayıtları kullanılmıştır. 1998 Türk Deprem Yönetmeliği madde 6.9’ a göre ve yerel zemin sınıfının Z3 olması durumuna göre ölçeklenmiştir. Ölçek çarpanları Tablo 5.10’ da verilmiştir. Tüm modlar için %5’ lik modal sönüm öngörülmüştür. Söz konusu yapı sadece x-x yönünde incelenmiştir.



Şekil 5.6 : Yapı Tipik Kat Kalıp Planı

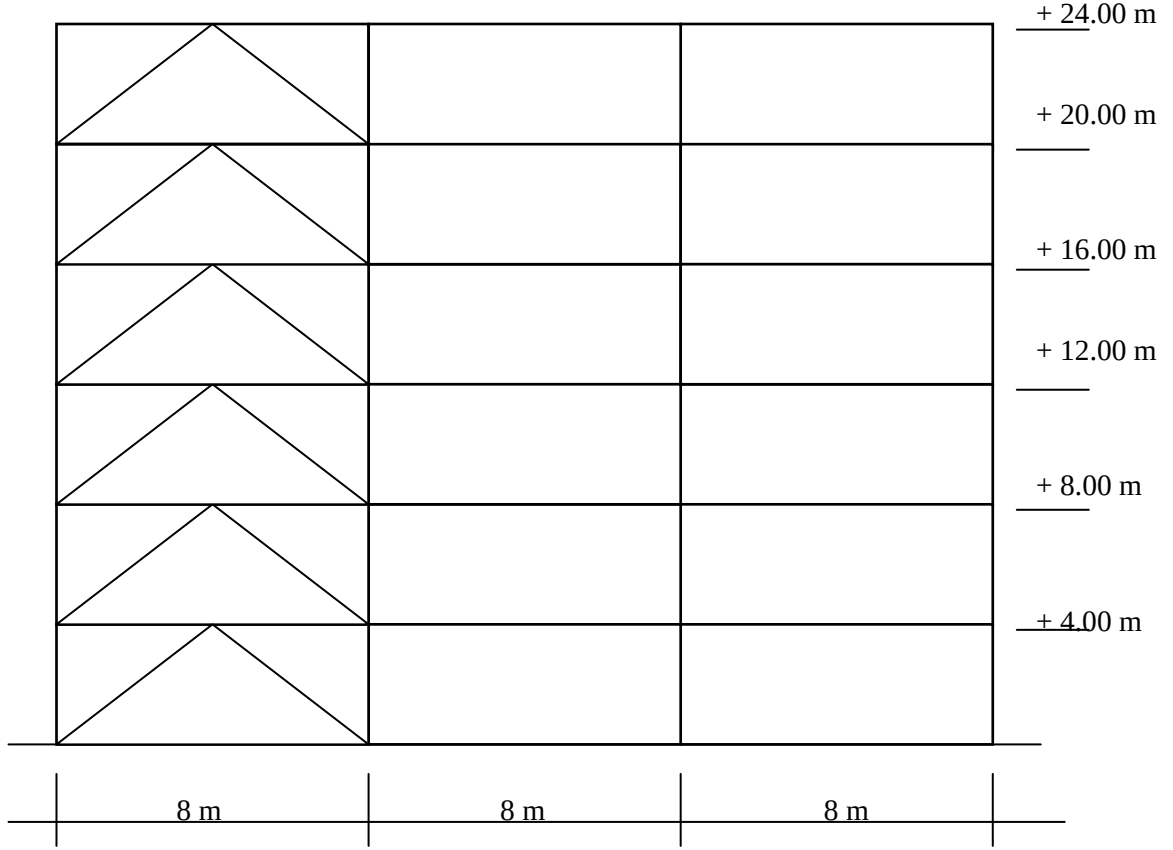
Tablo 5.10 : Dizayn Depremlerinin Özellikleri

Kayıt	V"max	Ölçek
Erzincan 1992	0,50g	1,15
Düzce 1999	0.75g	0.83

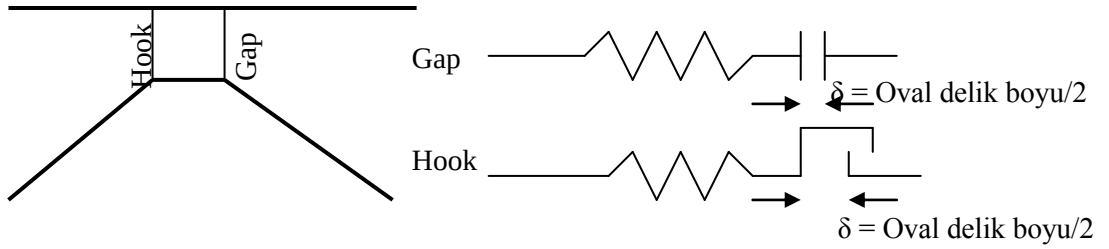
İnceleme konusu yapının doğrusal elastik modeli, SAP2000 Non-Linear bilgisayar programı ile modellenmiştir. Kirişler IPE360, kolonlar HEM400 ve berkitmeler HEB240 seçilmiştir.

Doğrusal elastik çözümlemesi yapılan sistem, berkitme bağlantı noktalarındaki oval deliklerin modele dahil edilmesi ve bu noktaların Şekil 5.8’ de gösterilmiş olan doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının tanımlanmasıyla yeniden

irdelenmiştir. Berkitme-kiriş ara yüzeyinde sürtünme kuvvetinin sağlanabilmesi için, pirinç levhadan mamul şim kullanılmıştır.



Şekil 5.7 : 1 Aksının Görünüşü



Şekil 5.8 : Berkitme-Kiriş Birleşim Noktasının Detayı

Bu örnekte elastik rijitlik olarak 10E+06 kN/m seçilmiştir. Sistem dört farklı oval delik uzunluğuna ve dört ayrı öngerme kuvvetine göre irdelenmiştir. Birinci adımda elastik deprem kuvveti, diğer adımlar ise bu kuvvetin sırasıyla; 0.75, 0.50 ve 0.25 çarpımıyla elde edilmiştir. Oval delik uzunlukları sırasıyla 40 mm, 60 mm, 80 mm ve sınırsız olarak belirlenmiştir.

Yapılan doğrusal olmayan analiz (nonlinear time history analysis) sonucunda kat deplasmanları ve katarası deplasmanları sırasıyla; Tablo 5.11 ve Tablo 5.12' de

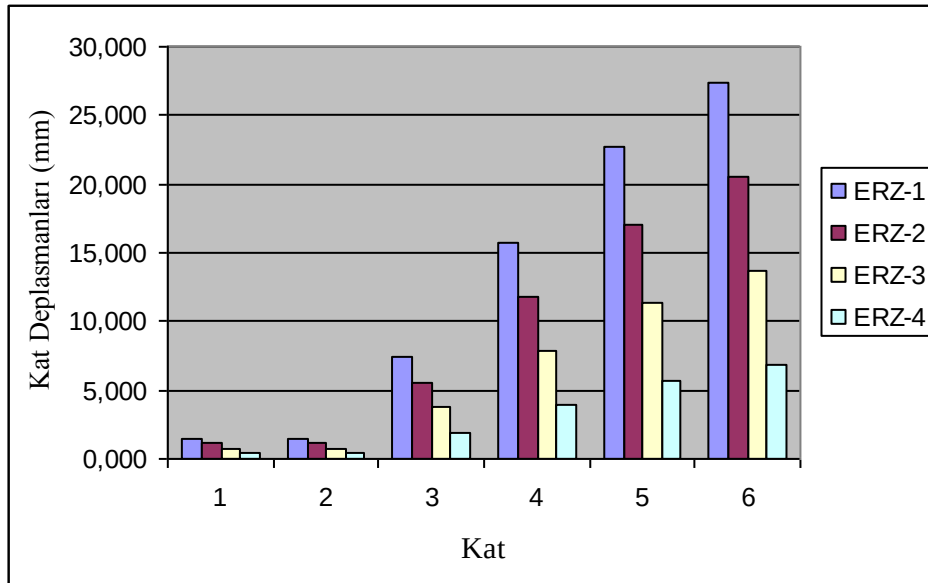
listelenmiş ve daha kolay kıyaslama yapabilmek için sırasıyla; Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’ de grafik olarak verilmiştir.

Tablo 5.11 : Kat Deplasmanları

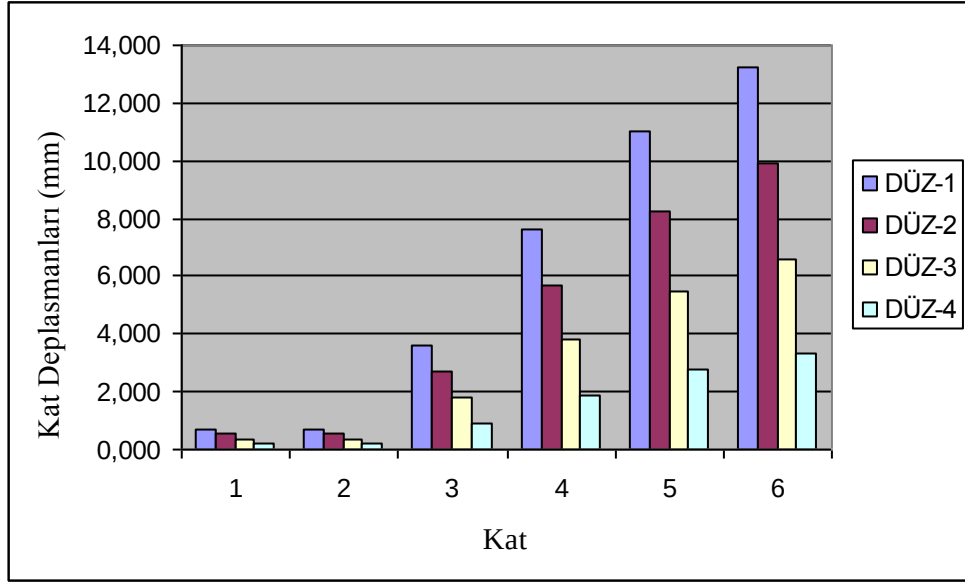
Kat Deplasmanları (mm)								
Kat	Erz-1	Erz-2	Erz-3	Erz-4	Düz-1	Düz-2	Düz-3	Düz-4
1	1.498	1.124	0.749	0.375	0.723	0.542	0.362	0.181
2	1.498	1.124	0.749	0.375	0.723	0.542	0.362	0.181
3	7.435	5.576	3.717	1.859	3.591	2.693	1.795	0.898
4	15.757	11.818	7.878	3.939	7.610	5.708	3.805	1.903
5	22.747	17.061	11.374	5.687	10.987	8.240	5.493	2.747
6	37.390	20.543	13.695	6.848	13.229	9.922	6.615	3.307

Tablo 5.12 : Katarası Ötelemeleri

Katarası Ötelemeler (mm)								
Kat	Erz-1	Erz-2	Erz-3	Erz-4	Düz-1	Düz-2	Düz-3	Düz-4
6-5	4.643	3.482	2.321	1.161	2.242	1.682	1.122	0.562
5-4	6.990	5.243	3.496	1.748	3.377	2.532	1.688	0.844
4-3	8.322	6.242	4.161	2.080	4.019	3.015	2.010	1.005
3-2	5.937	4.452	2.698	1.484	2.868	2.151	1.433	0.717
2-1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1-0	1.498	1.124	0.749	0.375	0.723	0.542	0.362	0.181

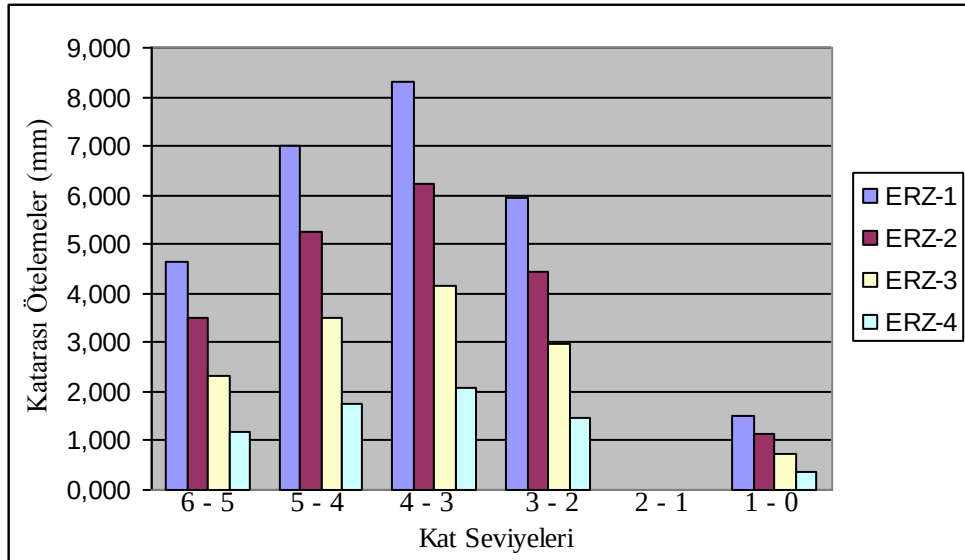


Şekil 5.9 : Erzincan Depremine İlişkin Kat Deplasmanları

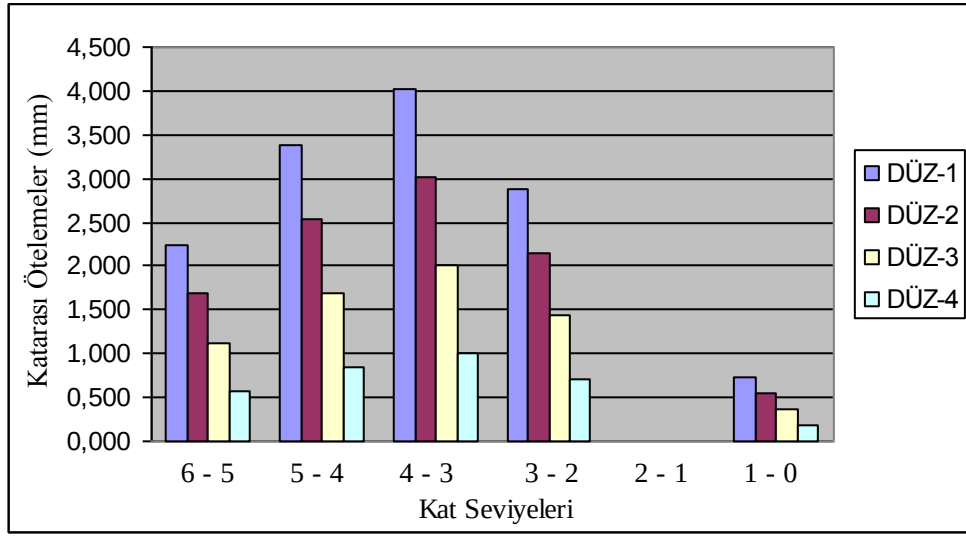


Şekil 5.10 : Düzce Depremine İlişkin Kat Deplasmanları

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’ den görülebileceği gibi oval delik boyundaki artışla beraber deplasman değerleri önemli oranda azalmaktadır. Buradan da yorumlanabileceği gibi, deplasman değerlerini azaltmak için iki yol izlenebilir. Birincisi, düşük sürtünme kuvvetleri uygulamak (4. adım), ikincisi ise sistemin elastik enerji kapasitesini arttırmak. Zira, sistemi başlangıç durumuna geri çeken kuvvet ne kadar büyükse ve ya sürtünme kuvveti ne kadar küçük olursa yatay yerdeğiştirme miktarları da o kadar az olur.



Şekil 5.11 : Erzincan Depremine İlişkin Katarası Ötelemeleri



Şekil 5.12 : Düzce Depremine İlişkin Katarası Ötelemeleri

6. SONUÇLAR

Yapılmış olan bu çalışmada, daha öncede vurguladığımız gibi özellikle binalar üzerinde odaklanılmıştır. Bu bağlamda pasif enerji sönümleme sistemlerinin günümüzde kullanılmakta olan tipleri belirtilmiştir ve bu cihazların çalışma prensipleri tanımlanmıştır. Ayrıca dizaynda dikkate alınacak olan düktilite ve sıcaklık gibi parametrelere bağlı olarak büyütülmüş deprem yer hareketlerinin viskoz sönüm üzerindeki etkileri dikkate alınmıştır. Yine bu amaçla belirlenmiş olan sönüm düzeltme faktörlerinin deprem hareketine etkilmiştir. Elastoplastik, bilineer ve polinom formulu kuvvet-deplasman ilişkileriyle modellenen sönümleyici cihazlar, eş sönüm ve rijitlik parametrelerinin hesaplanmasıyla ÇSDS' ler için uygulanabilir hale getirilir. Burada çeşitli standartların getirilmiş olduğu performans kriterleri, kullanım amacı, mimari, çevre sıcaklığı ve ekonomik maliyet gibi etkenler referans noktaları olarak belirlenmelidir.

Çalışmada sönümleyici ilaveli yapının analizi için dört farklı yöntem önerilmiştir. Bu methodlar en karmaşıktan en basite doğru olarak sıralanmış ve dizaynır için alternatif olarak sunulmuştur. Sayısal örneklerde doğrusal yapı ve doğrusal sönümleyici yöntemi (DY/DS) seçilmiş ve SAP2000 programı kullanılarak çözülmüştür.

Yapılan ilk uygulamada, geleneksel bir yapı öncelikle sönümleyici ilavesi olmaksızın analiz edilmiş, kat deplasmanı ve katarası öteleme tepkileri belirlenmiştir. Aynı yapıya sürtünme ve VE cihazlarının ayrı ayrı ilavesini içeren iki durum için yapı yeniden analiz edilmiş ve gösterge olarak ele aldığımız tepki parametrelerindeki önemli iyileşmeler gözlenmiştir. Buradan cihaz seçimi iyi yapıldığı takdirde, sönümleme cihazlarının ilavesinin maliyet, zaman, performans ve iş gücü kaybı bakımından önemli avantajlar getirdiği gözlenmiştir.

Yine sönümleyici ilaveli yapıların dizaynında önemli bir nokta olan optimum cihaz yerleşimine ışık tutacak bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada, basit mantık yürüterek karar verilebilecek olan pozisyonlara cihaz yerleştirilmiş ve cihazların yerlerinin değişimiyle birlikte gelen yeni yatay deplasman değerleri incelenmiştir.

Optimum yerlerin bulunmasının performansta önemli derecede iyileştirmeleri beraberinde getirebileceği görülmüştür.

Diğer bir sayısal uygulamada ise, sönümletici-berkitme birleşim tipinin seçimine ilişkin fikir verebilecek bir örnek ele alınmıştır. Birleşim tiplerinin belirlenmesinde istenen performans değerleri, maliyet ve yapının fiziksel şartlarının uygunluğu dikkat edilmesi gereken bir nokta ortaya çıkmaktadır.

Pasif enerji sönümleme sistemlerinden oval delikli, sürtünme bulonlu birleşimler diğer bir uygulama konusunu teşkil etmektedir. Bu tür kontrol sistemlerinin modellenmesi, dizaynı ve analizi örnek yapı üzerinde irdelenmiştir. Burada önemli nokta, berkitme-kiriş birleşimini gerçekleştiren bulonların kayma hareketi yapacağı delik boyunun belirlenmesidir. Zira, deprem kuvveti etkidiğinde, yapı, oval delik boyunca hareket ederek enerji sönümlerken aynı zamanda elastik sınırlar içinde kalacaktır. Delik boyunun sonuna gelindiğinde hareket sona ermemişse, yapı plastik deformasyona başlayacak ve ikinci mertebe etkileri ortaya çıkacaktır. Bu bakımdan, delik boyunun seçimi yapının elastik kalmasını birinci dereceden etkilemektedir. Bu nedenle seçimi önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aiken, I. D. and Kelly, J. M.,** 1990. Earthquake simulator testing and analytical studies of two energy-absorbing systems for multistory structures, *Technical Report, UCB/EERC-90/03*, University of California at Berkeley, Berkeley, CA.
- Arima, F., Miyazaki, M. Tanaka, H. and Yamazaki, Y.,** 1988. A study on buildings with large damping using viscous damping walls, *Ninth World Conf. Earthquake Eng, V.*, 821-826, Tokyo.
- Ashour, S. A. and Hanson. R. D.,** 1987. Elastic seismic response of buildings with supplemental damping, *Report, UMCE 87-01*, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Ayre, R. S.,** 1961. Transient response to step and pulse functions. In *Shock and Vibration Handbook*. New York, NY, McGraw-Hill.
- Bergman, D. M. and Goel, S. C.,** 1987. Evaluation of cycling test of steel-plate devices for adding damping and stiffness, *Technical Report, UMCE 87-10*, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Chopra, A. K.,** 1980. Dynamics of structures - a primer, *EERI Monograph*, Oakland, CA, Earthquake Engineering Research Institute.
- Clark, P. W., Aiken, I. D., Tajirian, F., Kasai, K., Ko, E. and Kimura, I.,** 1999. Design procedures for buildings incorporating hysteretic damping devices, *Proc. Int. Post-SMIRT Conf. Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibrations of Structures*, Cheju, South Korea.
- Constantinou, M. C. and Sigaher, A. N.,** 2000. Energy dissipation system configurations for improved performance, *Proc. 2000 Structures Congress*, Philadelphia, PA.
- Constantinou, M. C., Soong, T. T. and Dargush, G. F.,** 1998. Passive energy dissipation systems for structural design and retrofit, Monograph 1, Buffalo, NY, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- Constantinou, M. C. and Symans, M. D.,** 1992. Experimental and analytical investigation of seismic response of structures with supplemental fluid viscous dampers, *Technical Report, NCEER-92-0032*, National Center for Earthquake Engineering Research.
- Constantinou, M. C., Symans, M. D., Tsopeles, P. and Taylor, D. P.,** 1993. Fluid Viscous Dampers in Applications of Seismic Energy Dissipation and Seismic Isolation, *Proc. ATC 17-1 on Seismic Isolation Energy Dissipation and Active Control*, 2, 581-591, San Francisco, CA.

- FEMA 222A**, 1994. *NEHRP*, recommended provisions for seismic regulations for new buildings, Washington, DC.
- FEMA 273**, 1997a. *NEHRP*, guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, Washington, DC.
- FEMA 274**, 1997b. *NEHRP*, commentary on guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, Washington, DC.
- FEMA 302**, 1998. *NEHRP*, recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Washington, DC.
- FEMA 368**, 2000. *NEHRP*, recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Washington, DC.
- FitzGerald, T. F., Anagnos, T., Goodson, M. and Zsutty, T.**, 1989. Slotted bolted connections in aseismic design for concentrically braced connections, *Earthquake Spectra*, **5(2)**, 383-391.
- Foutch, D. A., Wood, S. L. and Brady, P. A.**, 1993. Seismic Retrofit of Nonductile Reinforced Concrete Frames using Viscoelastic Dampers. *Proc. ATC 17-1 on Seismic Isolation, Passive Energy and Active Control*, 2, 605-616. San Francisco, CA.
- Grigorian, C. E., Yang, T. S. and Popov, E. P.**, 1993. Slotted bolted connection energy dissipators. *Earthquake Spectra*, **9(3)**, 491-504.
- Hanson, R. D. and Soong, T. T.**, 2001. Seismic Design with Supplemental Energy Dissipation Devices, *EERI Monograph*, Oakland, CA, Earthquake Engineering Research Institute.
- Jennings, P. C.**, 1964. Periodic response of a general yielding building, *ASCE J. of Eng. Mech. Div.*, **90(EM2)**, 131-166.
- Kelly, J. M., Skinner, R. I. and Heine, A. J.**, 1972. Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures, *Bull. N.Z. Soc. Earthquake Eng.*, **5(3)**, 63-88.
- Kircher, C. A.**, 1998. Applicability, When Should Dampers Be Used? *Proc. SEANOC 1998 Spring Seminar on Passive Energy Dissipation*, Sacramento, CA.
- Krawinkler, H. and Seneviratna, G. D. P. K.**, 1998. Pros and cons of a pushover analysis for seismic performance evaluation, *J. Eng. Structures*, **20(4-6)**, 452-464.
- Lai, M. L. and Lunsford, D. A.**, 1994. Longevity of an Acrylic-Based Viscoelastic Damper for Building Applications, *Proc. Fifth Nat. Conf. On Earthquake Eng.*, Chicago, IL.
- Lin, Y. Y. and Chang, K. C.**, 2003. Study on Damping Reduction Factor for Buildings under Earthquake Ground Motions, *ASCE J. Struct. Eng.*, **129(2)**, 206-213.
- Lobo, R. F., Bracci, J. M., Shen, K. L., Reinhorn, A. M. and Soong, T. T.**, 1993a. Inelastic response of reinforced concrete structures with viscoelastic braces, *Technical Report, NCEER-93-0006*, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.

- Lobo, R. F., Bracci, J. M., Shen, K. L., Reinhorn, A. M. and Soong, T. T.,** 1993b. Inelastic response of R/C structures with viscoelastic braces, *Earthquake Spectra*, **9(3)**, 419-446.
- Lopez Garcia, D.,** 2001. A Simple Method for the Design of Optimal Damper Configurations in MDOF Structures, *Proc. Of EERI Annual Meeting, Monterey, NY*.
- Makris, N. and Constantinou, M. C.,** 1990. Viscous Dampers, testing, modeling and application in vibration and seismic isolation, *Technical Report, NCEER-90-0028*, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- Makris, N., Roussos, Y., Whittaker, A. S. and Kelly, J. M.,** 1997. Viscous heating of fluid dampers during seismic and wind excitations, *Report, UCB/EERC-97/11*, University of California at Berkeley, Berkeley, CA.
- Newmark, N. M. and Hall, W. J.,** 1982. Earthquake Spectra and design, *EERI Monograph*, Oakland, CA, Earthquake Engineering Research Institute.
- Nims, D. K., Inaudi, J. A., Richter, P. J. and Kelly, J. M.,** 1993a. Application of the Energy-Dissipating Restraint to Buildings, *Proc. ATC-17-1 on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Control*, 2, 627-638. San Francisco, CA.
- Nims, D. K., Richter, P. J. and Bachman, R. E.,** 1993b. The use of the energy-dissipating restraint for seismic hazard mitigation, *Earthquake Spectra*, **9(3)**, 467-489.
- Pall, A. S. and Marsh, C.,** 1982. Response of friction-damped braced frames, *J. Struct. Div., ASCE*, **108(ST6)**, 1313-1323.
- Pall, A. S., Marsh, C. and Fazio, P.,** 1980. Friction joints for seismic control of large panel structures, *J. Prestressed Concrete Inst.*, **25(6)**, 38-61.
- Pong, W. S., Tsai, C. S. and Lee, G. C.,** 1994. Seismic study of building frames with added energy-absorbing devices, *Technical Report, NCEER-94-0016*, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- Ramirez, O. M., Constantinou, M. C., Kircher, C. A., Whittaker, M. W., Jhonson, M. W. and Gomez, J. D.,** 2000. Development and Evaluation of Simplified Procedures for Analysis and Design of Buildings with Passive Energy Dissipation Systems, *Technical Report, NCEER-00-0010*, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- Scholl, R. E.,** 1993. Design Criteria for Yielding and Friction Energy Dissipators, *Proc. ATC-17-1 on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Control*, 2, 485-495, San Francisco, CA.
- Shen, K. L. and Soong, T. T.,** 1995. Modeling of viscoelastic dampers for structural applications, *ASCE J. of Eng. Mech.*, **121(6)**, 694-701.
- Skinner, R. I., Kelly, J. M. and Heine, A. J.,** 1975. Hysteresis dampers for earthquake-resistant structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **3**, 287-296.

- Soong, T. T. and Constantinou, M. C.(Eds.)**, 1994. Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, Vienna and New York, Springer-Verlag.
- Soong, T. T. and Dargush, G. F.**, 1997. Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering, New York, NY, John Wiley & Sons.
- Steimer, S. F., Godden, W. G. and Kelly, J. M.**, 1981. Experimental behavior of a spatial piping system with steel energy absorbers subjected to a simulated differential seismic input, *Report, UCB/EERC-81/09*, Universty of California at Berkeley, Berkeley, CA.
- Tsai, K. C., Chen, H. W., Hong, C. P. and Su, Y. F.**, 1993. Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction, *Earthquake Spectra*, **9(3)**, 505-528.
- Tsopelas, P., Constantinou, M. C., Kircher, C. A. and Whittaker, A. S.**, 1997. Evaluation of simplified methods of analysis for yielding structures, *Technical Report, NCEER-97-0012*, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- Tyler, R. G.**, 1978. Tapered steel cantilever energy absorbers, *Bulletin of the N.Z. Nat. Soc. For Earthquake Eng.*, **11(4)**, 282-294.
- Wada, A., Huang, Y. H. and Iwata, M.**, 1999. Passive damping technology for buildings in Japan, *Progress in Struct. Eng. and Mat.*, **2(3)**, 1-15.
- Whittaker, A. S., Bertero, V. V., Thompson, C. L. and Alonso, J. L.**, 1991. Seismic testing of stell plate energy dissipation devices, *Earthquake Spectra*, **7(4)**, 563-604.
- Wu, B., Ou, J. P. and Soong, T. T.**, 1997. Optimal placement of energy dissipation devices for three-dimensional structures, *Earthquake Spectra*, **19(2)**, 113-125.
- Wu, J. P.**, 1987. Statistical study of inelastic response of structures with high damping subjected to earthquakes, *Ph.D. dissertation*, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Xia, C., Hanson, R. D.**, 1992. Influence of ADAS elemnet parameters on building seismic response, *ASCE J. of Struct. Eng.*, **118(7)**, 1903-1918.
- Xia, C., Hanson, R. D. and Wight, J. K.**, 1990. A study of ADAS element parameters and their influences on earthquake response of building structures, *Report, UMCE 87-10*, Universty of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Zhang, R. H. and Soong, T. T.**, 1992. Seismic design of viscoelastic dampers for structural applications, *ASCE J. of Struct. Eng.*, **118(5)**, 1375-1392.
- Zhang, R. H., Soong, T. T. and Mahmoodi, P.**, 1989. Seismic response of steel frame structures with added viscoelastic dampers, *Earthquake Eng. and Struct. Dyn.*, **18**, 389-396.

ÖZGEÇMİŞ

Erkan MURAT 1979 yılında Eskişehir’ de doğdu. İlk ve orta öğrenimini burada, lise öğrenimi ise İzmir Suphi Koyuncuoğlu Lisesinde tamamladı. 1998-1999 öğretim yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ ne kaydoldu ve 2002 yılında aynı bölümden mezun oldu. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı Deprem Mühendisliği Programı’ na kaydoldu. Halen bu programda öğrenimini sürdürmektedir.

