T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ve TABAN İZOLATÖRLERİNİN BETONARME BİR BİNAYA UYGULANMASI

Bumin Kağan ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Konya, 2007

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ ve TABAN İZOLATÖRLERİNİN BETONARME BİR BİNAYA UYGULANMASI

Bumin Kağan ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 11.04.2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç.Dr. Mehmet KAMANLI
(Danışman)

Yrd. Doç.Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

Yrd. Doç.Dr. Ali KÖKEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TABAN İZOLATÖRLERİNİN BETONARME BİR BİNAYA UYGULANMASI

Bumin Kağan ÖZTÜRK

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Mehmet KAMANLI

2007, 100 sayfa

Jüri

Yrd. Doç.Dr. Mehmet KAMANLI

Yrd. Doç.Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

Yrd. Doç.Dr. Ali KÖKEN

Klasik yöntemle dizayn edilen yapılar sismik kuvvetlere kendi başlarına karşı koymaktadır. Bu da yapısal sisteme gelen yükü arttırmakta dolayısıyla kesitlerin büyümesini ve gerilmelerin artmasını sağlamaktadır. Yapısal Kontrol Sistemi uygulanan yapılarda dinamik etki pasif, aktif, yarı aktif ve karma kontrol sistemleriyle absorbe edilebilmektedir. Böylece insan hayatı ve stratejik yapılarda bulunan değerli ekipmanlar korunabilmektedir.

Bu çalışmada yapısal kontrol sistemleri genel olarak incelenmiş, belli başlı kontrol sistemleri tanıtılmıştır. Ayrıca örnek bir betonarme binaya kurşun çekirdekli kauçuk izolatör uygulanmış, izolatörler dizayn edilmiş ve ankastre temelli yapıya göre performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapısal Kontrol Sistemleri, Deprem, Sismik Taban İzolasyonu

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EVALUATION OF STRUCTURAL CONTROL SYSTEMS AND APPLICATION OF BASE ISOLATORS TO A REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

Bumin Kağan ÖZTÜRK

Selcuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Adviser: Asist. Prof.Dr. Mehmet KAMANLI

2007, 100 pages

Jury

Asist. Prof.Dr. Mehmet KAMANLI

Asist. Prof.Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

Asist. Prof.Dr. Ali KÖKEN

The structures designed using classical methods withstand the seismic effects by their own. This method increases the accepted load that results in an increase in the dimensions of the cross-sections and stresses. The dynamic effect in the structures that are applied with structural control system can be absorbed using passive active semi-active hybrid control systems. Thus, human life and valuable equipment in the strategic structures can be protected.

In this study, structural control systems were investigated in general and principal control systems were introduced. Besides, lead plug bearing was applied to a sample reinforced concrete building, isolators were designed and a performance analysis was performed based on a fixed base structure.

Key Words: Structural Control Systems, Earthquake, Seismic Base Isolation

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd.Doç.Dr. Mehmet KAMANLI'ya ve Prof.Dr. M.Yaşar KALTAKCI'ya, yardımlarını esirgemeyen İnş.Yük.Müh. S.Mircan KAYA'ya ve İnş.Yük.Müh. Mehtap TUNCER'e; varlıklarını sürekli hissettiren arkadaşlarım İnş. Yük. Müh. A.Özgün OK, İnş. Yük. Müh. Birol YILMAZ, İnş. Müh. M.Alper TEMEL, İnş. Müh. Yavuz BENZEK, Kezban USLU, değerli kardeşim İnş. Müh. Emrah ÖZTÜRK'e ve aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
TEŞEKKÜR ..... **iii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
KISALTMALAR ..... **xii**
1.GİRİŞ **1**
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **4**
3.MATERYAL METOD **7**
3.1.Pasif Kontrol Sistemleri 7
3.1.1.Taban (Sismik) İzolasyon Sistemleri 7
3.1.1.1.Kauçuk İzolatörler 8
3.1.1.2.Sönümleyici Sistemler 10
3.1.1.3.Taban İzolasyon Sistemlerinin Dünyadaki Bazı Uygulamaları 11
3.1.1.4.Taban İzolasyonlu Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları 13
3.1.2.Pasif Enerji Sönümleyen Sistemler 13
3.1.2.1.Metal sönümleyiciler 13
3.1.2.2.Sürtünmeli sönümleyiciler 18
3.1.2.3.Viskoelastik sönümleyiciler 18
3.1.2.4.Viskoz sönümleyiciler 19
3.1.2.5.Ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD) 19
3.1.2.6.Ayarlı sıvı sönümleyiciler (TLD, TLCD) 20
3.2.Aktif Kontrol Sistemleri 21
3.2.1. AVDS Sistemi (Active Viscous Damping System) 21
3.2.2.Aktif Hava Yastığı Kontrol Sistemi (Active Air-Bag Response Control System) 23
3.2.3. Aktif Kütle Sönümleyici (AMD) 23

3.2.4. AVS Aktif Rijitlik Değiştirici Sistem (Active Variable Stiffness System) 24
3.2.5.ABS Aktif Kuşaklama Sistemi (Active Bracing System) 25
3.3.Karma ve Yarı Aktif Kontrol Sistemleri 25
3.3.1.Karma Kontrol Sistemleri 26
3.3.1.1.HMD Karma Kütle Sönümleyici (Hybrid Mass Damper) 26
3.3.1.2.Karma Taban İzolasyonu 27
3.3.2.Yarı Aktif Kontrol Sistemleri 27
3.3.2.1.Değişken -Orifis Sönümleyici 27
3.3.2.2.Değişken Sürtünmeli Sönümleyici 29
3.3.2.3.Kontrol Edilebilen Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler 29
3.3.2.4.Darbe Etkili Yarı Aktif Sönümleyiciler 29
3.3.2.5.Kontrol Edilebilen Sıvı Sönümleyiciler ve Sistemler 29
3.3.2.6.SHD Yarı Aktif Hidrolik Sönüm Sistemi (Semi-active Hydraulic Damper) 31
3.4.Sismik Taban İzolasyon Hesaplamaları 32
3.4.1.UBC–97 'deki Ternimolojiler ve Tanımları 33
3.4.2.Yatay Yük Tayini 34
3.4.3. Hedef Periyotlar ve Malzeme Özellikleri 40
3.4.4.Minimum Yatay Rijitlik ve Minimum Deplasman Değerlerinin Hesabı 41
3.4.5. İzolatör Disk Çapının Hesaplanması 42
3.4.6.İzole Edilmiş Yapının Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplaması 43
3.4.7.Burulmaya Bağlı Toplam Deplasmanın Hesaplanması 44
3.4.8.Etkin Düşey Modüllerin Hesaplanması 45
3.4.9.Düşey Titreşim Periyodunun Hesaplanması 46
3.4.10. Kayma Gerilmesi ve Düşey Yük Hesaplaması 48
3.4.11.Kurşun Çekirdek Dizaynı 50
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI 53
4.1.Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörün Betonarme Bir Binaya Uygulanması 53
4.2.Uniform Building Code-1997'ye Göre Yatay Yüklerin Belirlenmesi 54
4.3.Sabit Temelli Yapı İçin Tasarım Kesme Kuvveti 55

4.4.Malzeme Özellikleri ve Hedef Periyotlar 56
4.5.Minimum Yatay Rijitliklerin Hesabı 57
4.6.İzolatör Yüksekliğinin Bulunması 59
4.7.Burulmaya Göre Toplam Deplasman Hesabı 63
4.8.Etkin Düşey Modüllerin Hesaplanması 65
4.9.Düşey Titreşim Periyodunun Hesabı 66
4.10.Kayma Deformasyonu Hesabı 68
4.11.Ortak Alanın Hesaplanması 69
4.12.Maksimum Düşey Yük Hesabı 70
4.13.Burkulma Risk Değerlendirmesi 71
4.14.Kurşun Çekirdek Çapının Hesaplanması 72
4.15.Kesme Kuvvetine Bağlı Çap Kontrolü 75
4.16.Kauçuk İzolatörlerin Yapı Maliyetine Etkisi 76
5. SONUÇLAR **79**
6. KAYNAKLAR **81**
7.EKLER **84**

SEMBOL LİSTESİ

A	İzolatörün Kesit Alanı
A'	İzolatörün Ortak Alanı
$A_{kurşun}$	Kurşun Çekirdek Alanı
A_{loop}	Histeretik Döngü Alanı
B	Sönüm İndirgeme Faktörü
C_{VD},C_{AD}	UBC-97 DBE'de sismik sabitler
C_{VM},C_{AM}	UBC-97 MCE'de sismik sabitler
D	İzolatör Çapı
d_1	Kurşun Çekirdek Çapı
d_D	Rijitlik Merkezinde Dizayn Deplasmanı
d_M	Rijitlik Merkezinde Maksimum Deplasman
$E_{eff,v}$	Düşey Yönde Etkin Basınç Modülü
g	Yerçekimi İvmesi
G	Kayma Modülü
I	Bina Önem Katsayısı
k_2	Kauçuğun Elasto-plastik Rijitliği
k_D	Dizayn Deplasmanında İzolatörün Etkin Rijitliği
k_M	Maksimum Deplasmanda İzolatörün Etkin Rijitliği
k_{eff}	Etkin Rijitlik
M_M	MCE Tepki Katsayısı
N_a , N_b	Yakınlık Faktörleri
P_{cr}	İzolatörün Burkulma Yükü
Q_y	Kurşun Çekirdeğin Akma Kuvveti
R	Sismik Yük İndirgeme Faktörü (Sabit Temelli)
R_i	Sismik Yük İndirgeme Faktörü (İzole Edilmiş)
S	Şekil Faktörü
T_h	Yapı Yatay Periyodu
T_v	Yapı Düşey Periyodu
T_D	Hedef Dizayn Periyodu

T_M	Hedef Maksimum Periyot
V_D	İzole Edilmiş Yapını Taban Kesme Kuvveti
$V_{S,D}$	İzole Edilmiş Yapını İndirgenmiş Taban Kesme Kuvveti
V_{sabit}	Sabit Temelli Yapını Taban Kesme Kuvveti
W	Yapı Toplam Ağırlığı
Z	Sismik Bölge Faktörü
β_{eff}	Etkin Kritik Sönüm Oranı
ε_z	Düşey Birim Yer Değiştirme
γ_{max}	Maksimum Kayma Yer Değiştirmesi
γ_s	Yatay Yüke Bağlı Kayma Yer Değiştirmesi
γ_v	Düşey Yüke Bağlı Kayma Yer Değiştirmesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1.Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör

Şekil 3.2.SWCC Firması Tarafından Üretilen Kauçuk İzolatör

Şekil 3.3.Deprem Yükü Altında Sabit Temelli ve İzole Edilmiş Yapıların Davranışları

Şekil 3.4.Kuru Sürtünmeden Yararlanan EDF/SPIE Sistemi

Şekil 3.5. "Foothill Communities Law and Justice Center" ve "Fire Department Command and Control Facility" Binaları

Şekil 3.6.Honeycomb Sönümleyici ve Yerleşim Planı

Şekil 3.7.Honeycomb Sönümleyici Detayı

Şekil 3.8.Y Şekilli Kuşaklamalı Sönümleyici ve Sönümleyicilerin Yerleşim Şekilleri

Şekil 3.9.Noktasal Sönümleyicilerin Yerleşim Planı

Şekil 3.10.ADAS Cihazı Yerleşim Planı ve Şekil Değiştirmesi

Şekil 3.11.Pall Sürtünme Cihazı ve Tipik Yerleşimi

Şekil 3.12."CenterPoint Tower" Binası ve Kullanılan Ayarlı Pandül Kütle Sönümleyici

Şekil 3.13."Nagasaki Airport Tower" Binası ve Uygulanan TLD Tankları

Şekil 3.14.AVDS Cihazı Enine ve Boyuna Kesitleri

Şekil 3.15.AVDS Cihazının 7 Katlı Yapıya Uygulanma Şekli

Şekil 3.16.Kyobashi Seiwa Binası ve AMD Cihazları Yerleşimi

Şekil 3.17.Aktif Rijitlik Değiştirici Sistem Şeması

Şekil 3.18.Shinjuku Park Tower Binasında Kullanılan V Şekilli HMD Cihazı

Şekil 3.19.Değişken-Orifis Sönümleyici

Şekil 3.20.Değişken-Orifis Sönümleyicinin Kullanıldığı Bir Köprü

Şekil 3.21.Kontrol Edilebilen Sıvı Sönümleyici Ana hatları

Şekil 3.22.LORD Firması Tarafından Üretilen MR Cihazı

Şekil 3.23.SHD Sisteminin Uygulaması

Şekil 3.24.UBC-97 Sismik Kuşaklar

Şekil 3.25.Spektral Değerlerin Değişimi

Şekil 3.26.Burulmaya Bağlı Dışmerkezlilikler

Şekil 3.27.İzolatör Kesitleri

Şekil 3.28.Kauçuğun Dairesel Katmanının ve Parabolik Basınç Dağılımının Çizimi

Şekil 3.29.Kayma Deplasmanı d_D ve Ortak Alan A'

Şekil 3.30.Temel Histeretik Döngü Parametreleri

Şekil 4.1.Örnek Yapıya Ait Spektral Değerler

Şekil 4.2.Kauçuk İzolatör Tabaka Kalınlıkları

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1.Sismik Kuşak Faktörü

Çizelge 3.2.UBC-97 ‘de Türkiye İçin Belirtilen Sismik Bölgeler

Çizelge 3.3.Zemin Profilleri

Çizelge 3.4.Sismik Kaynak Tipleri

Çizelge 3.5.Kaynak Yakınlık Faktörü (N_a)

Çizelge 3.6.Kaynak Yakınlık Faktörü (N_v)

Çizelge 3.7.M_M değerinin Belirlenmesi

Çizelge 3.8.Sismik Sabit C_a’nın Belirlenmesi

Çizelge 3.9.Sismik Sabit C_v’nin Belirlenmesi

Çizelge 3.10.C_{AM} Değerinin Belirlenmesi

Çizelge 3.11.C_{VM} Değerinin Belirlenmesi

Çizelge 3.12.Sönüm İndirgeme Faktörü

Çizelge 4.1.İzolatörlerin Özellikleri

Çizelge 4.2.Kolonlara Gelen Yükler ve Kolon Boyutları

Çizelge 4.3.İzolatör Yüksekliğine Bağlı Periyot Değişimi

KISALTMALAR

TMD	: Ayarlı Kütle Sönümleyici (Tuned Mass Damper)
TLD	: Ayarlı Sıvı Sönümleyici (Tuned Liquid Damper)
TLCD	: Ayarlanabilir Sıvı Kolon Sönümleyici (Tuned Liquid Column Damper)
ADAS	: Added Damping and Stiffness
RADAS	: Reinforced Added Damping and Stiffness
SMA	: Şekil Hafızalı Alaşımlar (Shape Memory Alloys)
AVDS	: Aktif Viskoz Sönümleyici (Active Viscous Damping System)
AMD	: Aktif Kütle Sönümleyici (Active Mass Damper)
AVS	: Aktif Rijitlik Değiştirici sistem (Active Variable Stiffness System)
ABS	: Aktif Kuşaklama Sistemi (Active Bracing System)
HMD	: Karma Kütle Sönümleyici (Hybrid Mass Damper)
SHD	:Yarı Aktif Hidrolik Sönümleyici (Semi-active Hydraulic Damper)

1.GİRİŞ

Yapı rijitliğinin arttırılması statik ve dinamik yüklerin karşılanması için uygulanan bir yöntemdir. Rijitliğin ve sünekliğin yüksek düzeyde olması daha kaliteli malzeme ve daha büyük kesitler anlamına gelmektedir. Yapıya gelecek olan dinamik yüklerin önceden tahmin edilmesi ve buna karşı koyucu kuvvetlerin üretilmesi veya üst yapı ile temel arasına sönümleyici elemanlar uygulamak yeni bir tasarım yöntemidir. Bu sayede insan hayatı, stratejik yapılar ve değerli ekipmanlar klasik yöntemle inşa edilenlere göre daha güvenle korunabilmektedir.

Yapısal kontrolün öncüsü olarak, yüz yıl kadar önce Japonya'da ahşap bir evi mafsallı mesnetlerle dinamik yüklerden izole eden Prof. Dr. John Milne sayılabilir. Ancak pratik olarak kontrol sistemlerin yapılara güvenle uygulanabilmesi 20. yüzyılın ortalarından itibaren gerçekleşmiştir. Günümüzde deprem ve rüzgardan dolayı meydana gelen dinamik yükler yapısal kontrol sistemleri ile başarı ile karşılanabilmektedir.

Yapısal kontrol sistemleri üç ana grupta incelenebilir. Bunlar pasif kontrol sistemleri, aktif kontrol sistemleri ve karma ve yarı aktif kontrol sistemleridir. Pasif kontrol sistemleri taban izolasyonu ve pasif enerji sönümleyen sistemler olarak ikiye ayrılır.

Taban izolasyon sistemleri yüksekliği az binalar ve köprülerde uygulanan yapı doğal titreşim periyodunu 2 saniye civarına çıkarılması ile sismik titreşimleri sönümleyen sistemlerdir. Ancak depremin 2 saniye civarındaki titreşim periyodunda yüksek enerji açığa çıkarılması taban izolasyon sistemini yetersiz kılabilir. Periyodu arttırmak çözüm olarak düşünülse bile, bunun sonucunda istenmeyen derecede yüksek titreşim genlikleri ile karşılaşılır. Taban izolasyonlu sistemlerde depremde oluşacak yatay deplasmanlara dikkat etmek ve bunları kontrol altına almak gereklidir. Yapısal kontrol sistemlerinin kullanılmasındaki asıl amaç, hastane, iletişim merkezleri, acil durum merkezleri vb. stratejik yapılardaki değerli ekipmanların zarar görmesini engellemektir. Pasif kontrol sistemlerinin ikincisi olan pasif enerji sönümleyen sistemlere örnek olarak ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD),

metal sönümleyiciler, sürtünmeli sönümleyiciler, viskoelastik sönümleyiciler, viskoz ve ayarlı sıvı sönümleyiciler verilebilir. Taban izolasyon sistemlerine nispeten daha yüksek binalarda uygulanabilen TMD, toplam yapı kütlesinin yüzde biri oranında kütleye sahip klasik bir titreşim sönümleyicidir. Taban izolasyon sistemleri ve pasif enerji sönümleyen sistemler dizayn edildikleri depremlerde maksimum koruma sağlarlar ve ek enerji gereksinimi duyulmaz.

Dinamik titreşimleri algılayıp çok kısa sürelerde karşı koyucu kuvvetler üreten sistemleri aktif kontrol sistemleri olarak adlandırabiliriz. Rijitlik değiştirme, kütle sönümleme gibi yöntemlerle elde edilen bu kuvvetlerle yapı dizayn edildiği depremlerde dinamik yüklere karşı koyar. Aktif kontrol sistemlerinin çalışması için sistem dışarıdan enerjiye ihtiyaç duyar. Muhtemel elektrik kesintisi gibi bir durumda sistemin çalışmasına devam edebilmesi için ek enerji büyük kapasiteli bataryalarla sağlanabilir. Gelişmiş teknolojisi ile maliyeti fazla olan aktif kontrol sistemleri için bu da ek bir maliyet artışı anlamına gelmektedir. Aktif kontrol sistemlerine alternatif olan ve dezavantajlarını nispeten azaltan yarı aktif kontrol sistemlerinde dış enerji ihtiyacı daha azdır ve sistemin çalışabilirliğinin sürdürülebilmesi için akümülatör veya düşük kapasiteli bataryalar yeterli olabilmektedir. Ayrıca uygulamada yarı aktif kontrol sistemlerinin aktif kontrol sistemleri kadar başarılı olması büyük bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

Karma kontrol sistemleri ise, aktif ve pasif sistemlerin beraber kullanılması ile meydana gelen sistemlerdir. Bu sistemlerin geliştirilmesindeki asıl amaç birbirlerinin eksiklik ve dezavantajlarını gidererek daha güvenli ve ekonomik (işletme ve yapım aşaması) sistemler elde edebilmektir.

Bu çalışmada 4 katlı betonarme bir binaya taban izolasyon sistemi, kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılarak uygulanmıştır. İzolatörler Uniform Building Code-1997 şartnamesine göre dizayn edilmiş, sabit temelli yapı ve izole edilmiş aynı yapı için taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Böylece üstyapıyı etkileyen deprem kuvvetlerindeki azalma oranı görülebilecektir. Uluslararası kabul görmüş, FIP INDUSTRIALE firması ve MAURER SÖHNE firmalarından kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için fiyat alınmış ve sismik taban izolasyonun yapı maliyetine etkisi incelenmiştir. Proaktif bir yaklaşımla, deprem kuşağında olan ülkemizde

telafisi imkansız ya da ekonomik girdilerinin ülke ekonomisine vereceği büyük zararlardan korumak amacıyla, yapısal kontrol sistemlerinin ekonomikliği göz önüne alınarak ne tip yapılarda, ne tür kontrol sistemlerinin uygulanabileceği hakkında genel bir fikir verebilmek amacıyla bu tez hazırlanmıştır.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

- Kelly, J.M., (1991), çalışmasında taban izolasyon sistemlerinden, kauçuk esaslı izolatörlerin gelişimi ve uygulanmış örneklerini incelemiştir. Bu yapıların, deprem etkisi altında maruz kaldığı ivme değerlerini vermiş, klasik yöntemle yapılan yapılara göre, taban izolasyon sistemlerinin uygulanmış olduğu yapıların depremden çok daha az etkilendiğini göstermiştir.

- Bisch, P., (1993), pasif kontrol sistemlerinden taban (sismik) izolatörlerin çalışma prensibini, malzeme ve karakteristik özelliklerini, mekanik özelliklerini ele almıştır. Çalışmasında taban izolasyonunun çalışma şeklini ve uygulanma yöntemleri irdelenmiştir. Belirli yapı yüksekliğinden sonra taban izolatörlerinin kullanılmasının sakıncalarına değinmiştir.

- Aldemir, Ü., (1994), depreme dayanıklı yapı tasarımı için geliştirilen yapısal kontrol sistemlerinden aktif kontrol sistemleri incelemiştir. Daha önceden uygulanmış aktif kontrol sistemleri hakkında bilgi vermiş ve bu sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını irdelemiştir.

- Housner, G.W., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos, A.G., Claus, R.O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T.T., Spencer, B.F. and Yao, J.T.P., (1997), çalışmalarında yapısal kontrol sistemlerinin geçmişten günümüze kadar gelişimi hakkında genel bilgiler vermiştir. Çalışmada pasif, aktif, yarı aktif ve karma kontrol sistemleri inlenmiş uygulama alanları ve deprem etkisi altında performansları ve kullanılabilirlikleri değerlendirilmiştir. Her bir sistem için dünyada uygulanmış örnekler verilmiş ve avantaj, dezavantajları belirtilmiştir. Kontrol sistemlerinin uygulandığı yapıların klasik yönteme göre inşa edilmiş yapılara nazaran deprem güvenirliğinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

- Higashino, M., Aizawa, S., Yamamoto, M. and Toyama, K., (1998), aktif kütle sönümleyici sistemlerin rüzgar ve deprem etkisi altında davranışlarını incelemiş ve aktif kütle sönümleyicilerin rüzgar ve küçük ölçekli depremlerde daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Dünyada Aktif Kütle Sönümleyici uygulanmış yapılara örnekler vermiş ve aktif kütle sönümleyicilerin çalışma prensiplerini açıklamıştır.

- Naeim, F.,Kelly, J.M., (1999), taban izolasyonlu sistemlerin tasarım aşamasında önemli olan noktaları çeşitli örnekler vererek açıklamıştır. Taban izolasyonlu sistemlerde, elastik olma özelliğine sahip mesnetlerin, burulma ve stabilite sırasındaki davranışlarını inceleyerek, deprem etkisinde doğrusal olmayan davranışların çözümünde uygulama sırasını ve uygulama adımlarını ele almıştır. Bu çeşit sistemleri çözümlerken kullanılabilen programların nasıl kullanılması gerektiğini ve özelliklerini araştırmıştır. Aynı zamanda "1997 Uniform Building Code" un taban izolasyonlu yapılardaki tasarımın uygulamasındaki genel olan ilkeleri açıklamış ve sağlanacak minimum koşulları belirtmiştir.

- Tezcan, S. ve Cimilli, S.,(2002), Binaların periyotlarını büyüterek deprem etkilerini azaltmak amacıyla kullanılan sismik taban izolatörlerini uygulamalarını avantajlarını ve dezavantajlarını incelemiştir. Sismik taban izolasyonunun yaralarını göstermek amacıyla iki katlı örnek bir bina önceden ankastre temelli sonradan sismik taban izolasyonlu olarak ele alınmış statik eşdeğer deprem yükleri ve ayrıca zaman tanım alanında deprem kayıtları altındaki davranış analizleri yapılmıştır. "Türkiye Deprem Yönetmenliğinde (TDY-98), sismik taban izolatörleri kullanılarak binaları depreme karşı güvenli hale getirmeye dair hususlara yer verilmemiş, burada "Amerikan Bina Yönetmenliği (UBC-97)" nin ilgili maddeleri dikkate alınmıştır.

- Tezcan, S.,Erkal, A.,(2002), çalışmasında deprem titreşimlerini kontrol etmek maksadı ile kullanılan çeşitli pasif kontrol elemanları tanıtmış ve bunlar hakkında ayrıntılı bilgiler vermiştir. Yapmış olduğu uygulamasında dört katlı bir çerçeve sistem ele almıştır. Hiçbir cihaz kullanmadan temelinde ankastre mesnetli olarak depreme karşı davranışını analiz etmiştir. Daha sonra çerçeveye temel seviyesinde kauçuk sismik izolatörler konularak deprem analizini yenilemiştir. Ayrıca katlara çapraz yönlerde viskoelastik sönümleyiciler yerleştirilmiş ve tüm deprem analizi yenilenmiştir. En son olarak ise hem sismik izolatörler hem de viskoelastik sönümleyiciler kullanılarak çerçevenin depreme karşı davranışı yeniden incelenmiştir. Hesaplarında "Amerikan Bina Yönetmeliği (UBC-97)" kullanmış, ancak "Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY-98)" esas alınarak elde edilen öneri formüllere de yer vermiştir.

- Sansarcı,E., (2002), yapısal kontrol sistemlerini genel olarak incelemiş, uygulama alanları, günümüze kadar kontrol sistemlerinin uygulandığı yapılara örnekler, avantaj ve dezavantajları hakkında bilgiler vermiştir. Kontrol sistemlerini aktif, pasif ve karma ve yarı aktif kontrol sistemleri olarak üç grupta değerlendirerek ayarlanabilen sıvı sönümleyicilerin (TLD) yapılarda kullanımını açıklamıştır.

3.MATERYAL METOD

3.1.Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif Kontrol Sistemleri titreşim genliklerinin azaltılması ve sönümün arttırılması amacı ile kullanılır. Çatlama, kırılma, plastik deformasyon gibi mekanik özellikler yapının sönüm oranını belirler. Sönüm oranı arttıkça yapıda dinamik etkilerden dolayı oluşan titreşim genlikleri azalacak dolayısı ile hasar oranı düşecektir. Klasik yöntemle yapılan yapılarda rijitliğin artması ile enerji sönüm kapasitesi azalmakta bu da yüksek titreşim genlikleri ile sonuçlanmaktadır.

Pasif kontrol sistemlerinin dışarıdan enerji gereksinimi yoktur. Yapısal kontrol sistemleri arasında en ekonomik sınıf olması ve dizayn edildikleri depremlerde maksimum koruma sağlamaları sistemin avantajları olarak sayılabilir. Pasif kontrol sistemleri taban izolasyonu ve pasif enerji sönümleyen sistemler olarak sınıflandırılabilir. (Sansarcı 2002)

3.1.1.Taban (Sismik) İzolasyon Sistemleri

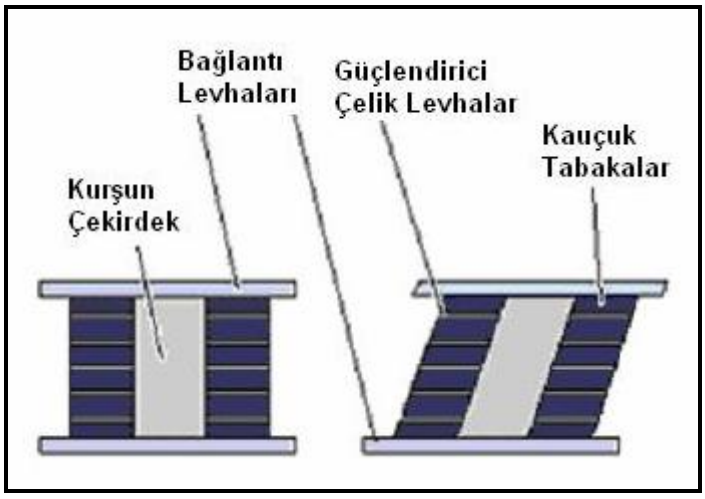
Sismik taban izolasyonu yapıyı iki parçaya ayırarak dinamik yüklerin üst yapıya daha az oranda iletilmesini sağlar. Taban izolasyonunda kullanılan malzeme düşey yönde rijit yatay yönlerde ise esnek davranış gösterir. Düşeyde rijitliğin artması amacı ile çok ince çelik plakalar (shim) kullanılır. Yatayda ise 100~200 mm mertebesinde deplasmana izin verilir. Bu sayede yapının birinci doğal titreşim periyodu artarak sismik yükler altında üst yapıda daha küçük ivmeler elde edilir. Klasik yöntemde ise, rijitliğin arttırılması sonucunda yapıda oluşacak ivme artacak ve yapı içinde bulunan değerli ekipmanlar zarar görecektir. Sünekliğin yüksek mertebede olması ise yapısal sistemde büyük hasarlar meydana getirecektir.

Sismik izolasyon uygulanan yapı aynı sabit temelli yapıdan daha büyük periyoda sahip olmalıdır. Bu sayede birinci modda oluşan şekil değiştirmeler izolatörler üzerinde kalacaktır. Diğer titreşim modları birinci moda ve yer hareketine

ortogonal olmaları nedeniyle sismik enerji üst yapıya iletilmez ve üst yapı hemen hemen rijit bir davranış sergiler. (Sansarcı 2002)

3.1.1.1.Kauçuk İzolatörler

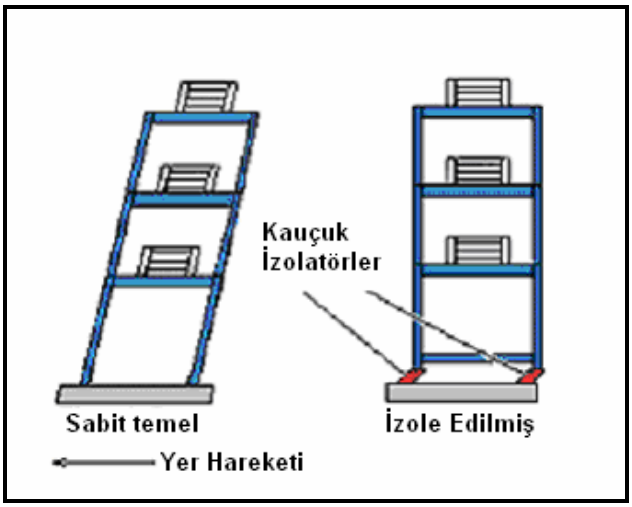
Kauçuk izolatörler, tabakalı olarak kauçuk ve çok ince çelik plakaların birleştirilmesi ile elde edilirler. Kauçuk yatay yönlerdeki esnekliği sağlarken çelik levhalar (shim) düşey yönde rijitliği sağlarlar. Şekil 3.1'de kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün genel yapısı görülmektedir. SWCC firması tarafından üretilen kauçuk izolatör Şekil 3.2'de verilmiştir. Dizayn aşamasında kauçuğun seçimi çok önemlidir. Genel olarak düşük kayma modülü, yüksek sönüm, yük sayanım kapasitesi ve zamana bağlı mekanik özellikledeki kötüleşmelerin az olması istenir. Yüksek kayma modülüne sahip (0.8~MPa) olan elastomerik izolatörler genellikle köprülerde kullanılır ve sönüm oranları (%7) düşüktür. Kayma modülünün kauçuğun yaşına ve ortam sıcaklığına bağlı olduğunu unutmamak gerekir. Sönüm oranı kauçuğun mekanik özelliklerine bağlıdır ve %20 oranında sönüm elde edilebilir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde %30 oranında sönüm sağlanabilmektedir. Deprem etkisi altında sabit temelli ve izole edilmiş yapıların davranışları Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.1.Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör



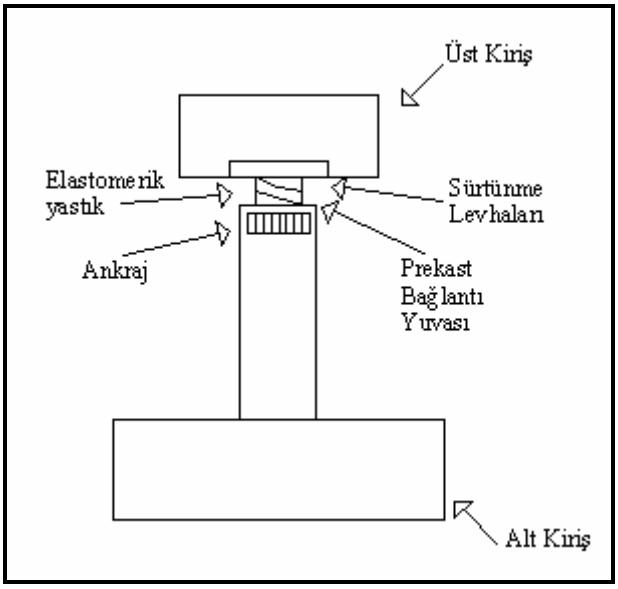
Şekil 3.2.SWCC Firması Tarafından Üretilen Kauçuk İzolatör



Şekil 3.3.Deprem Yükü Altında Sabit Temelli ve İzole Edilmiş Yapıların Davranışları

3.1.1.2.Sönümleyici Sistemler

Sönümleyici sistemleri çelik sönümleyiciler, oleodinamik cihazlar, kuru sürtünmeden yararlanan cihazlar ve yaylar olarak sınıflandırabiliriz. Çelik sönümleyiciler, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler gibi metalin plastikleşmesinden yararlanarak enerji sönümü sağlarlar. Oleodinamik cihazlar yağ ve ağır polimer molekülleri kullanarak sönüm sağlarlar. EDF/SPIE cihazı ise kauçuk izolatör üzerine monte edilerek sönüm sağlayan cihazlardır. Kuru sürtünmeden faydalanan bu cihazla, uygun sürtünme katsayısı ile kabul edilebilir yatay deplasman ve ivme elde edilebilmektedir. EDF/SPIE cihazı Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Yaylar düşeyde ve yatayda aynı oranda rijitlik sağlayan sönümleyicilerdir. Dizayn edilirken dönme değerleri kontrol edilmelidir. (Sansarcı 2002)



Şekil 3.4.Kuru Sürtünmeden Yararlanan EDF/SPIE Sistemi

3.1.1.3.Taban İzolasyon Sistemlerinin Dünyadaki Bazı Uygulamaları

İlk taban izolatörü uygulanan yapı Amerika Birleşik Devletleri'nde "Foothill Communities Law and Justice Center" binasıdır. Dört katlı olan yapıya 98 adet izolatör uygulanmıştır. (Şekil 3.5-a) Taban izolatörlerinin yapının inşasından sonra güçlendirme için uygulandığı yapılara örnek olarak The New Zealand Parliament House" verilebilir.

"West Japan Postal Computer Center" binası 47.000 m^2 oturma alanı ile taban izolasyonu uygulanmış en büyük yapılardan biridir. 1995 Kobe depreminde bina dışındaki ivme 0.41g iken, binanın altıncı katında 0.13g tespit edilmiştir. Yüksek sönüm kapasitesine sahip kauçuk izolatörler uygulanmış yapılara örnek olarak Los Angeles'da "Fire Department Command and Control Facility" (Şekil 3.5-b) ve İtalya'da "Administration Center of The National Telephone Company" binaları gösterilebilir.

68 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve 81 adet elastomerik izolatörün kullanıldığı "The University of Southern California Teaching Hospital" binasında 1994 Northridge depreminde (M=6,8) üst yapıda oluşan ivme %80 oranında azalmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.5.“Foothill Communities Law and Justice Center” Binası (a)
“Fire Department Command and Control Facility” Binası (b)

3.1.1.4.Taban İzolasyonlu Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları

Sismik taban izolasyon sistemlerinde, dizayn edildikleri depremlerden daha büyük depremlerde oluşacak yatay deplasman izolatörlerde kalıcı hasarlar bırakabilir. Tasarım aşamasında da büyük yatay deplasmanlara izin verilmemesi gerekir aksi taktirde yapıda devrilme momenti meydana gelebilir. Belirli bir yükseklikteki yapılara uygulanabilirler, yüksek katlı yapılarda tabanda kaldırma kuvveti oluşabilir.

Taban izolatörlerinin üretiminin kolay, diğer sistemlere nispeten ekonomik ve mekanik özelliklerinin zamana bağlı değişiminin fazla olmaması sistemin avantajlarındandır. (Sansarcı 2002)

3.1.2.Pasif Enerji Sönümleyen Sistemler

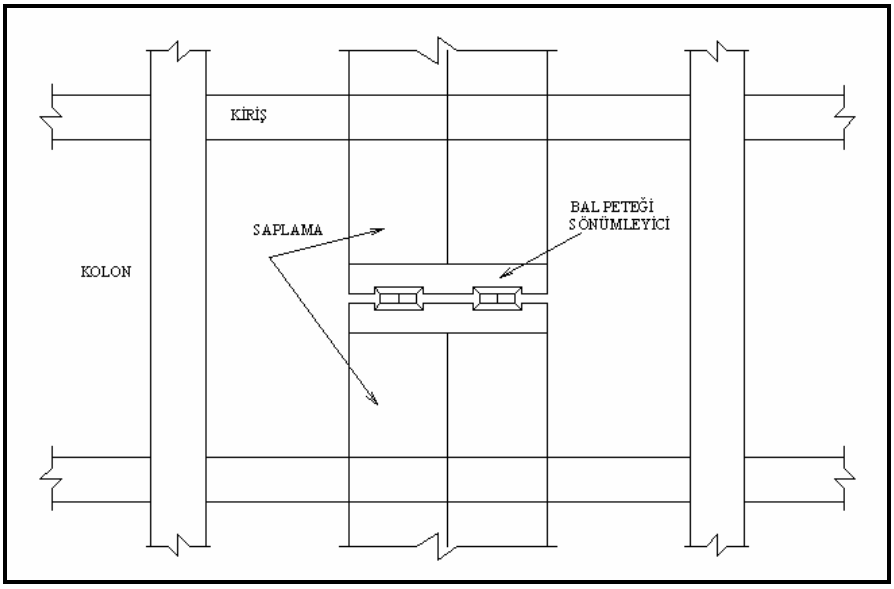
Pasif enerji sönümleyen sistemler, yapı taşıyıcı elemanlarına yerleştirilen sönümleyici tiplerindendir. Genel olarak metal sönümleyiciler, sürtünmeli sönümleyiciler, viskoelastik sönümleyiciler, viskoz sönümleyiciler, ayarlı kütle sönümleyici ve ayarlı sıvı sönümleyici olarak incelenebilir.

3.1.2.1.Metal sönümleyiciler

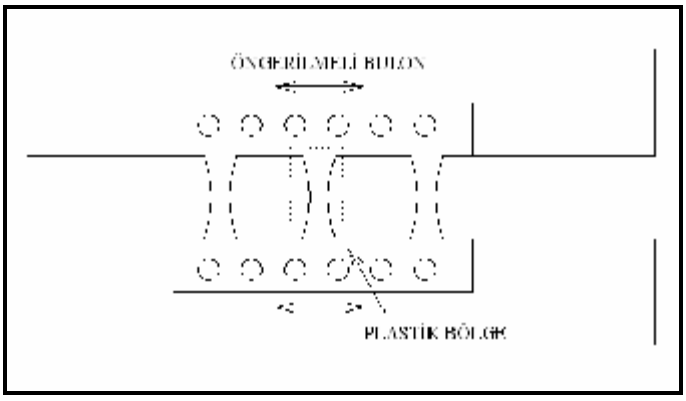
Metaller yumuşak çelikten imal edilir ve sistem metalin plastik deformasyonundan faydalanarak sönüm yapar. Akmanın uniform olarak yayılması için X ve üçgensel şekillerde üretilirler. Bazı metal sönümleyiciler için genel bilgiler aşağıda verilmektedir.

- Honeycomp (balpeteği) sönümleyiciler yumuşak çelikten üretilerek elastoplastik deformasyonlar sayesinde sismik enerjiyi sönümlerler ve katlar arasına uygulanarak dinamik etkiler sırasında tekrarlı olarak akma dayanımlarını aşarlar. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de bal peteği sönümleyicinin yerleşimi ve detayı verilmiştir.

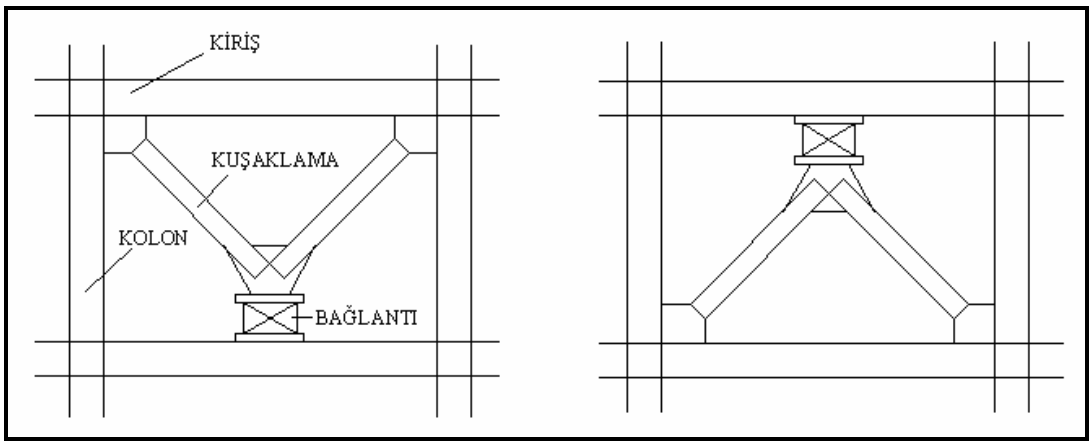
- Y şekilli kuşaklamalı sönümleyiciler katlar arasına yerleştirilir. Sistem bir adet bağlantı elemanı ve iki adet kuşaklamadan meydana gelir. Bağlantı elemanı düşük akma gerilmeli çeliktir. Deprem esnasında yapısal sisteme zarar gelmeden bağlantı elemanı akarak enerjiyi absorbe eder. Şekil 3.8'de sırasıyla Y şekilli kuşaklamalı sönümleyicilerin elemanları ve yerleşim şekilleri verilmektedir.
- Noktasal sönümleyiciler, ayrı binalar arasına yerleştirilir ve titreşim enerjisi karşılıklı çekme ve itme hareketleri ile karşılanır. Şekil 3.9'da noktasal sönümleyicilerin yerleşim tipleri görülmektedir.
- ADAS cihazı yapı çerçevesine yerleştirilir. Dinamik etki altında göreli kat ötelenmesi ile akma ve dolayısı ile enerji sönümü ADAS cihazında elde edilir. ADAS cihazının en büyük avantajı, cihazın kolaylıkla bir deprem sonrası değiştirilebilmesidir. Bu sistemde de Y şekilli kuşaklamalı sistemlerde olduğu gibi iki adet kuşaklama ve ADAS cihazı bulunur. ADAS cihazı yerleşim planı ve şekil değiştirmesi Şekil 3.10'da görülmektedir.
- RADAS cihazı 2 adet ana levha ve bunlara bağlı X veya üçgen şeklindeki elemanlardan meydana gelir. ADAS cihazının eksikliklerini tamamlamak için üretilmiştir. En önemli özellikleri cihazın kalıcı hasar gördükten sonra kolaylıkla değiştirilebilmesi ve imalatının kolay olmasıdır.
- Şekil hafızalı alaşımların özelliği kristal yapısının ısıtılarak değiştirilebilmesi, dolayısıyla sönüm oranının ayarlanabilmesi ve şekil değiştirme sonrası ısıtılarak eski şeklini alabilmesidir. Yapılarda kullanılan şekil hafızalı alaşım türleri nitinol, FeMnSi alaşımları, CuZnAl, CuAlNi ve bazı özel paslanmaz çelik alaşımlarıdır. (Sansarcı 2002)



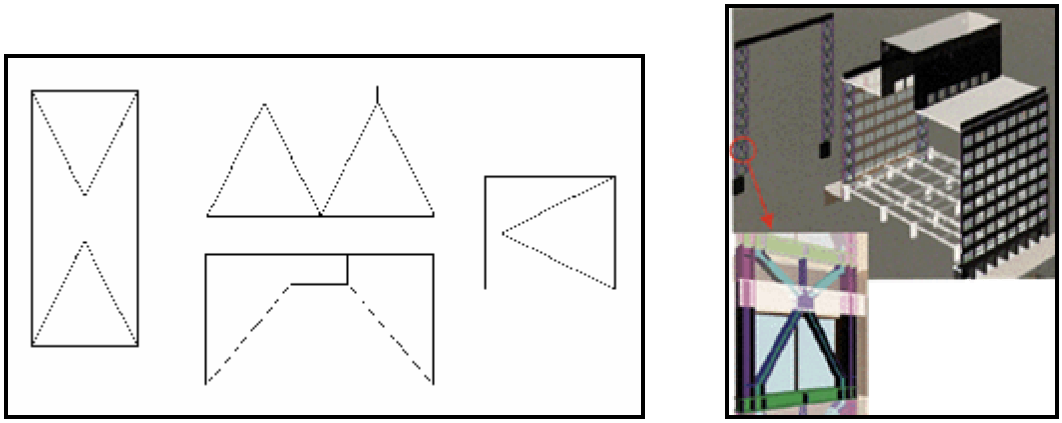
Şekil 3.6.Honeycomb Sönümleyici ve Yerleşim Planı



Şekil 3.7.Honeycomb Sönümleyici Detayı

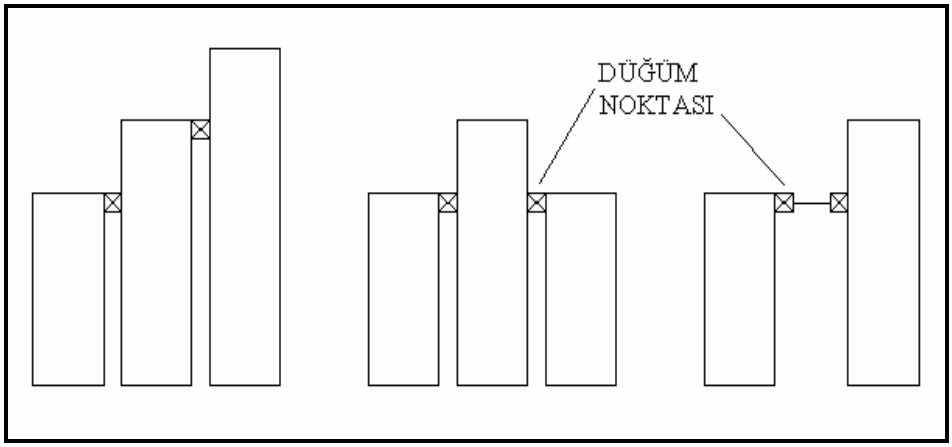


(a)

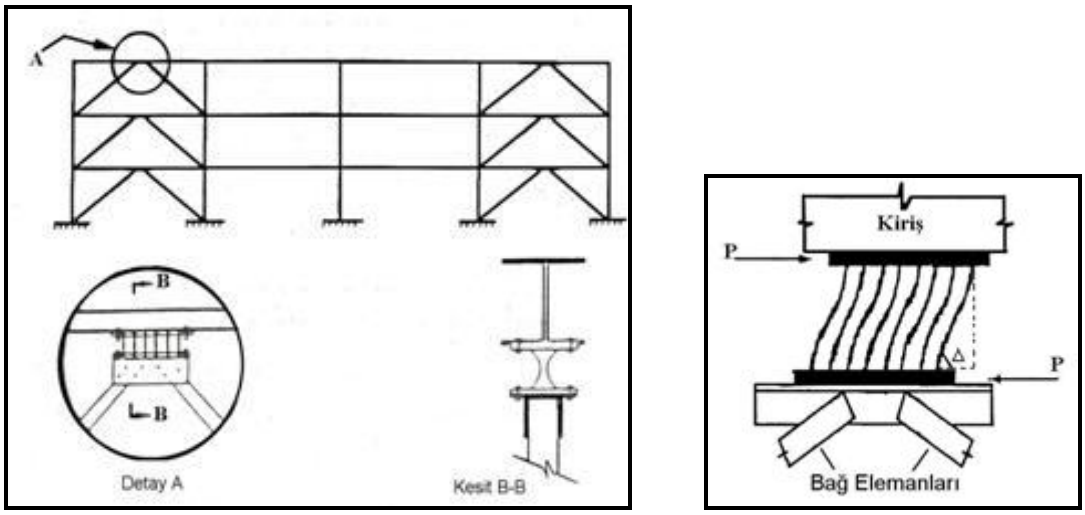


(b)

Şekil 3.8.Y Şekilli Kuşaklamalı Sönümleyici (a)
Sönümleyicilerin Yerleşim Şekilleri (b)



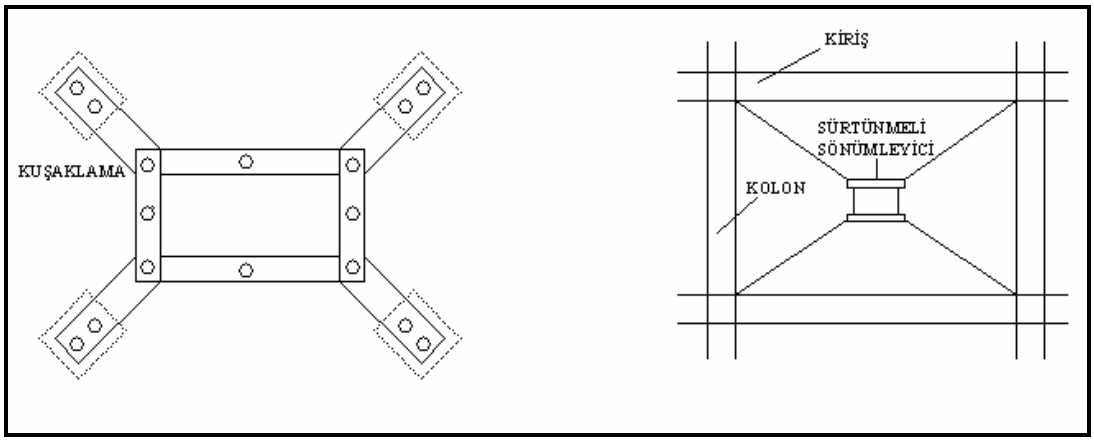
Şekil 3.9.Noktasal Sönümleyicilerin Yerleşim Planı



Şekil 3.10.ADAS Cihazı Yerleşim Planı ve Şekil Değiştirmesi

3.1.2.2.Sürtünmeli sönümleyiciler

Sürtünmeli sönümleyicilere örnek olarak Pall cihazı verilebilir. Büyük dinamik etkilerde çalışan bu sistemler yapı çerçevesine X şeklinde yerleştirilir. Bu tip cihazlarda paslanma olmaması için kullanılacak malzemenin seçiminde dikkat edilmesi gerekir. Düşük karbon ihtiva eden çelikten kaçınılmalıdır. Şekil 3.11'de Pall sürtünme cihazı ve tipik yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 3.11.Pall Sürtünme Cihazı ve Tipik Yerleşimi

3.1.2.3.Viskoelastik sönümleyiciler

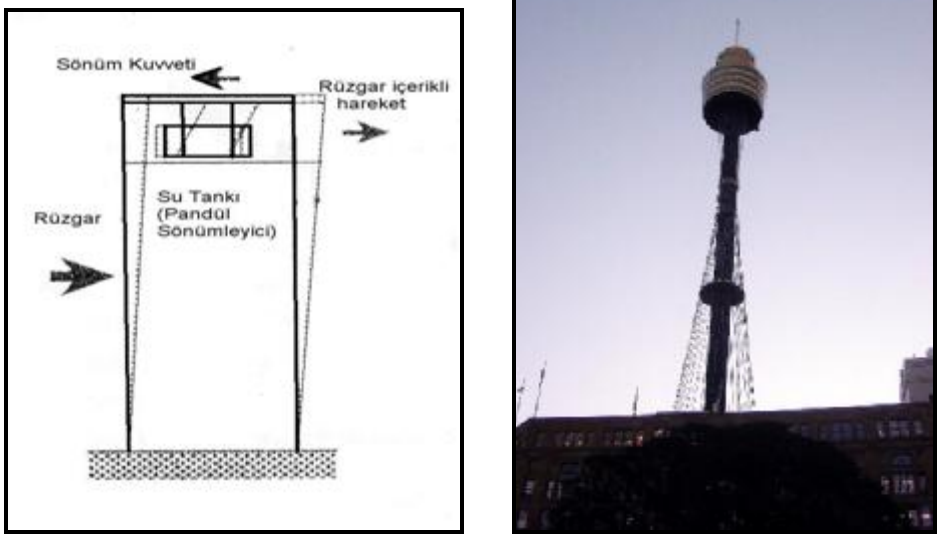
Viskoelastik sönümleyiciler her türlü dinamik yük altında kullanılabilmektedir. Viskoelastik tabakalar arası kayma deformasyonu ile rüzgar veya sismik enerji absorbe edilmektedir.

3.1.2.4.Viskoz sönümleyiciler

İçine vikoz sıvı konulan bir pistondan oluşan sistemde, pistonun hareketiyle sönüm sağlanır. Bu sistemin avantajları olarak lineer viskoz davranış ve ortam şartlarından etkilenmeme gösterilebilir.

3.1.2.5.Ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD)

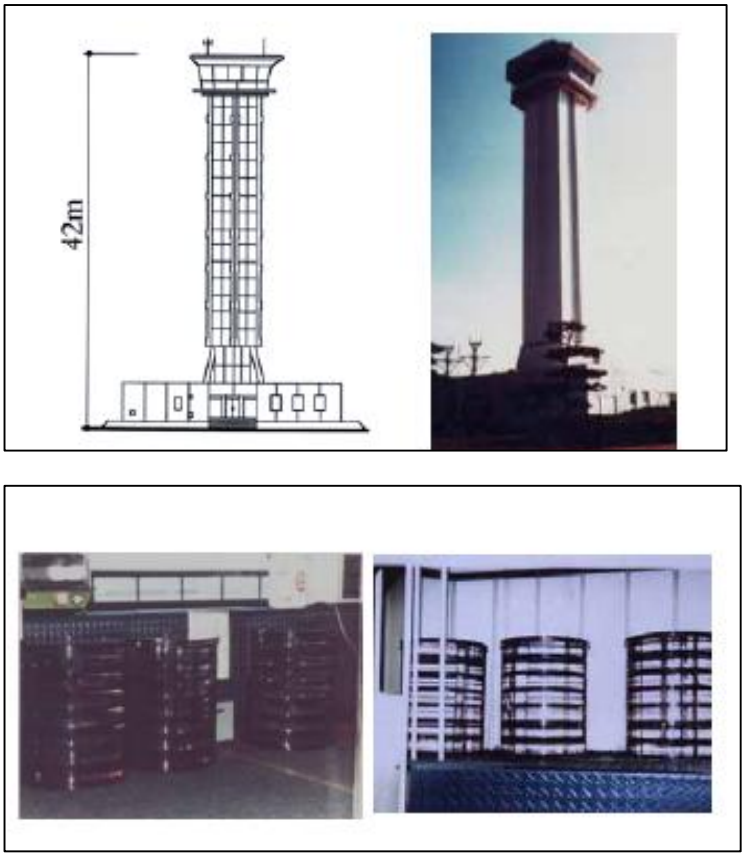
Ayarlanabilen kütle sönümleyiciyi, yapının en üst katına eklenen ikinci bir kütle olarak tanımlayabiliriz. TMD, yay ve sönümleyici ile yapıya monte edilir. Toplam yapı ağırlığının %1 oranında kütleye sahiptir. Ayarlı kütle sönümleyicinin periyodu, birinci doğal titreşim periyoduna ayarlandığında bu modda verim alınabilmekte ancak diğer modlarda aynı sonuç elde edilememektedir. Çözüm alarak birden fazla ayarlanabilen kütle sönümleyici kullanımı tavsiye edilebilir. TMD ile donatılmış Sidney'deki "CenterPoint Tower" binası Şekil 3.12'de görülmektedir.



Şekil 3.12."CenterPoint Tower" Binası ve Kullanılan Ayarlı Pandül Kütle Sönümleyici

3.1.2.6.Ayarlı sıvı sönümleyiciler (TLD, TLCD)

Ayarlı sıvı sönümleyiciler sıvının viskoz hareketinden ve sıvıdaki dalga kırılmalarından yararlanarak enerji sönümleyen sistemlerdir. Bu tip sönümleyiciler genellikle birden fazla sığ su tabakasını muhafaza edecek dikdörtgen veya silindirik tank veya tanklardan ibarettir. Ayarlı sıvı sönümleyiciler için diğer bir sistem TLCD'dir. Rüzgar titreşimlerini absorbe etmek için TLD uygulanan "Nagasaki Airport Tower" Şekil 3.13'de gösterilmektedir.



Şekil 3.13."Nagasaki Airport Tower" Binası ve Uygulanan TLD Tankları

3.2.Aktif Kontrol Sistemleri

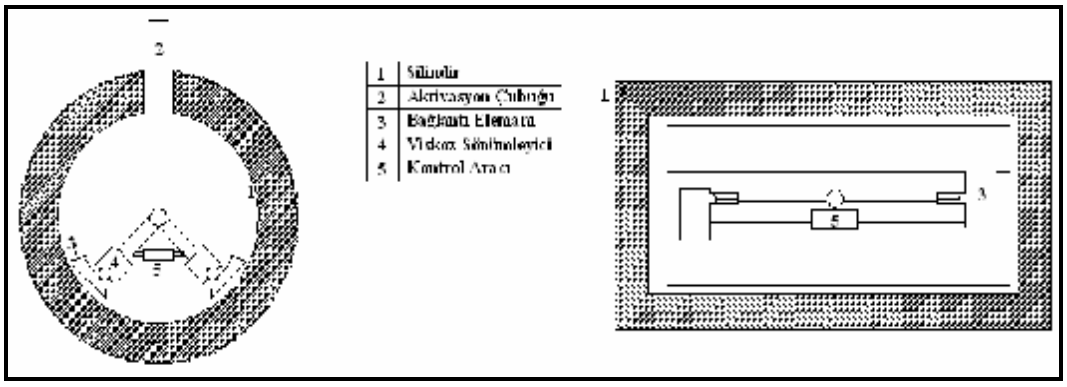
Aktif yapı kontrolünün amacı, yapıya gelecek olan dinamik yükün önceden tahmini ve buna karşı koyucu kuvvetlerin üretilmesi ile yapının ve değerli ekipmanların korunmasıdır. Sistemin çalışma prensibi, dış güç kaynağı ile aktüatörlerin harekete geçirilerek yapıya gelen dinamik etkiye göre kontrol kuvvetleri üretilmesidir. Aktif Kontrol sistemleri uygulandıkları yapıya gelebilecek deprem, rüzgar, trafik ve makine titreşimleri gibi tüm dinamik yükleri absorbe etme kapasitesine sahiptir. Ancak sistemin en büyük dezavantajı kontrol kuvvetini harekete geçirebilmek için harici güç kaynağına ihtiyaç duymasıdır ki özellikle büyük depremlerdeki elektrik kesintisi gibi bir durumda sistem çalışamaz duruma gelebilir. Ayrıca yüksek maliyet de sistemin dezavantajlarından sayılabilir.

Aktif kütle sönümleyiciler, aktif kuşaklama sistemleri, aktif tendon sistemler, aktif yapı kontrolünde kullanılan bazı sistemlerdendir. Aktif kontrol sistemleri genellikle rüzgar ve orta ölçekli depremlere göre dizayn edilirler. Büyük dinamik etkilere karşı, sistemin de aynı oranda büyük karşı koyucu kontrol kuvveti üretmesi yapı elemanlarında kesit zorlarının artmasına sebep olacaktır. Bu durum yapının aktif kontrol sistemiyle korunmasını zorlaştıran bir faktördür. (Sansarcı 2002)

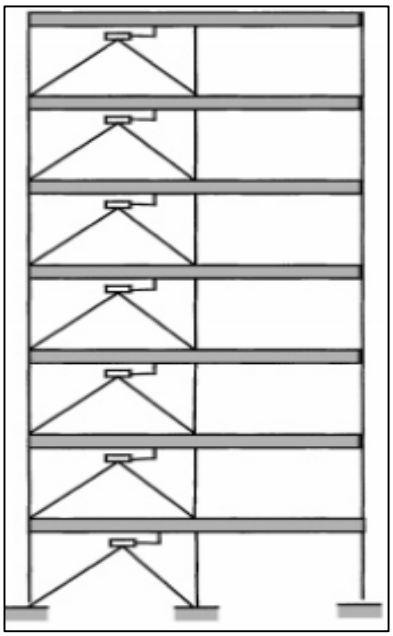
3.2.1. AVDS Sistemi (Active Viscous Damping System)

Sönümün istenilen oranda elde edilebildiği, enerji gereksinimi çok fazla olmayan aktif kontrol sistemidir. Aktif viskoz sönüm sistemi bir silindir, bir aktivasyon çubuğu, iki bağımsız destek elemanı ve bir kontrol cihazından meydana gelir. AVDS katlar arasına yerleştirilir ve kontrol aracı, sönümleyici ile aktivasyon çubuğu arasındaki açıyı değiştirebilen hidrolik bir pistondur. Sönümün istenilen aralıkta kalması bu pistonla sağlanır. AVDS cihazının kesitleri Şekil 3.14’de gösterilmiştir. Şekil 3.15’de görüldüğü gibi kuşaklamalar alta sabitlenmiş kontrol ünitesi aktivasyon çubuğu ile üst kata bağlanmıştır.

Araştırmalar AVDS siteminin uygulandığı yapılarda deplasmanların azaldığını ancak taban kesme kuvvetlerinde önemli değişikliklerin olmadığını göstermiştir. (Ribakov ve ark. 2001), (Sansarcı 2002)



Şekil 3.14.AVDS Cihazı Enine ve Boyuna Kesitleri



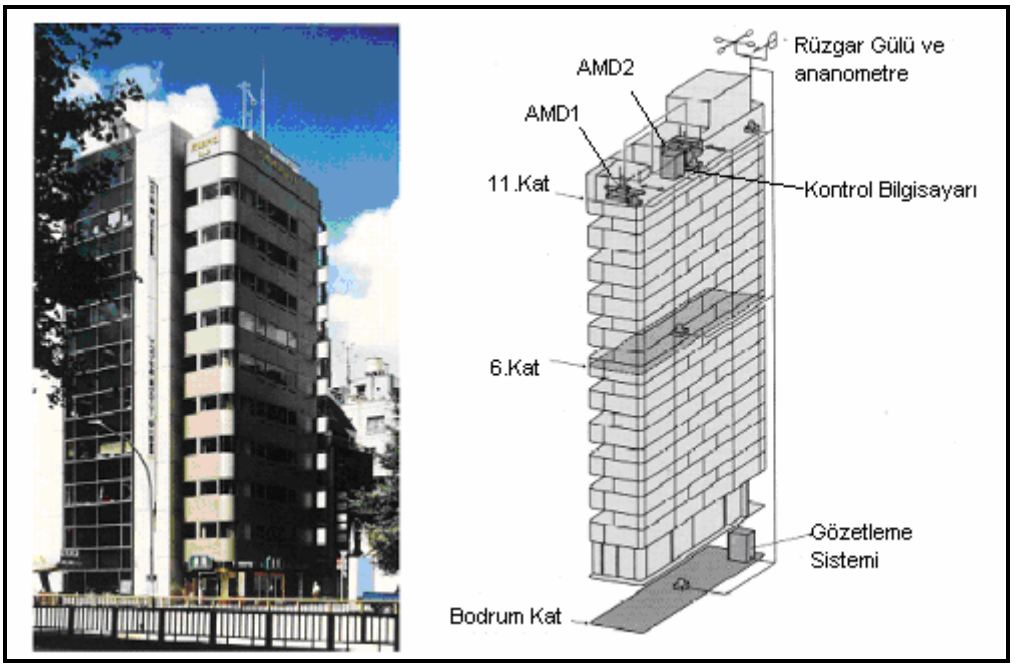
Şekil 3.15.AVDS Cihazının 7 Katlı Yapıya Uygulanma Şekli

3.2.2.Aktif Hava Yastığı Kontrol Sistemi (Active Air-Bag Response Control System)

Aktif hava yastığı kontrol sistemi dinamik etkiler altında katlar arasına yerleştirilen hava silindirleri ile kontrol kuvveti üreterek katlar arası deplasmanları kontrol altına alır.

3.2.3. Aktif Kütle Sönümleyici (AMD)

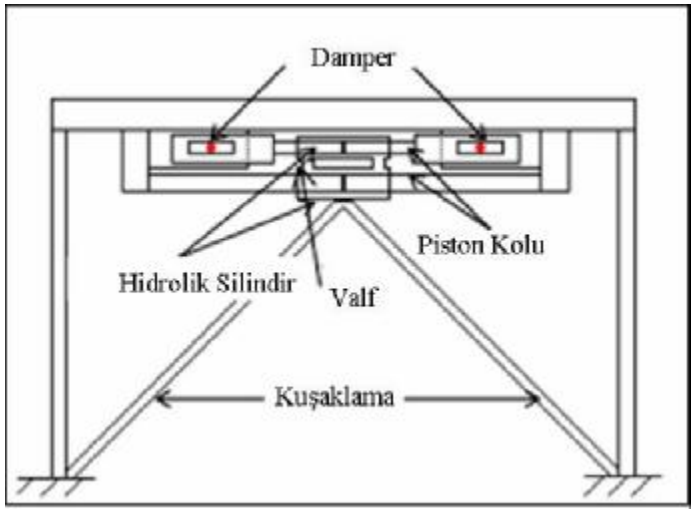
Aktif kütle sönümleyici sistem, rüzgar ve küçük ölçekli depremlerde konforu arttırmak için kullanılırlar. Özellikle yüksek yapılarda rüzgar titreşiminin kontrol altına alınması klasik yöntemde ekonomik olmayan sonuçlar doğurur. Böyle bir durumda aktif kütle sönümleyici kullanılması en uygun çözümdür. Ancak büyük ölçekli depremlerde aktif kütle sönümleyici kullanımı, uygulanacak AMD kütlesinin büyüklüğü ve bu kütleyi harekete geçirmek için gereken aktüatörlerin boyutları nedeniyle problem olmaktadır. Kütle sönümleyicilerden pasif kütle sönümleyicisi olan TMD ancak tek bir periyoda ayarlanabilir. Birinci titreşim periyodunda uygun sonuçlar veren TMD diğer modlarda istenilen değerleri sağlayamamaktadır. AMD ise birden fazla periyoda ayarlanabildiğinden daha olumlu sonuçlar vermektedir. Aktif kontrol sistemi uygulanan yapılara örnek olarak, 1989 yılında “Kyobashi Seiwa Binası” verilebilir. (Şekil 3.16) (Sansarcı 2002)



Şekil 3.16.Kyobashi Seiwa Binası ve AMD Cihazları Yerleşimi

3.2.4. AVS Aktif Rijitlik Değiştirici Sistem (Active Variable Stiffness System)

Aktif rijitlik değiştirici sistem, AMD sisteminin eksiklerini giderebilmek için alternatif olarak önerilmektedir. Aktif kütle sönümleyicinin büyük dinamik etkilerde ihtiyaç duyacağı büyük enerji AVS sisteminde AMD'ye göre çok azdır. Aktif rijitlik değiştirici sistem deprem yükleri altında sürekli olarak yapının rijitliğini ayarlayarak yapısal kontrolü sağlar. Enerji gereksiniminin az olması, uzun ömürlülük ve deprem etkisinde etkin olması sistemin artılarındandır. AVS cihazının basit bir şeması Şekil 3.17'de görülmektedir.



Şekil 3.17.Aktif Rijitlik Değiştirici Sistem Şeması

3.2.5.ABS Aktif Kuşaklama Sistemi (Active Bracing System)

Aktif kuşaklama sistemi güçlendirilmesi gereken yapılarda kolaylıkla uygulanabilir. Tüp şeklinde kuşaklamalar, hidrolik güç kaynağı, analog ve dijital sensörler içeren sistem yapıya yerleştirilir. Zeminde ve yapının katlarında bulunan hız sensörleri aynı zamanda ivmeyi de ölçebilir. Aktüatörler kuşaklamaların uzamasını ve kısalmasını sağlarlar. (Ribakov ve ark. 2001), (Sansarcı 2002)

3.3.Karma ve Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

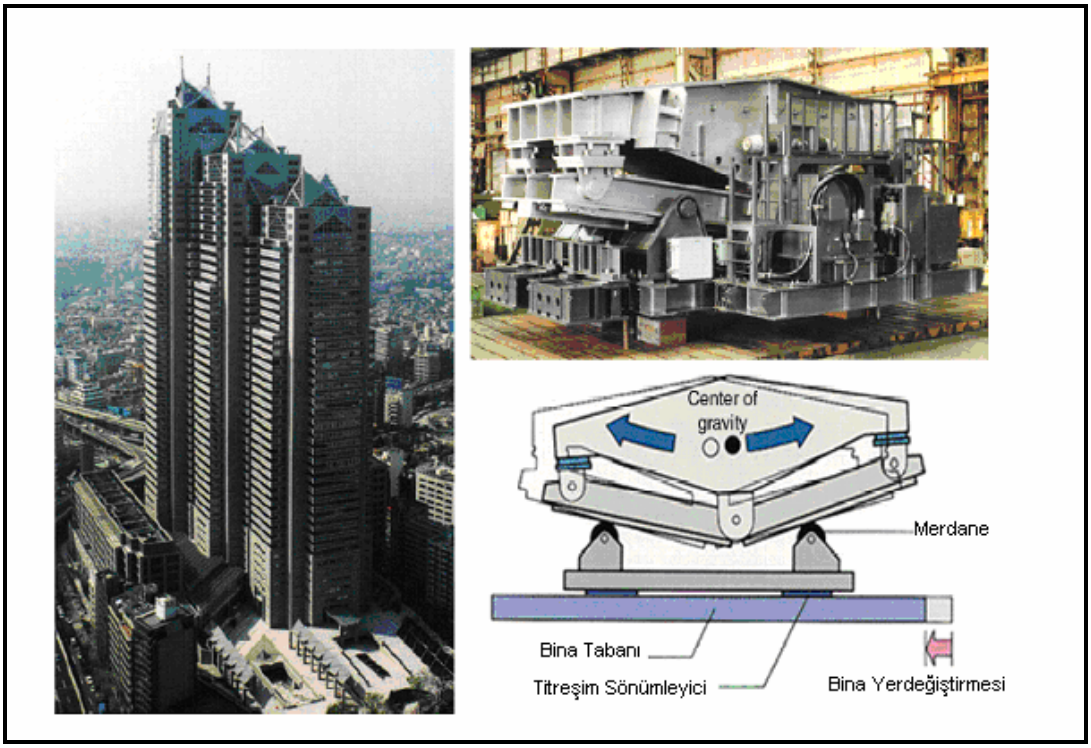
Pasif ve aktif kontrol sistemlerinin eksikliklerini gidermek ve performanslarını artırmak amacıyla Karma ve Yarı Aktif Kontrol Sistemleri önerilmektedir.

3.3.1.Karma Kontrol Sistemleri

Karma Kontrol Sistemleri, aktif ve pasif kontrol sistemlerinin birlikte kullanıldığı sistemler olarak tanımlanabilir. Genellikle pasif kontrol sistemlerinde meydana gelen aşırı deplasmanı kontrol etmek amacıyla aktif kontrol sistemlerinin eklenmesiyle oluşturulur. İki tip karma kontrol sistemi bulunmaktadır.

3.3.1.1.HMD Karma Kütle Sönümleyici (Hybrid Mass Damper)

Karma kütle sönümleyici en çok uygulama alanı bulan karma kontrol sistemidir. Prensip olarak, pasif kontrol sistemlerinden ayarlı kütle sönümleyiciye bir aktif kontrol sisteminin eklenmesiyle elde edilir. Karma kütle sönümleyici sisteminin enerji ihtiyacı aktif kütle sönümleyiciye göre oldukça azdır. HMD'lerin bir tipi olan V Şekilli HMD sistemi Japonya'da "Shinjuku Park Tower" binasına yerleştirilmiştir.(Şekil 3.18)



Şekil 3.18.Shinjuku Park Tower Binasında Kullanılan V Şekilli HMD Cihazı

3.3.1.2.Karma Taban İzolasyonu

Pasif kontrol sistemi olan sismik taban izolasyonu basit ve güvenilir bir sistem olmasına rağmen yapısal tepkilerin azaltılmasında belirli sınırları vardır. Taban izolasyonu katlar arası yer değiştirmeleri azaltırken, üst yapıya gelen dinamik yükü izolatörlerde sönümler. Ancak taban izolasyonlu bir yapıya aktif bir kontrol sistemi eklenerek ekonomiklik sınırlarını aşmadan çok daha iyi performans elde edilebilir.

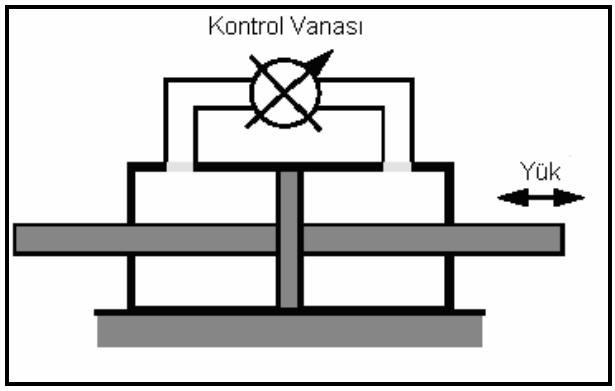
3.3.2.Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

Yarı Aktif Kontrol Sistemleri yapının tepkisini en uygun şekilde azaltır. Bu sistemler aktif ve pasif sistemlere göre daha başarılıdırlar. Enerji gereksinimleri oldukça azaltılmış büyük depremlerde oluşabilecek elektrik kesintileri sırasında küçük bir akü ile çalışabilirliğini devam ettirebilmektedir.

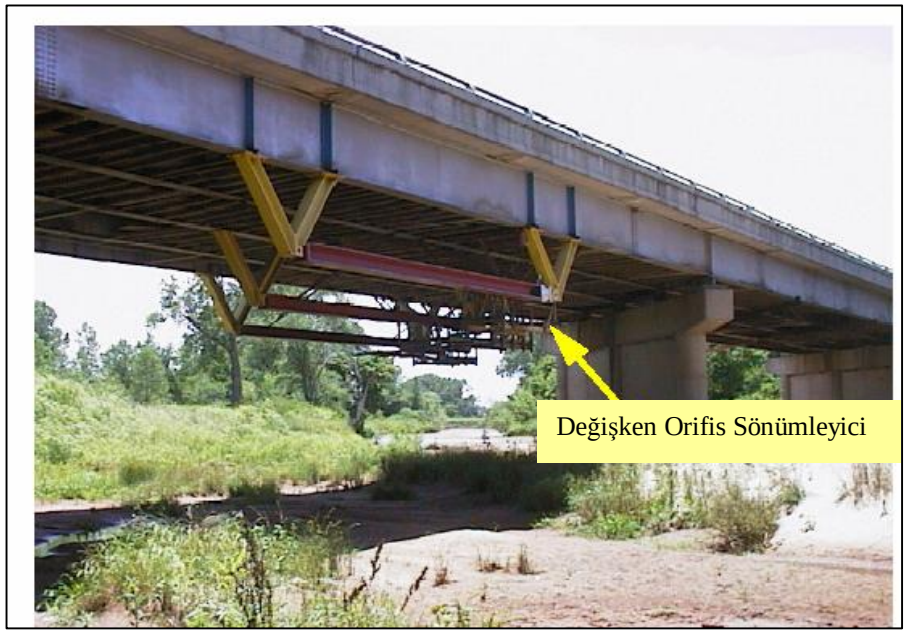
3.3.2.1.Değişken -Orifis Sönümleyici

Değişken-Orifis Sönümleyici sistemler genellikle köprülerde trafik ve deprem titreşimlerini sönümlemek için kullanılmaktadır. Hidrolik sıvı sönümleyicilere vana eklenerek direnci ayarlanabilen sistemlerdir. (Şekil 3.19)

Değişken-Orifis sönümleyicilerin kullanıldığı bir köprü ise Şekil 3.20’de görülmektedir.



Şekil 3.19.Değişken-Orifis Sönümleyici



Şekil 3.20.Değişken-Orifis Sönümleyicinin Kullanıldığı Bir Köprü

3.3.2.2.Değişken Sürtünmeli Sönümleyici

Yapının kuşaklamalarına bağlı sürtünme şaftından ve sürtünme yüzeyinden meydana gelir. Yüzeyde oluşan sürtünmeden yararlanılarak katlar arası ötelenmeler başarı ile azaltılmakta, titreşimler sönümlenmektedir.

3.3.2.3.Kontrol Edilebilen Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler

Pasif kontrol sistemlerinden TLD ve TLCD'nin eksikliklerinin giderilmesi için geliştirilmiştir. Yapıya yerleştirilen tanktaki sıvının hareketi ile sönüm yapan TLD ve sıvı sütununun hareketinden faydalanan TLCD sistemleri dinamik etkiler altında sabit tasarımlarından dolayı çok başarılı olamamaktadır. Bu sistemlere alternatif olarak yarı aktif TLD önerilmiştir. (Sansarcı 2002)

3.3.2.4.Darbe Etkili Yarı Aktif Sönümleyiciler

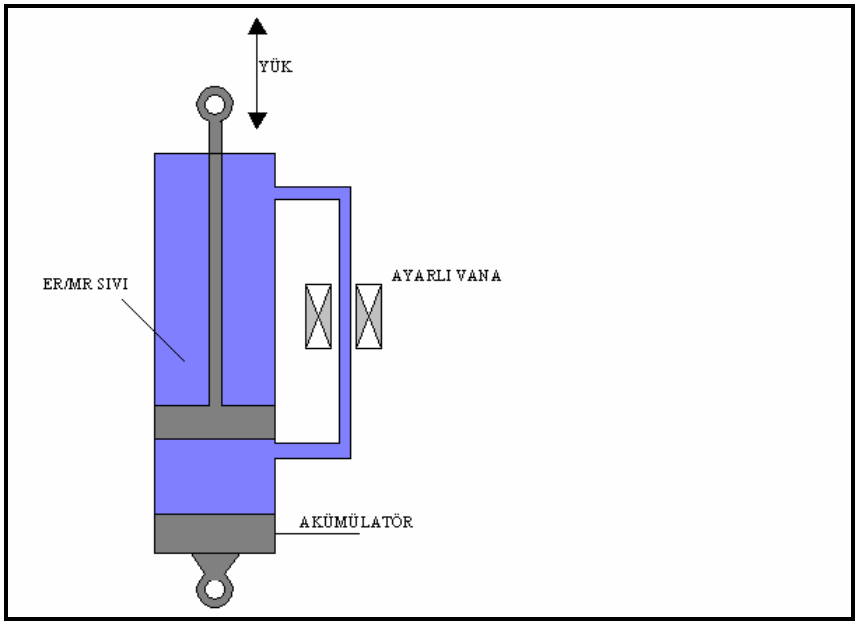
Bugüne kadar darbe etkili pasif sönümleyiciler, türbin ve dişlilerdeki titreşimleri absorbe etmek için başarı ile uygulanmıştır. Ancak yapılarda deprem etkisini sönümlemek için yapılan çalışmalar sistemin yetersiz olduğunu göstermiştir.

3.3.2.5.Kontrol Edilebilen Sıvı Sönümleyiciler ve Sistemler

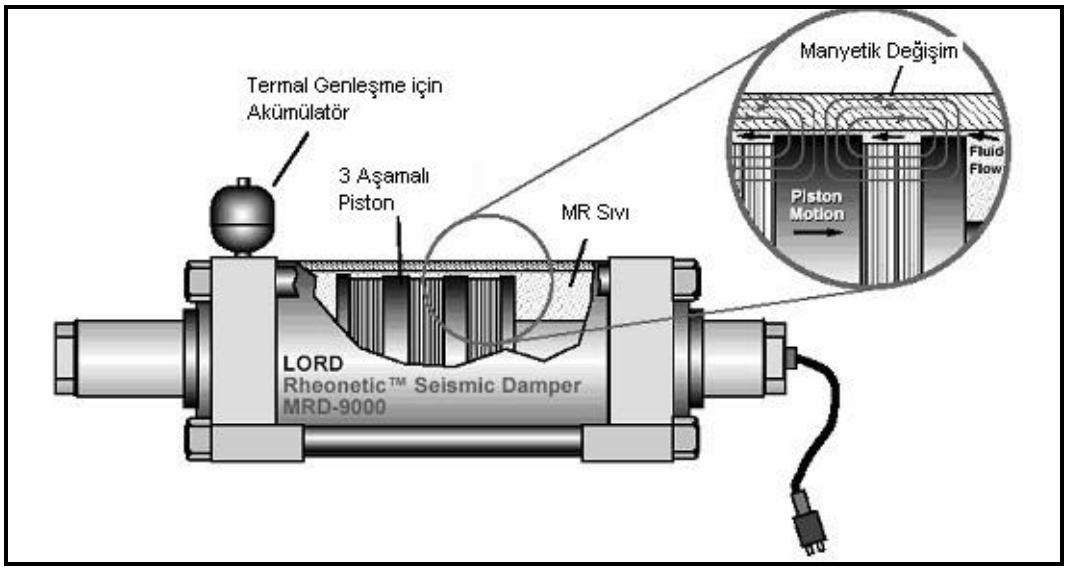
Kontrollü vanalar ve benzeri mekanizmalar kullanan sistemlerin bakım ve güvenlik açısından dezavantajları vardır. Yarı Aktif Kontrol edilebilen sıvı sönümleyiciler sadece tek bir pistondan oluşur ve daha güvenilirdirler. (Şekil 3.21)

Kontrol edilebilen sıvılar, elektroreolojik (ER) ve magnetoreolojik (MR) sıvılar olarak iki tiptir. Bu sıvıların özellikleri elektrik veya magnetik alan etkileri altında viskozitelerinin değişmesi ve yarı katı hale çok hızlı şekilde geçebilmeleridir.

Elektroreolojik sıvılara alternatif olarak öne sürülen magnetoreolojik sıvılar ile elde edilen gerilmenin arttığı ve çok düşük veya çok yüksek ortam sıcaklıklarında MR için gerilme kaybının çok az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca MR sıvılar ER sıvılara göre daha az enerji ihtiyacı duyarlar. İnşaat mühendisliği uygulamaları için geliştirilen magnetoreolojik sıvılar elektroreolojik sıvılara göre daha az uygulama alanı bulabilmiştir. LORD firması tarafından üretilen MR sıvı kullanılan yarı aktif kontrol edilebilen sıvı sönümleyici Şekil 3.22'de gösterilmiştir. (Sansarcı 2002)



Şekil 3.21.Kontrol Edilebilen Sıvı Sönümleyici Ana hatları

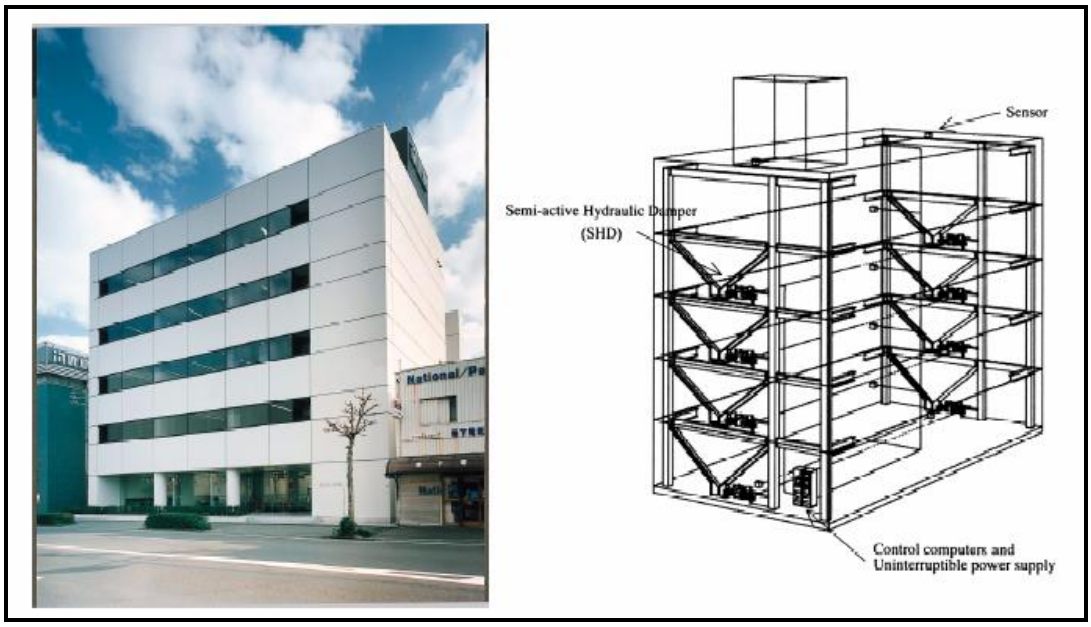


Şekil 3.22.LORD Firması Tarafından Üretilen MR Cihazı

3.3.2.6.SHD Yarı Aktif Hidrolik Sönüm Sistemi (Semi-active Hydraulic Damper)

SHD sistemi, geniş ölçekli yapıların büyük depremlerde yapısal kontrolünü başarıyla sağlamaktadır. Sistemde hidrolik sönümleyici kullanılmasından dolayı enerji gereksinimi düşmektedir. Yarı aktif hidrolik sönüm sistemi Japonya'da 5 katlı betonarme bir binaya uygulanmıştır. (Şekil 3.23)

SHD sönümleyiciler kısa doğrultuda, çelik kuşaklamalara bağlanmıştır. Uzun doğrultuda ise yapının daha rijit olmasından dolayı elastoplastik çelik sönümleyiciler ile yapısal kontrol sağlanmıştır. Sistem öncelikle katlara yerleştirilen hız sensörleri sayesinde yapının tepkisini ölçer ve kontrol bilgisayarları tarafından gerekli sönüm kuvvetini belirlerler. Buna göre her kattaki SHD o kat için gerekli sönüm kuvvetini üretir. Elektrik kesintisine karşı sistemde kesintisiz güç kaynağı kullanılmıştır.



Şekil 3.23.SHD Sisteminin Uygulaması

3.4.Sismik Taban İzolasyon Hesaplamaları

Sismik taban izolasyonlu yapı dizaynı için, Uniform Building Code - 1997 (UBC-97) tanımları ve uyulması gereken şartlar bu bölümde sunulmaktadır.

Sağlam Zemin için analiz metodunun seçiminde aşağıdaki koşullar sağlandığında, nispeten sağlam olan zemin tiplerinde (TDY-98'deki Z1; Z2 ve Z3 ve UBC-97'deki S_A, S_B, S_C ve S_D) elastomerik taban izolasyon sistemi için Eşdeğer Deprem Yükü hesabı kullanılabilir. Bu koşullar;

1- Aktif fay hattına olan uzaklığın 10 km'den fazla olması

2- Yapı yüksekliğinin H<20 ve kat sayısının N<4 olması.

3- İzole edilmiş yapının, doğal dizayn titreşim periyodunun (T_D) , sabit temelli yapının doğal titreşim periyodunun 3 katından fazla olması.

$$T_D \geq 3T_{sab}$$

4- İzole edilmiş yapının, maksimum doğal titreşim periyodunun, $T_M \leq 3$ saniye olması.

Eğer bu şartlardan herhangi biri yerine getirilmemişse süperpozisyon kullanılmalıdır.

Zayıf zemin için ise;

Nispeten zayıf zemin tiplerinde; (TDY-98'de Z4 ve UBC-97'de S_D ve S_F) aktif fay hattına olan uzaklık 10 km'den fazla ise, "Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi" kullanılmalıdır. Aksi takdirde, aktif fay hattına mesafe 10 km'den az ise, zemin etüdü yapılmalıdır.

Zemin etüdünün içermesi gerekenler;

1- Kapsamlı laboratuar zemin tetkiki

2- Kaya yatağından, serbest yüzeye yayılan kesme dalga yayılımının (dalganın azalarak yayılımının) (shear wave propagation) analitik tetkiki.

3- Tekrarlanması beklenilen titreşim periyodu ve olası maksimum deprem büyüklüğünün tespiti.

4- Maksimum yeraltı ivmesinin, deprem süresinin, zeminin predominant periyodunun ve beklenen enerjinin gereklerini karşılamak için, uygun yapay deprem kayıtlarının oluşturulması. (Tezcan ve Cimilli 2002)

3.4.1.UBC–97 'deki Ternimolojiler ve Tanımları

UBC–97 Yönetmeliğinde kullanılan bazı ifadeler aşağıda tanımlanmıştır. Tasarım Temelli Depremler (Design-Basis Earthquake) (DBE): Yer sarsıntısı seviyesinin %10 oranında 50 yılda aşma olasılığı (475 yıl dönüşüm periyotlu deprem)

Maksimum Yıkıcı Deprem (Maximum Capable Earthquake) (MCE): Gerçekleşebilecek maksimum seviyedeki yer sarsıntısının yer hareket seviyesinin %10 oranında, 100 yılı aşma olasılığı olarak anlaşılabilir (1000 yıl dönüşüm periyotlu deprem)

Etkin Sönüm - β : Bir eşdeğer sönüm değeridir. İzolasyon sisteminin periyodik tepkisi esnasında harcanan enerjiye denk değeridir.

Etkin Rijitlik – k: Bu değer, izolasyon sistemindeki yatay kuvvetin, buna karşılık gelen yanal deplasmana bölünmesiyle elde edilen değerdir.

Dizayn Deplasmanı– d_D: Bu değer DBE'de yanal deplasmandır. Ana ve beklenmeyen burulmaya bağlı ek deplasman içermez.

Maksimum Deplasman- d_M: Bu maksimum yıkıcı deprem yanal deplasmanıdır. Ana ve beklenmeyen burulmaya bağlı ek deplasman içermez.

Toplam Dizayn Deplasmanı- d_{tD}: DBE'de yanal deplasmandır. Ana ve beklenmeyen burulmaya bağlı ek deplasman içerir.

Toplam Maksimum Deplasman- d_{tM}: Ana ve beklenmeyen burulmaya bağlı ek deplasman içerir. İzolasyon sisteminin stabilite kontrolü ve izolatör prototiplerinin düşey yük testi için gereklidir. Maksimum yıkıcı deprem yanal deplasmanıdır.

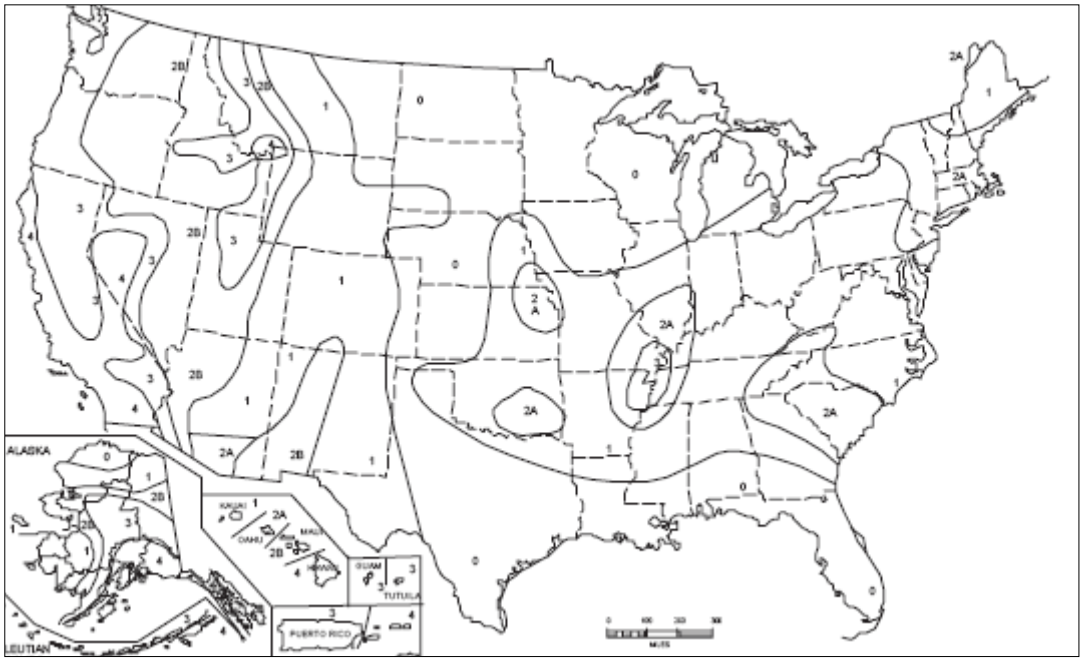
Tasarım Seviyesi Periyodu- T_D: Deprem yalıtımı yapılmış yapının, tasarım deplasmanındaki etkin periyodudur. (Tezcan ve Cimilli 2002)

3.4.2.Yatay Yük Tayini

Sismik Kuşak Faktörünün Belirlenmesi: Sismik kuşak faktörü, Z, Çizelge 3.1'den (UBC-97 Bölüm IV, Tablo 16-I) tayin edilir. Sismik kuşak ise Şekil 3.24'den (UBC-97 Bölüm IV, Şekil 16-2) tayin edilir.

Çizelge 3.1.Sismik Kuşak Faktörü

Zone	1	2A	2B	3	4
Z	0,075	0,15	0,20	0,30	0,40



Şekil 3.24.UBC-97 Sismik Kuşaklar

Çizelge 3.2.UBC-97 ‘de Türkiye İçin Belirtilen Sismik Bölgeler

Türkiye	Deprem Bölgesi
Adana	2A
Ankara	2A
İzmir	4
İstanbul	4
Karamürsel	3

İnşaat Alanı Zemin Profilinin Belirlenmesi: Zemin tipi Çizelge 3.3'den (UBC-97, Bölüm IV, Tablo 16-J) belirlenir.

Çizelge 3.3.Zemin Profilleri

Zemin Profil Tipi	Zemin Tipi Tanımları	Ortalama Zemin Özellikleri (100 feet/30480 mm)		
		Kayma Dalga Hızı (m/s)	Standart Penetrasyon Deneyi (blows/foot)	Drene edilmemiş Kayma Gerilmesi (kPa)
S_A	Sert kaya	>1500	---	---
S_B	Kaya	760'dan 1500'e		
S_C	Yoğun Zemin ve Yumuşak Kaya	360'dan 760'a	>50	>100
S_D	Rijit Zemin Profili	180'den 360'a	15'den 50'ye	50'den 100'e
S_E	Yumuşak Zemin Profili	<180	<15	<50
S_F	Zemin analizi gerekmektedir. bakınız kısım 1629.3.1.			

Sismik Kaynak Tipinin Belirlenmesi: Sismik Kaynak tipi Çizelge 3.4'den (UBC-97, Bölüm IV, Tablo 16-U) belirlenir.

Çizelge 3.4.Sismik Kaynak Tipleri

Sismik Kaynak Tipi	Sismik Kaynak Tipi Tarifleri	Sismik Kaynak Tipi Tanımlamaları	
		Maksimum Moment Magnitüdü	Kayma Hızı (mm/yıl)
A	Yüksek magnitütlü hareketler oluşturma kapasitesi olan ve yüksek sismik aktivayon oranı bulunan faylar	M≥7.0	SR≥5
B	Tip A ve C dışında bulunan faylar	M≥7.0 M<7.0 M≥6.5	SR<5 SR>2 SR<2
C	Yüksek magnitüdlü deprem oluşturma kapasitesi olmayan ve göreceli olarak sismik aktivasyon oranı düşük olan faylar	M<6.5	SR≤2

Kaynak Yakınlık Faktörlerinin Belirlenmesi: Sismik kaynak tipine ve kaynağa olan uzaklığa göre kaynak yakınlık faktörleri, N_a ve N_v sırasıyla Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'dan (UBC-97, Bölüm IV, Tablo 16-S ve Tablo 16-T) belirlenir.

Çizelge 3.5.Kaynak Yakınlık Faktörü (N_a)

Sismik Kaynak Tipi	Sismik Kaynağa Olan En Yakın Mesafe		
	≤2 km	5km	≥ 10km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Çizelge 3.6.Kaynak Yakınlık Faktörü (N_v)

Sismik Kaynak Tipi	Sismik Kaynağa Olan En Yakın Mesafe			
	≤2 km	5km	10km	≥ 15km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

Tasarım Temelli Depremin Sarsıntı Şiddetinin Hesaplanması: DBE sarsıntı şiddeti Z ve N_v'nin çarpımıdır.

Maksimum Yıkıcı Depremin Tepki Katsayılarının Belirlenmesi: DBE'de sarsıntı şiddeti ($Z \times N_v$) kullanılarak, M_M Çizelge 3.7'den (UBC-97, Bölüm IV, Tablo A-16-D) belirlenir.

Çizelge 3.7.M_M Değerinin Belirlenmesi

DBE (ZN_V)	MCE (M_M)
0.075	2.67
0.15	2.0
0.20	1.75
0.30	1.50
0.40	1.25
≥0.50	1.20

Sismik Sabitlerin Belirlenmesi: Sismik sabitler, C_a ve C_v, Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'dan (UBC-97,Bölüm IV, Tablo 16-Q ve Tablo 16-R) elde edilir.

Çizelge 3.8.Sismik Sabit C_a'nın Belirlenmesi

Zemin Profil Tipi	Sismik bölge Faktörü, Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.3	Z=0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_a$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.40N_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$0.44N_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.36N_a$
S_F	Çalışma sahasında jeoteknik araştırma ve dinamik analiz yapılmalıdır.				

Çizelge 3.9.Sismik Sabit C_v'nin Belirlenmesi

Zemin Profil Tipi	Sismik bölge Faktörü, Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.3	Z=0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_a$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$0.56N_a$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$0.64N_a$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.96N_a$
S_F	Çalışma sahasında jeoteknik araştırma ve dinamik analiz yapılmalıdır.				

C_{VM} ve C_{AM}, $M_M \times Z \times N_v$ ve $M_M \times Z \times N_a$ çarpımlarından faydalanarak Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11'den (UBC-97, Bölüm IV, Tablo A-16-F ve Tablo A-16-G) elde edilir.

Çizelge 3.10.C_{AM} Değerinin Belirlenmesi

Zemin Tipi	MCE (M_MZN_a)				
	M_MZN_a=0.075	M_MZN_a=0.15	M_MZN_a=0.2	M_MZN_a=0.3	M_MZN_a=0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.8\ M_MZN_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$1.0\ M_MZN_a$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$1.0\ M_MZN_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$1.1\ M_MZN_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.9\ M_MZN_a$
S_F	Çalışma sahasında jeoteknik araştırma ve dinamik analiz yapılmalıdır.				

Çizelge 3.11.C_{VM} Değerinin Belirlenmesi

Zemin Tipi	MCE (M_MZN_v)				
	M_MZN_a=0.075	M_MZN_a=0.15	M_MZN_a=0.2	M_MZN_a=0.3	M_MZN_a=0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.8 M_MZN_a
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	1.0 M_MZN_a
SC	0.13	0.25	0.32	0.45	1.4 M_MZN_a
SD	0.18	0.32	0.40	0.54	1.6 M_MZN_a
SE	0.26	0.50	0.64	0.84	2.4 M_MZN_a
SF	Çalışma sahasında jeoteknik araştırma ve dinamik analiz yapılmalıdır.				

İzolasyon Sisteminin Etkin sönümü: Etkin sönüm faktörü ,β_{eff}, UBC–97, Bölüm IV, Formül 65-2'den kullanılan izolatör tipine göre belirlenir.

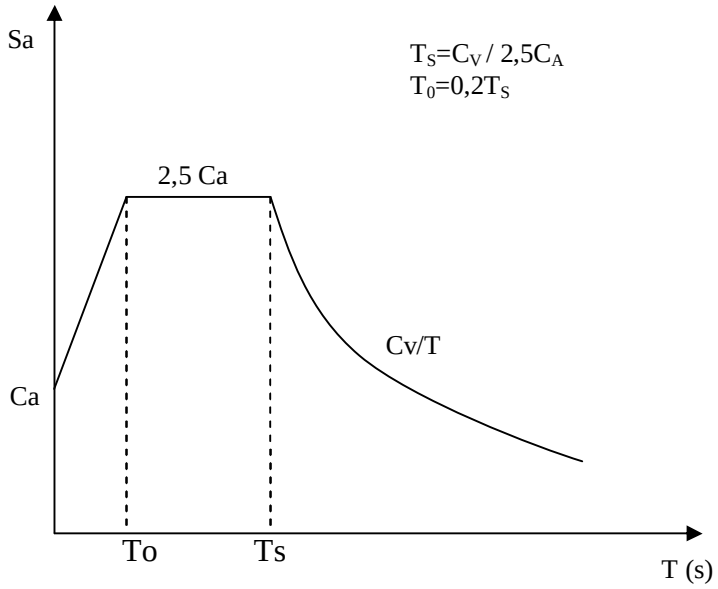
Sönüm İndirgeme Faktörünün Belirlenmesi: Sönüm indirgeme faktörü, B, Çizelge 3.12'den (UBC-97, Bölüm IV, Tablo A-16-C) elde edilir.

Çizelge 3.12.Sönüm İndirgeme Faktörü

Etkin Sönüm, β_D veya β_M	β_D veya β_M faktör
≤2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥50	2.0

Yapısal Sistem İndirgeme Faktörünün Belirlenmesi: Yapısal sistem indirgeme faktörü, R_i, yapıya göre UBC-97, Bölüm IV, Tablo A-16-E'den elde edilir.

Dizayn Taban Kesmesi (V): Toplam taban kesmesi UBC-97,Bölüm IV, Formül 30-4,30-5 ve 30-6 ile belirlenmelidir. Spektral değerlerin değişimi Şekil 3.25'de verilmiştir. (Tezcan ve Cimilli 2002)



Şekil 3.25.Spektral Değerlerin Değişimi

$$0,11\times C_A\times I\times W \le \frac{C_V\times I\times W}{R\times T} \le \frac{2,5\times C_A\times I\times W}{R} \qquad (3.1)$$

3.4.3. Hedef Periyotlar ve Malzeme Özellikleri

İzolasyon sisteminin ana titreşim periyotlarının ilk tahminde; 2 ile 3 saniye arasında olması istenir.(Tezcan ve Cimilli 2002). T_D ve T_M sırasıyla, hedef tasarım ve hedef maksimum yıkıcı deprem periyotlarıdır. Elastik modül E, kayma modülü G ve maksimum kesme gerilmesi, γ_{max}, seçilmiş olan izolatöre göre belirlenir.

3.4.4.Minimum Yatay Rijitlik ve Minimum Deplasman Değerlerinin Hesabı

İzolasyon sisteminin yatay rijitliği, tetkik edilmekte olduğu yatay yöndeki, dizayn deplasmanında minimum etkin rijitlik $k_{D,min}$ UBC-97,Bölüm IV, Formül 58-2'den belirlenir.

$$k_{D,\min} = \frac{4 \times p^2 \times W}{T_D^2 \times g} \qquad (3.2)$$

İzolasyon sisteminin yatay rijitliği, tetkik edilmekte olduğu yatay yöndeki, maksimum deplasmanında minimum etkin rijitliği, $k_{M,min}$ UBC-97,Bölüm IV, Formül 58-4'ten belirlenir.

$$k_{M,\min} = \frac{4 \times p^2 \times W}{T_M^2 \times g} \qquad (3.3)$$

W, izolatörlerden her biri tarafından taşınan yük olarak tanımlanmıştır.

Minimum deplasmanlar ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

Dizayn deplasmanı, izolasyon sisteminin rijitlik merkezinde, UBC-97, Bölüm IV, Formül 58-1'den hesaplanır.

$$d_{D,\min} = \frac{g \times C_{VD} \times T_D}{B \times 4 \times p^2} \qquad (3.4)$$

Maksimum dizayn deplasmanı; izolasyon sisteminin rijitlik merkezinde, UBC-97,Bölüm IV, Formül 58-3'ten hesaplanır. (Tezcan ve Cimilli 2002)

$$d_{M,\min} = \frac{g \times C_{VM} \times T_M}{B \times 4 \times p^2} \tag{3.5}$$

3.4.5. İzolatör Disk Çapının Hesaplanması

İzolatör yüksekliği t, olmak üzere;

$$d_D = t.g_{\max} \Rightarrow t = \frac{d_D}{g_{\max}} \tag{3.6}$$

İzolatörün kesit kesişim alanı, A ;

$$A = \frac{k_D \times t}{G} \tag{3.7}$$

son olarak, izolatör çapı, D;

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{p}} \tag{3.8}$$

ile hesaplanır. (Tezcan ve Cimilli 2002)

3.4.6.İzole Edilmiş Yapının Taban Kesme Kuvvetinin Hesaplaması

İzolatörlerin toplam rijitliği kullanılarak, etkin periyot hesaplanır.

$$T_D = 2p \times \sqrt{\frac{W}{\Sigma k_D \times g}} \qquad (3.9)$$

Bulunan değerin hedef periyot ile kıyaslanması gereklidir. İzolasyon sistemindeki veya altındaki yapısal elemanlar için taban kesme kuvveti aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$V_D = \Sigma kD \times d_D \qquad (3.10)$$

İzolasyon sisteminin üzerindeki elemanlar için taban kesme kuvveti, yapısal tepki faktörü R_i ile azaltılmıştır ve

$$V_{S,D} = \sum k_D \times d_D \times \frac{B}{Ri} = V_D \times \frac{B}{Ri} \qquad (3.11)$$

ile hesaplanır.

Taban izolasyonlu sistemler için, R_i=2'dir. UBC-97 şartnamesine göre aynı sabit temelli yapının yatay sismik kuvveti şöyle hesaplanır;

$$V_{sabit} = \frac{C_V \times I}{R \times T_D} \times W \geq 0{,}11 \times C_A \times I \times W \qquad (3.12)$$

UBC-97, Bölüm 4, 1658.4.3'e göre, izolasyon sistemini 1,5 katı yük değerinde (rüzgar yükü dizaynı) tam harekete geçirebilmek için $V_{S,D}$ değeri, V_{sabit}'in

değerinden ve aynı zamanda yanal sismik etki değerinden az olmamalıdır. (Tezcan ve Cimilli 2002)

3.4.7.Burulmaya Bağlı Toplam Deplasmanın Hesaplanması

Toplam deplasman, UBC-97, Bölüm IV, Formül 58-5'ten hesaplanır.

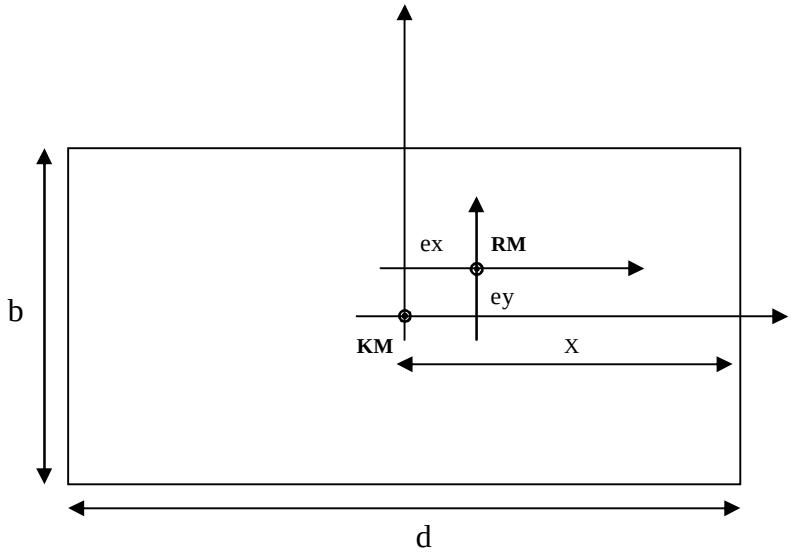
$$d_{toplam} = d_D \left(1 + \frac{12 \,.x.e_x}{b^2 + d^2} \right) \tag{3.13}$$

$$x = X - e_x \tag{3.14}$$

e ve d deprem yönüne göre dik doğrultudadır. UBC-97,Bölüm IV,şart 1658.3.5'e göre, d_{toplam}; d_D'nin 1,1 katından az olamaz.

$$e_x = e_r \pm 0{,}05.d \tag{3.15}$$

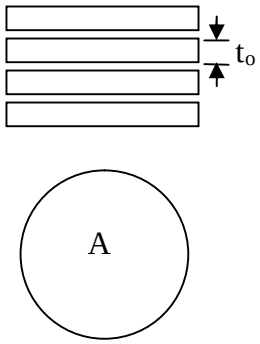
$$e_r = \left(\frac{\sum X_i k_{yi}}{\sum k_{yi}} \right) \tag{3.16}$$



Şekil 3.26.Burulmaya Bağlı Dış Merkezlilikler

Yukarıda kullanılan ifadeler, Y-yönündeki deprem içindir. X doğrultusunda da benzeri hesaplamalar tekrarlanmalıdır. Tüm koordinatlar, x,X; y, Y ve e_x, e_y, uygun işaretleri ile girilecektir. Burulmanın dış merkezliğine bağlı olarak hiçbir indirgenmeye müsaade edilmez ve yalnızca artışlar değerlendirilir. (Tezcan ve Cimilli 2002)

3.4.8.Etkin Düşey Modüllerin Hesaplanması



Şekil 3.27.İzolatör Kesitleri

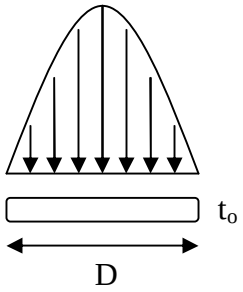
Kauçuk tabakanın kalınlığı; t_o, ampirik olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{D}{80} < t_0 < \frac{D}{40} \tag{3.17}$$

Ardından, kauçuk tabakanın şekil faktörü, S hesaplanır. (Tezcan ve Cimilli 2002)

$$S = \frac{diskalanı}{yanalalan} = \frac{pD^2/4}{pDt_o} = \frac{D}{4t_o} \tag{3.18}$$

3.4.9.Düşey Titreşim Periyodunun Hesaplanması



Şekil 3.28.Kauçuğun Dairesel Katmanının Ve Parabolik Basınç Dağılımının Çizimi

İzolatörün düşey rijitliği; k_ε;

$$k_e = \frac{AE_c}{t} \tag{3.19}$$

t = izolatörün toplam yüksekliği olmak üzere;

Düşey deplasman Δt ise;

$$\Delta t = \frac{Wt}{AE_c} = \frac{W}{k_e} \tag{3.20}$$

Kabarmaya (şişmeye) bağlı düşey rijitlik ise;

$$k_g = \frac{W}{\Delta t} = 6S^2 \frac{AG}{t} \tag{3.21}$$

Düşey doğrultuda etkin basınç modülü, şu şekilde hesaplanır.

$$\frac{1}{k_v} = \frac{1}{k_e} + \frac{1}{k_g} \tag{3.22}$$

k_ε: Basınca bağlı düşey rijitlik (W / Δt)

$k\gamma$: Kesme gerilmesine bağlı düşey rijitlik (γv=AE/t)

Ec: Kompozit basınç modülü

$$E_{eff} = \frac{6GS^2E_C}{6GS^2 + E_C} \tag{3.23}$$

Kabarmaya (şişmeye) bağlı düşey periyot aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$T_v = 2p\sqrt{\frac{W}{gk_g}} = 2p\sqrt{\frac{W}{g\dfrac{6S^2AG}{t}}} \tag{3.24}$$

Yatay doğrultuda rijitlik;

$$k_h = \frac{AG}{t} \tag{3.25}$$

Yatay periyot ise;

$$T_h = 2p\sqrt{\frac{W}{gk_h}} = 2p\sqrt{\frac{W}{g\dfrac{AG}{t}}} \tag{3.26}$$

bu durumda;

$$\frac{T_h^2}{T_v^2} = 6S^2 \Rightarrow \frac{T_h}{T_v} = \sqrt{6}S \tag{3.27}$$

Son olarak düşey titreşim periyodu, T_v şu şekilde bulunur. (Tezcan ve Cimilli 2002)

$$T_v = \frac{T_h}{\sqrt{6}S} \tag{3.28}$$

3.4.10. Kayma Gerilmesi ve Düşey Yük Hesaplaması

Düşey yüke bağlı kayma gerilmesi γ_v;

$$e_z = \frac{\Delta t}{t_o} \qquad \text{ve} \qquad g_v = 6Se_z \tag{3.29}$$

Yatay yüke bağlı kayma gerilmesi γ_s;

$$g_s = \frac{t}{G} = \frac{V_D}{AG} = \frac{k_D d_D}{AG} \tag{3.30}$$

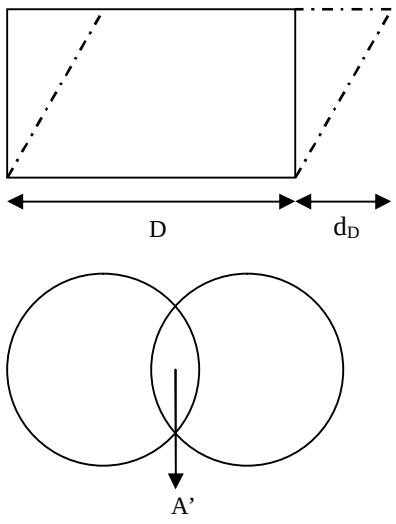
Maksimum kayma gerilmesi, düşey ve yatay kayma gerilmelerinin analitik toplamıdır.

$$g_{\max} = g_s + g_v \tag{3.31}$$

İzolatörün ortak alanı A' ise aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$A' = A\left(1 - \frac{2}{p}(q + \sin q.\cos q\right) \tag{3.32}$$

$$\sin q = \frac{d_D}{D} \tag{3.33}$$



Şekil 3.29.Kayma Deplasmanı d_D ve Ortak Alan A'

Maksimum düşey yük (saptırılmış) şu şekilde hesaplanır.

$$W = A' \times G \times S \times g_v \tag{3.34}$$

Burulma riskinin değerlendirilmesinde burkulma için kritik düşey yük P_{cr} aşağıdaki gibi hesaplanır. (Tezcan ve Cimilli 2002)

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{AGp^2 E_{eff,v} I}{3t^2}} \tag{3.35}$$

$$I = \frac{pD^4}{64} \tag{3.36}$$

3.4.11.Kurşun Çekirdek Dizaynı

Kurşun çekirdek çapı seçilir ve alanı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$d_1 = \frac{t}{1{,}5} \qquad A_{kurşur} = \frac{p \times d_1^2}{4} \tag{3.37}$$

Akma kuvveti, Q_y ilk olarak yaklaşık şöyle tahmin edilmiştir.

$$Q_y = t_y A_{kurşur} \tag{3.38}$$

Kayma mukavemeti, τ_y 10,5 Mpa olarak alınabilir. Ayrıca Q_y'yi belirlemek için, alternatif bir metot bulunmaktadır.

$$A_{loop} \cong 4Q_y (d_D - d_y) \tag{3.39}$$

$d_{y,}$ ihmal edilebilir ve;

$$A_{loop} \cong 4Q_y d_D \tag{3.40}$$

Böylece, akma durumunda kayma kuvveti;

$$Q_y = \frac{A_{loop}}{4d_D} \tag{3.41}$$

Alan ise;

$$A_{loop} = b\left(2pk_D d_D{}^2\right) \tag{3.42}$$

buna göre β;

$$b = \frac{2}{p}\frac{A_{loop}}{A_{dörtgen}} = \frac{A_{loop}}{2pk_D d_D^2} = 0{,}15 \tag{3.43}$$

Kesmeye bağı çap kontrolü yapılırken, izolatörlerdeki toplam kuvvet V_D, Şekil 3.30'dan;

$$V_D = V_{kurşur} + V_{kauçuk} = Q_y + k_2(d_D - d_y) \tag{3.44}$$

Kurşun çekirdeğin akma durumundaki deplasmanı ise,

$$d_y = \frac{Q_y}{k_1} \tag{3.45}$$

k_1: kurşun çekirdeğin akmadaki rijitliği

ve

Q_y: akma kuvveti olmak üzere;

Toplam kuvvet V_D

$$V_D = Q_y + k_2(d_D - \frac{Q_y}{k_1}) = Q_y(1 - \frac{k_2}{k_1}) + k_2 d_D \tag{3.46}$$

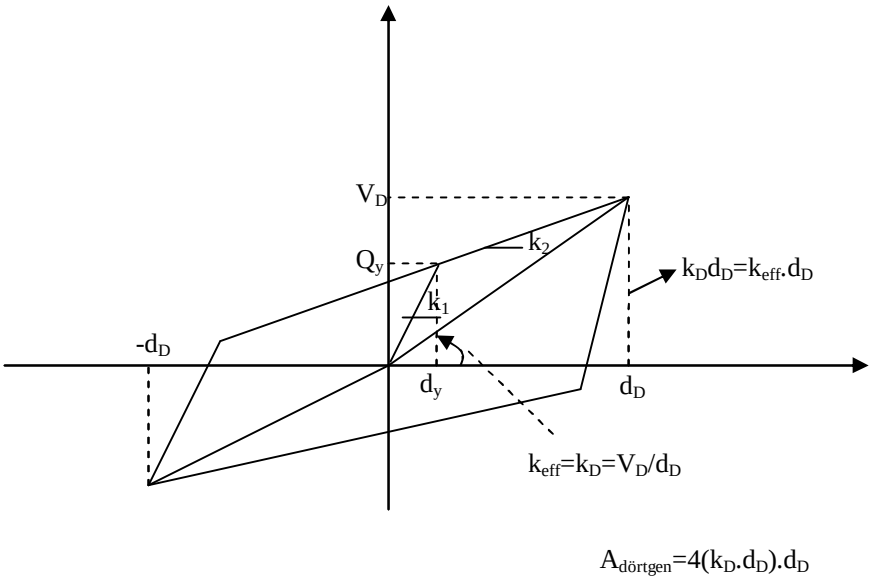
Genellikle $k_1 \approx 10k_2$ ve $k_{eff} = \frac{V_D}{d_D}$ alınır ve

$$k_{eff} = \frac{V_D}{d_D} = \frac{Q_y}{d_D}(1 - k_2/k_1) + k_2 \tag{3.47}$$

Eğer $k_2/k_1 = 0{,}1$ ihmal edilirse, kurşun çekirdek olmaksızın, kauçuğun tek başına rijitliği şu hale gelir;

$$k_2 \approx k_{eff} - \frac{Q_y}{d_D} \qquad (3.48)$$

Taban izolasyonu uygulanan binalarda, katlar arası maksimum dönme oranı, ($0.01/R_i$) değerini aşmamalıdır. (Tezcan ve Cimilli 2002)



Şekil 3.30.Temel Histeretik Döngü Parametreleri

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1.Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörün Betonarme Bir Binaya Uygulanması

Örnek yapının taban kesme kuvvetleri, sabit temelli ve taban izolasyonlu sistemler için elde edilmiş ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatör dizaynı yapılmıştır.

Örnek bina 4 katlı betonarme çerçeve olarak tasarlanmıştır. Kat yüksekliği 3,20 m, kirişler 30×50 cm, kolonlar 30×50 cm ve 30×150 cm, döşeme kalınlığı 12 cm olarak belirlenmiştir. Yapı ağırlığı G+0.3Q yüklemesi ile hesaplanmış ve 10809 kN elde edilmiştir. Hesaplamada ETABS programı kullanılmıştır. Yapı ağırlığı, zati ağırlık ve hareketli yükün %30'unu içermektedir. Normal katlarda hareketli yük Q=500 kg/m^2, çatı katında Q=200 kg/m^2 uygulanmıştır. Örnek binanın kalıp planı, boy kesiti, kolonlara uygulanacak izolatör tipleri ekte verilmektedir. İzolatörler temel ile zemin kat arasına yerleştirilecektir. Yatay kuvvetler UBC-97 şartnamesine göre sabit temelli ve sismik izolatörlü yapılar için ayrı ayrı hesaplanacak ve aynı şartnameye göre kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler dizayn edilecektir.

4.2.Uniform Building Code-1997'ye Göre Yatay Yüklerin Belirlenmesi

- Deprem Bölgesi Faktörü (Seismic Zone Factor):*UBC-97, Division IV, Tablo 16-I*

4.Bölge için Z=0,40

- Zemin Tipi (Site Soil Profile Category): *UBC-97, Division IV, Tablo 16-J*

S_D (Rijit Zemin) 180~360 m/s

- Sismik Kaynak Tipi (Seismic Source Type):*UBC-97, Division IV, Tablo16-U*

  Tip A (M≥7,0 ve SR≥5 mm/yıl

- Kaynak Yakınlığı Faktörleri (Near-Source Factors): *UBC-97, Division IV, Tablo 16-S ve UBC-97, Division IV, Tablo 16-T*

  Δ>15 km. olduğundan N_a=1,0 ve N_v=1,0

- Dizayn esaslı Deprem Şiddeti (Design-Basis Earthquake Shaking Intensity):

  $Z \times N_V = 0{,}40 \times 1{,}0 = 0{,}40$

- MCE Tepki Katsayısı (Maximun Capable Eartquake Response Coefficient): *UBC-97, Division IV, Tablo A-16-D*

  M_M=1,25

- Sismik Sabitler (Seismic Coefficients):

  C_V=0,64 → C_{VD}= 0,64 *UBC-97, Division IV, Tablo 16-R*

  C_A=0,44 → C_{AD}= 0,44 *UBC-97, Division IV, Tablo 16-Q*

$M_M \times Z \times N_V = 1{,}25 \times 0{,}40 \times 1{,}0 = 0{,}50 \rightarrow$ *UBC-97, Division IV, Tablo A-16-G*

$C_{VM} = 1{,}6 \times M_M \times Z \times N_V = 1{,}6 \times 0{,}5 = 0{,}8$

$M_M \times Z \times N_A = 1{,}25 \times 0{,}40 \times 1{,}0 = 0{,}50 \rightarrow$ *UBC-97, Division IV, Tablo A-16-F*

$C_{AM} = 1{,}1 \times M_M \times Z \times N_A = 1{,}1 \times 0{,}5 = 0{,}55$

- İzolasyon Sisteminin Etkin Sönümü (Effective Damping of the Isolation System):

  Kurşun çekirdekli tabakalı kauçuk izolatör için; β_{eff}=0,15

- Sönüm İndirgeme faktörü (Damping reduction factor): *UBC-97, Division IV, TabloA-16-C* (Lineer enterpolasyon yapılarak B değeri elde edilir.)

  B=1,35

- Yapısal İndirgeme faktörü (Structural System Reduction Factor)

  Ri=2 *UBC-97, Division IV, TabloA-16-E*

4.3.Sabit Temelli Yapı İçin Tasarım Kesme Kuvveti

UBC-97, Division IV, Formül 30-4 ve *UBC-97, Division IV, Formül 30-5 ve Division IV, Formül 30-6* kullanılarak; T=0,47 s (dinamik analiz), R=8 olmak üzere,

$$0{,}11 \times C_A \times I \times W \le \frac{C_V \times I \times W}{R \times T} \le \frac{2{,}5 \times C_A \times I \times W}{R}$$

$$0{,}11 \times C_A \times I \times W = 0{,}11 \times 0{,}44 \times 1{,}5 \times 10{,}809 = 0{,}78MN$$

$$\frac{C_V \times I \times W}{R \times T} = \frac{0{,}64 \times 1{,}5 \times 10809}{8 \times 0{,}47} = 2759kN = 2{,}76MN$$

$$\frac{2{,}5 \times C_A \times I \times W}{R} = \frac{2{,}5 \times 0{,}44 \times 1{,}5 \times 10809}{8} = 2229kN = 2{,}23MN$$

2,23 MN seçilir.

4.4.Malzeme Özellikleri ve Hedef Periyotlar

Öncelikle hedef periyotlar (T_D ve T_M) ve malzeme mekanik özellikleri belirlenir. İzolatör özellikleri Çizelge 4.1'de verilmektedir.

T_D=2,5 s.

T_M=2,8 s.

Projede 3 tip izolatör kullanılması düşünülmektedir.

Çizelge 4.1.İzolatörlerin Özellikleri

TİP	G (MPA) Büyük Gerilmeler İçin	G (MPA) Küçük Gerilmeler İçin	Uygulanacak Kolon Adeti
A	0,5	1,0	8 adet
B	1,0	2,0	14 adet
C	1,5	2,8	6 adet

Elastisite Modülü; E_C=2000 MPa ve γ_{max}=1,5 olarak belirlenir.

4.5.Minimum Yatay Rijitliklerin Hesabı

Minimum yatay rijitliklerin hesaplanması için her bir kolona gelen yüklerin bilinmesi gereklidir. Toplam 28 adet kolon bulunmakta ve bu kolonlara gelen yükler Çizelge 4.2'de verilmektedir. Değerler ETABS programından alınmıştır.

Çizelge 4.2.Kolonlara Gelen Yükler ve Kolon Boyutları

KOLON	**Uygulanacak İzolatör Tipi**	**Kolona Gelen Yük (kN)**	**Kolon Boyutu (cm)**
C29,C35,C50,C56	Tip A	180,50	30×50
C30,C34,C51,C55	Tip B	349,58	30×50
C31,C33,C52,C54	Tip B	443,23	30×50
C32,C53	Tip B	427,68	30×50
C36,C42,C43,C49	Tip A	224,67	30×50
C37,C41,C44,C48	Tip B	425,13	30×50
C38,C40,C45,C47	Tip C	534,27	30×50
C39,C46	Tip C	659,27	30×150

Tip A; 225 kN'a, Tip B; 444 kN'a, Tip C; 660 kN'a göre dizayn edilecektir.

Minimum yatay rijitlikler *UBC-97, Division IV, Formül 58-2 ve UBC-97, Division IV, Formül 58-4* kullanılarak hesaplanmıştır.

Tip A için;

$$k_{D,\min} = \frac{4 \times p^2 \times W}{T_D{}^2 \times g} = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}23}{2{,}5^2 \times 9{,}81} = 0{,}145 MN/m$$

$$k_{M,\min} = \frac{4 \times p^2 \times W}{T_M{}^2 \times g} = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}23}{2{,}8^2 \times 9{,}81} = 0{,}115 MN/m$$

Tip B için;

$$k_{D,\min} = \frac{4 \times p^2 \times W}{T_D{}^2 \times g} = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}44}{2{,}5^2 \times 9{,}81} = 0{,}286 MN/m$$

$$k_{M,\min} = \frac{4 \times p^2 \times W}{T_M{}^2 \times g} = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}44}{2{,}8^2 \times 9{,}81} = 0{,}228 MN/m$$

Tip C için;

$$k_{D,\min} = \frac{4 \times p^2 \times W}{T_D{}^2 \times g} = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}66}{2{,}5^2 \times 9{,}81} = 0{,}425 MN/m$$

$$k_{M,\min} = \frac{4 \times p^2 \times W}{T_M{}^2 \times g} = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}66}{2{,}8^2 \times 9{,}81} = 0{,}339 MN/m$$

Minimum yatay deplasmanlar ise, *UBC-97, Division IV, Formül 58-1 ve UBC-97, Division IV, Formül 58-3* kullanılarak hesaplanır.

$$d_D = \frac{g \times C_{VD} \times T_D}{B \times 4 \times p^2} = \frac{9{,}81 \times 0{,}64 \times 2{,}5}{1{,}35 \times 4 \times p^2} = 0{,}29m$$

$$d_M = \frac{g \times C_{VM} \times T_M}{B \times 4 \times p^2} = \frac{9{,}81 \times 0{,}8 \times 2{,}8}{1{,}35 \times 4 \times p^2} = 0{,}41m$$

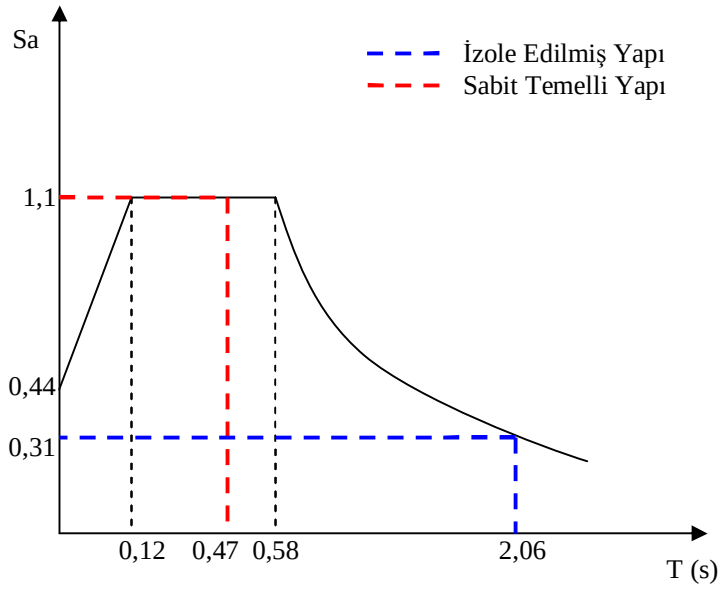
4.6.İzolatör Yüksekliğinin Bulunması

$$t = \frac{d_D}{g_{max}} = \frac{0,29}{1,5} = 0,20m$$

İzolatör yüksekliğinin 20 cm seçilmesi istenilen hedef periyottan (T_D) uzaklaşılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle yükseklik 40 cm olarak seçilmiştir. İzolatör yüksekliğine bağlı olarak yapı periyodunun değişimi Çizelge 4.3'te ve örnek yapıya ait spektral değerler Şekil 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.3.İzolatör Yüksekliğine Bağlı Periyot Değişimi

t (cm)	T (s)
20	1,46
25	1,63
30	1,78
35	1,93
40	2,06
İzolatör çapı D=44 cm alınmıştır.	



Şekil 4.1.Örnek Yapıya Ait Spektral Değerler

Buna göre disk çapları aşağıdaki gibi hesaplanır.

Tip A için;

$$A = \frac{k_D \times t}{G} = \frac{0{,}145 \times 0{,}40}{0{,}5} = 0{,}116\, m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{p}} = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}116}{p}} = 0{,}38m$$

D = 44 cm seçilmiş ve disk alanı 0,152 m^2 olarak hesaplanmıştır.

Tip B için;

$$A = \frac{k_D \times t}{G} = \frac{0{,}286 \times 0{,}40}{1} = 0{,}114\, m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{p}} = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}114}{p}} = 0{,}38m$$

D = 44 cm seçilmiş ve disk alanı 0,152 m^2 olarak hesaplanmıştır.

Tip C için;

$$A = \frac{k_D \times t}{G} = \frac{0{,}425 \times 0{,}40}{1{,}5} = 0{,}113\, m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{p}} = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}113}{p}} = 0{,}37m$$

D = 44 cm seçilmiş ve disk alanı 0,152 m^2 olarak hesaplanmıştır.

Yatay rijitlikler yeni izolatör ölçülerine göre tekrar hesaplanır.

Tip A için;

$$k_D = \frac{A \times G}{t} = \frac{0{,}152 \times 0{,}5}{0{,}40} = 0{,}190 MN/m$$

Tip B için;

$$k_D = \frac{A \times G}{t} = \frac{0{,}152 \times 1}{0{,}40} = 0{,}380 MN/m$$

Tip C için;

$$k_D = \frac{A \times G}{t} = \frac{0{,}152 \times 1{,}5}{0{,}40} = 0{,}570 MN/m$$

Hedef periyotla sistemimizin periyodunu karşılaştırmak için T_D tekrar hesaplanır.

(UBC-97, Division IV, Formül 58-2)

$$T_D = 2p \times \sqrt{\frac{W}{k_D \times g}}$$

Σk_D izolatörlerin rijitlikleri toplamı olmak üzere;

Tip A için;

$$\Sigma k_{D,A} = 8 \times 0{,}190 = 1{,}521 MN/m$$

Tip B için;

$$\Sigma k_{D,B} = 14 \times 0{,}380 = 5{,}322 MN/m$$

Tip C için;

$$\Sigma k_{D,C} = 6 \times 0{,}570 = 3{,}421 MN/m$$

$$\Sigma k_D = 1{,}521 + 5{,}322 + 3{,}421 = 10{,}264 MN/m = 10264 kN/m$$

olarak hesaplanır ve T_D;

$$T_D = 2p \times \sqrt{\frac{W}{\Sigma k_D \times g}} = 2p \times \sqrt{\frac{10809}{10264 \times 9{,}81}} = 2{,}059 s$$

bulunur ve hedef periyodumuz olan 2,5 s.'ye yeterince yakındır.

*UBC-97, Division IV, Formül 58-1*göre dizayn deplasmanı hesaplanır.

$$d_D = \frac{g \times C_V \times T}{B \times 4 \times p^2} = \frac{9{,}81 \times 0{,}64 \times 2{,}059}{1{,}35 \times 4 \times p^2} = 0{,}243 m$$

UBC-97'ye göre taban kesme kuvvetleri aşağıda hesaplanmıştır.

İzolasyon elemanları için;

$$V_D = \Sigma kD \times d_D = 10{,}264 \times 0{,}243 = 2{,}489 MN$$

Üstyapı için taban kesme kuvveti;

$$V_{S,D} = V_D \times \frac{B}{Ri} = 2{,}489 \times \frac{1{,}35}{2} = 1{,}68 MN$$

olarak elde edilir.

Sabit temelli yapı için yatay sismik kuvvet hesaplanırken, yapı periyodu olarak izole edilmiş yapının periyodu kullanılır. Bulunan değer $V_{S,D}$ değeriyle karşılaştırılır.

$$V_{sabit} = \frac{C_V \times I}{R \times T_D} \times W \geq 0{,}11 \times C_A \times I \times W$$

$$V_{sabit} = \frac{0{,}64 \times 1{,}5}{8 \times 2{,}059} \times 10{,}809 \geq 0{,}11 \times 0{,}44 \times 1{,}5 \times 10{,}809$$

$V_{sabit} = 0{,}630 \geq 0{,}785$ büyük değer kullanılarak;

$V_{S,D} = 1{,}68\ MN \rangle\rangle 0{,}785\ MN$

olduğundan $V_{S,D}$ *UBC-97, Division IV, requirement 1658.4.3* şartını sağlamaktadır.

4.7.Burulmaya Göre Toplam Deplasman Hesabı

*UBC-97, Division IV, Formül 58-5'*den faydalanılarak toplam deplasman hesaplanır.

Burulmaya bağlı dış merkezlikler b=13,30 m ve d=30 m'dir.

x doğrultusu için;

$$e_x = e_{rx} + 0{,}05 \cdot d$$
$$X = e_x + d / 2$$
$$d_{toplam} = d_D \left(1 + \frac{12 \cdot x \cdot e_x}{b^2 + d^2} \right)$$

$$e_x = 0 + 0{,}05 \times 30 = 1{,}5m$$

$$X = 1{,}5 + 30 / 2 = 16{,}5m$$

$$d_{toplam} = 0,243\left(1+\frac{12\times16,5\times1,5}{13,30^2+30^2}\right)= 0,309m$$

$$d_{toplam} \rangle 1,1\, d_D$$

$$0,309 \rangle 1,1\times 0,243 = 0,267$$

UBC-97, Division IV, requirement 1658.3.5 şartı sağlanmaktadır.

y doğrultusu için;

$$e_y = e_{ry} + 0,05 .b$$
$$Y = e_y + b / 2$$
$$d_{toplam} = d_D\left(1 + \frac{12 .y.e_y}{b^2 + d^2}\right)$$

$$e_y = 0 + 0,05\times13,30 = 0,67\, m$$

$$Y = 0,68 + 13,30 / 2 = 7,32\, m$$

$$d_{toplam} = 0,243\left(1+\frac{12\times7,32\times0,67}{13,30^2+30^2}\right)= 0,256m$$

$$d_{toplam} \rangle 1,1\, d_D$$

$$0,256 \rangle 1,1\times 0,243 = 0,267$$

UBC-97, Division IV, requirement1658.3.5 şartı sağlanmamaktadır.

4.8.Etkin Düşey Modüllerin Hesaplanması

Kauçuk tabaka kalınlığı aşağıdaki gibi belirlenir.

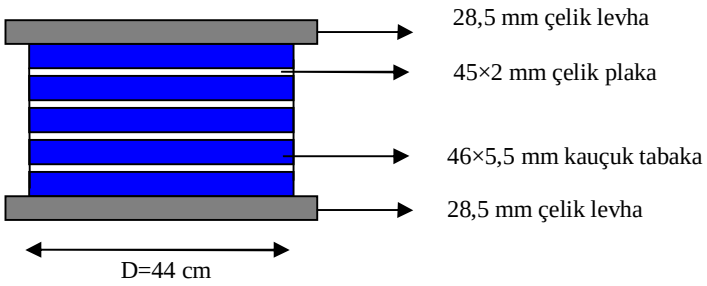
$$\frac{D}{80} < t_0 < \frac{D}{40}$$

şartını sağlamak üzere kauçuk tabakalar ve 2 mm kalınlığında çelik plakalar (shim) kullanılacaktır. (Tezcan ve Cimilli 2002)

Tüm izolatör tipleri için;

$t_0 = 5{,}5mm$

seçilebilir.



Şekil 4.2.Kauçuk İzolatör Tabaka Kalınlıkları

İzolatörün şekil faktörü (S) ve her bir izolatör için etkin basınç modülü hesaplanır.

$$S = \frac{D}{4 \times t_0} = \frac{44}{4 \times 0{,}55} = 20$$

Tip A için;

$$E_{eff} = \frac{6 \times G \times S^2 \times E_C}{6 \times G \times S^2 + E_C}$$

$$E_{eff} = \frac{6 \times 1 \times 20^2 \times 2000}{6 \times 1 \times 20^2 + 2000} = 1090{,}90 MPa$$

Tip B için;

$$E_{eff} = \frac{6 \times G \times S^2 \times E_C}{6 \times G \times S^2 + E_C}$$

$$E_{eff} = \frac{6 \times 2 \times 20^2 \times 2000}{6 \times 2 \times 20^2 + 2000} = 1411{,}76 MPa$$

Tip C için;

$$E_{eff} = \frac{6 \times G \times S^2 \times E_C}{6 \times G \times S^2 + E_C}$$

$$E_{eff} = \frac{6 \times 2{,}8 \times 20^2 \times 2000}{6 \times 2{,}8 \times 20^2 + 2000} = 1541{,}28 MPa$$

4.9.Düşey Titreşim Periyodunun Hesabı

Düşey rijitlik;

$$k_e = \frac{A \times E_C}{t}$$

$$k_e = \frac{0{,}152 \times (1090{,}90 \times 8 + 1411{,}76 \times 14 + 1541{,}28 \times 6)}{0{,}40}$$

$$k_e = 14346\ ,09\ MN\ /\ m$$

şeklinde bulunur.

Düşey yöndeki deplasman ise;

$$\Delta t = \frac{W}{k_e}$$

$$\Delta t = \frac{10{,}809}{14346{,}09} = 7{,}53 \times 10^{-4}$$

olarak bulunur.

Düşey periyot;

TipA, B, C için;

$$T_V = \frac{T_h}{\sqrt{6} \times S} = \frac{2{,}059}{\sqrt{6} \times 20} = 0{,}04s$$

4.10.Kayma Deformasyonu Hesabı

$$e_z = \frac{\Delta t}{t} = \frac{7{,}53\times10^{-4}}{0{,}40} = 0{,}0019$$

Tip A için;

Düşey yük altında;

$g_v = 6\times S\times e_z$ ise;

$$g_v = 6\times 20\times 0{,}0019 = 0{,}2260$$

Yatay yük altında;

$$g_s = \frac{k_D\times d_D}{A\times G} = \frac{0{,}190\times 0{,}243}{0{,}152\times 0{,}5} = 0{,}6063$$

$$g_{\max} = g_s + g_v$$

$$g_{\max} = 0{,}6063 + 0{,}2260 = 0{,}83$$

Tip B için;

Düşey yük altında;

$g_v = 6\times S\times e_z$ ise;

$$g_v = 6\times 20\times 0{,}0019 = 0{,}2260$$

Yatay yük altında;

$$g_s = \frac{k_D \times d_D}{A \times G} = \frac{0{,}380 \times 0{,}243}{0{,}152 \times 1} = 0{,}6063$$

$$g_{\max} = g_s + g_v$$

$$g_{\max} = 0{,}6063 + 0{,}2260 = 0{,}83$$

Tip C için;

Düşey yük altında;

$g_v = 6 \times S \times e_z$ ise;

$$g_v = 6 \times 20 \times 0{,}0019 = 0{,}2260$$

Yatay yük altında;

$$g_s = \frac{k_D \times d_D}{A \times G} = \frac{0{,}570 \times 0{,}243}{0{,}152 \times 1{,}5} = 0{,}6063$$

$$g_{\max} = g_s + g_v$$

$$g_{\max} = 0{,}6063 + 0{,}2260 = 0{,}83$$

4.11.Ortak Alanın Hesaplanması

İzolatörün ortak alanı A' şu şekilde hesaplanır.

$$A' = A\left(1 - \frac{2}{p}(q + \sin q.\cos q\right)$$

$$\sin q = \frac{d_D}{D} = \frac{0,243}{0,44} = 0,5512$$

$q = 0,5512$ ve $\cos q = 0,8519$

$$A' = 0,152\left(1 - \frac{2}{p}(0,5512 + 0,5512.0,8519\right) = 0,053 \text{ m}^2$$

4.12.Maksimum Düşey Yük Hesabı

Maksimum düşey yükler tekrar hesaplanır.

$$W = A' \times G \times S \times g_v$$

Tip A için;

$W = 0,053 \times 1 \times 20 \times 0,226 = 0,241MN > 0,225MN$ olduğundan uygundur.

Tip B için;

$W = 0,053 \times 2 \times 20 \times 0,226 = 0,48MN > 0,44MN$ olduğundan uygundur.

Tip C için;

$W = 0,053 \times 2,8 \times 20 \times 0,226 = 0,674MN > 0,660MN$ olduğundan uygundur.

4.13.Burkulma Risk Değerlendirmesi

Kritik burkulma yükü;

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{A \times G \times p^2 \times E_{eff,v} \times I}{3 \times t^2}}$$

Dairenin atalet momenti; $I = \frac{p \times D^4}{64}$

Her bir izolatörü burkulma riskine karşı ayrı ayrı incelersek;

Tip A için;

$$I = \frac{p \times 0{,}44^4}{64} = 0{,}0018 m^4$$

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0{,}152 \times 0{,}5 \times p^2 \times 1090{,}90 \times 0{,}0018}{3 \times 0{,}4^2}} = 1{,}77 MN > 0{,}225 MN$$ olduğundan uygundur.

Tip B için;

$$I = \frac{p \times 0{,}44^4}{64} = 0{,}0018 m^4$$

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0{,}152 \times 1 \times p^2 \times 1411{,}76 \times 0{,}0018}{3 \times 0{,}4^2}} = 2{,}85 MN > 0{,}444 MN$$ olduğundan uygundur.

Tip C için;

$$I = \frac{p \times 0{,}44^4}{64} = 0{,}0018 m^4$$

$$P_{cr} = \sqrt{\frac{0{,}152 \times 1{,}5 \times p^2 \times 1541{,}28 \times 0{,}0018}{3 \times 0{,}4^2}} = 3{,}65 MN > 0{,}66 MN$$ olduğundan uygundur.

4.14.Kurşun Çekirdek Çapının Hesaplanması

$$d_1 = \frac{t}{1{,}5} = \frac{0{,}40}{1{,}5} = 0{,}27 m$$ bulunur.

$$A_{kurşur} = \frac{p \times d_1^2}{4} = 0{,}057\, m^2$$

Akmada kesme kuvveti ise;

Kesme kuvveti Q olmak üzere;

$$Q = \frac{A_{loop}}{4 \times d_D}$$

$$A_{loop} = b \times \left(2 \times p \times k_D \times d_D{}^2\right)$$

$$k_D = \frac{4 \times p^2 \times W}{T^2 \times g}$$

Tip A için;

$$k_D = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}225}{2{,}059^2 \times 9{,}81} = 0{,}214 MN/m$$

$$A_{loop} = 0{,}15 \times \left(2 \times p \times 0{,}214 \times 0{,}243^2\right) = 0{,}012 MN - m$$

$$Q = \frac{0{,}012}{4 \times 0{,}243} = 0{,}012 MN$$

$$t_y = \frac{Q_y}{A_{kurşur}} = \frac{0{,}012}{0{,}057} = 0{,}21 MPa << 10{,}5 \text{ MPa}$$ olduğundan

kurşun çekirdeğin çapı küçültülebilir. d_1=0,07 m alınır ve her bir izolatör için tekrar hesap yapılır.

$$A_{kurşur} = \frac{p \times d_1^2}{4} = 0{,}0038\, m^2$$

Tip A için;

$$k_D = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}225}{2{,}059^2 \times 9{,}81} = 0{,}214 MN/m$$

$$A_{loop} = 0{,}15 \times \left(2 \times p \times 0{,}214 \times 0{,}243^2\right) = 0{,}012 MN - m$$

$$Q = \frac{0{,}012}{4 \times 0{,}243} = 0{,}012 MN$$

$$t_y = \frac{Q_y}{A_{kurşur}} = \frac{0{,}012}{0{,}0038} = 3{,}17 MPa < 10{,}5 \text{ MPa} = t_{y,\max}$$ olduğundan uygundur.

Tip B için;

$$k_D = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}444}{2{,}059^2 \times 9{,}81} = 0{,}422 MN/m$$

$$A_{loop} = 0{,}15 \times \left(2 \times p \times 0{,}422 \times 0{,}243^2\right) = 0{,}023 MN - m$$

$$Q = \frac{0{,}023}{4 \times 0{,}243} = 0{,}024 MN$$

$t_y = \frac{Q_y}{A_{kurşur}} = \frac{0{,}024}{0{,}0038} = 6{,}26 MPa$ < 10,5 MPa= $t_{y,\max}$ olduğundan uygundur.

Tip C için;

$$k_D = \frac{4 \times p^2 \times 0{,}66}{2{,}059^2 \times 9{,}81} = 0{,}627 MN/m$$

$$A_{loop} = 0{,}15 \times \left(2 \times p \times 0{,}627 \times 0{,}243^2\right) = 0{,}035 MN - m$$

$$Q = \frac{0{,}035}{4 \times 0{,}243} = 0{,}036 MN$$

$t_y = \frac{Q_y}{A_{kurşur}} = \frac{0{,}036}{0{,}0038} = 9{,}31 MPa$ < 10,5 MPa= $t_{y,\max}$ olduğundan uygundur.

4.15.Kesme Kuvvetine Bağlı Çap Kontrolü

Tüm yapı için kauçuğun elastoplastik rijitliği k_2;

$$k_2 = k_{eff} - \frac{Q_y}{d_D}$$

$$k_{eff} = \frac{V_D}{d_D} = \frac{2,489}{0,243} = 10,264 MN/m$$

Tip A için;

$$k_2 = 10,26 - \frac{0,012}{0,243} = 10,21 MN/m$$

$k_2 / k_1 \cong 1/10$ olarak alınır. (Tezcan ve Cimilli 2002)

Toplam kesme kuvveti;

$$V_D = Q_y\left(1 - \frac{k_2}{k_1}\right) + k_2 \times d_D = 0,012(1-0,1) + (10,21 \times 0,243) = 2,488 MN$$

bulduğumuz değer Bölüm 4.6'da izolasyon elemanları için bulunan V_D değeri 2,489 MN'a yeterince yakındır.

Tip B için;

$$k_2 = 10,26 - \frac{0,024}{0,243} = 10,16 MN/m$$

$k_2 / k_1 \cong 1/10$ olarak alınır.

$$V_D = Q_y\left(1-\frac{k_2}{k_1}\right)+k_2\times d_D = 0{,}024(1-0{,}1)+(10{,}16\times 0{,}243) = 2{,}487MN$$

bulduğumuz değer Bölüm 4.6'da izolasyon elemanları için bulunan V_D değeri 2,489 MN'a yeterince yakındır.

Tip C için;

$$k_2 = 10{,}26-\frac{0{,}036}{0{,}243} = 10{,}12MN/m$$

$k_2/k_1 \cong 1/10$ olarak alınır.

$$V_D = Q_y\left(1-\frac{k_2}{k_1}\right)+k_2\times d_D = 0{,}036(1-0{,}1)+(10{,}12\times 0{,}243) = 2{,}486MN$$

bulduğumuz değer Bölüm 4.6'da izolasyon elemanları için bulunan V_D değeri 2,489 MN'a yeterince yakındır. (Tezcan ve Cimilli 2002)

4.16.Kauçuk İzolatörlerin Yapı Maliyetine Etkisi

Uluslararası kabul görmüş FIP INDUSTRIALE Türkiye temsilcisinden kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için alınan yaklaşık fiyat 55 €/dm^3'tür. Buna göre her bir izolatörün çapları ve yükseklikleri aynı olduğuna göre, bir izolatörün hacmi,

$$\frac{pD^2}{4}.t = \frac{p\,4{,}4^2}{4}.4 = 60{,}82dm^3$$

olarak bulunur.

Toplam olarak 28 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanıldığından,

$$28\times 60{,}82 = 1703dm^3$$

55 €/dm^3 birim fiyat baz alınarak,

1703×55=93.665 €

olarak izolatörlerin yaklaşık toplam maliyeti hesaplanmıştır.

Uluslararası kabul görmüş MAURER SÖHNE Türkiye temsilcisinden kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için alınan yaklaşık fiyat 3.000 €/adet'tir. Toplam olarak 28 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanıldığından,

28×3.000=84.000 €

olarak izolatörlerin yaklaşık toplam maliyeti hesaplanmıştır.

Ortalama olarak baz alınacak kurşun çekirdekli kauçuk izolatör toplam yaklaşık maliyeti,

$$\frac{93.665 + 84.000}{2} = 88.833\,€$$

olarak elde edilir.

T.C Merkez Bankası 12.03.2007 tarihli € alış fiyatı olan 1,8409 YTL baz alınarak, toplam kurşun çekirdekli izolatör maliyeti,

88.833×1,8409=163.533 YTL

olarak belirlenmiştir.

Yapı yaklaşık maliyeti hesaplanırken kontrol sistemi kullanılmış yapıda kesit ve donatı miktarında azalma olmadığı varsayılmış, sadece kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin maliyete etkisi incelenmiştir.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 2007 yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetlerine göre V.sınıf C Grubu yapılar (Hastaneler, Büyük radyo televizyon binaları vb.) için yapı birim maliyeti 1.098 YTL/m^2'dir. Örnek yapının 4 katlı ve toplam alanı 30×13,30=399 m^2 olduğuna göre yapı yaklaşık toplam maliyeti,

4×399×1098=1.752.408 YTL

olarak hesaplanır.

Buna göre klasik yöntemle yapılan yapının maliyeti yaklaşık 1.752.408 YTL, yapısal kontrol sistemi kullanılmış yapının yaklaşık maliyeti ise 1.915.941

YTL olarak belirlenebilir. Buradan görüldüğü üzere, örnek yapıya uygulanan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin yapı toplam maliyetine etkisi yaklaşık olarak %10 mertebelerinde bulunmuştur.

5. SONUÇLAR

Yapıların ve içinde bulunan ekipmanların dinamik yüklere karşı korunması amacıyla, klasik yönteme alternatif olarak yapısal kontrol sistemleri önerilmektedir. Pasif, aktif, karma ve yarı aktif kontrol sistemleri olarak sınıflandırılan kontrol sistemlerinden, ekonomikliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle en çok tercih edilen sistemler pasif kontrol sistemleridir. Ancak belli bir yapı yüksekliğine kadar uygulanabilmeleri pasif kontrol sistemlerine alternatif kontrol sistemlerinin geliştirilmesini gerektirmiştir.

Aktif kontrol sistemleri gelişmiş teknolojileri ve her türlü dinamik etkiye cevap verebilmeleri nedeniyle uygulama alanları sınırsızdır. Karma ve yarı aktif kontrol sistemleri ise, aktif ve pasif sistemlerin dezavantajlarının ve eksikliklerinin giderilmesi amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Maliyetleri ve enerji gereksinimleri aktif sistemlere göre daha az olan bu sistemler, performans olarak aktif sistemlere yakın değerler verdiği görülebilmektedir.

Sabit temelli ve taban izolasyonlu olarak çözümlenmiş olan örnek 4 katlı betonarme yapıda taban kesme kuvvetlerinde yaklaşık %25 oranında azalma sağlanması ile, üstyapının daha az ivmeye maruz kaldığı belirlenmiştir. Sabit temelli yapıda spektral ivme değeri 1,1g iken, sismik izolasyon sistemi uygulanmış yapıda bu değer 0,31g olarak elde edilmiştir. Üstyapı ile temeli ayıran kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için uluslararası kabul görmüş FIP INDUSTRIALE ve MAURER SÖHNE firmalarından alınan fiyatlara göre yaklaşık olarak %10 oranında maliyette artış gözlenmiştir. Yapı yaklaşık maliyeti hesaplanırken kontrol sistemi kullanılmış yapıda kesit ve donatı miktarında azalma olmadığı varsayılmış, sadece kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin maliyete etkisi incelenmiştir. Böylece yapıya ek maliyet katan sadece izolatörler olmaktadır.

Ülkemizin %95'inin deprem bölgesinde olduğu ve son yaşadığımız 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve 12 Kasım 1999 Düzce depreminde yaklaşık 25 milyar dolar maddi zarar ve 18.000 kişinin hayatını kaybettiği düşünülürse, özellikle stratejik önemi olan hastane, iletişim merkezleri ve acil durum merkezleri gibi

yapılarda kontrol sistemlerinin kullanılması gerektiği aşikardır. Konut vb. yapılarda ise kontrol sistemlerinin uygulanmasına karar vermeden önce klasik yönteme göre maliyet analizi yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

Aldemir, Ü., 1994. Depreme dayanıklı yapı tasarımında aktif kontrolün kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, ITÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Arita, T., Kobori, T., Toshikazu, Y., Takenaka, Y., Miyakawa, N., Kurokawa, Y., Tanaka, N., Fukurmoto, T., 1994. Development and application of passive joint dampers for vibration control of large Structural Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria, August 28-September 2, 2017-2022.

Bisch, P., 1993, Base Isolation: Principles and applications, Proceedings of the 17th Regional European Seminar on Earthquake Engineering, Haifa, Israel, 5-10 September, 327-347.

Constantinou, M.C., Symans, M.D., Tsopelas, P. and Taylor, D.P., 1993. Fluid Viscous Dampers in Applications of Seismic Energy Dissipation and Seismic Isolation, Proceedings of Seminer on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control, San Francisco, California, March 11-12, 581-591.

Dolce, M., Cardone, D. and Marnetto R., 2000. Implementation and testing of passive control devices based on shape memory alloys, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 29, 945-968.

Elma, M.,2006. Sismik Taban İzolasyonlu Yapılarda Üstyapı Rijitliğinin Yapının Sismik davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Higashino, M., Aizawa, S., Yamamoto, M. and Toyama, K., 1998. Application of Active Mass Damper (AMD) System, and Earthquake and Wind Observation Results, Proceedings of the Second World Conference on Structural Control, Kyoto, Japan, June 28 July 1, 785-794.

Housner, G.W., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos, A.G., Claus, R.O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T.T., Spencer, B.F. and Yao, J.T.P., 1997.Structural Control: Past, Present and Future, .Journal of Engineering Mechanics, 123, 897-958.

Kelly, J.M., 1994. The development of isolators and isolation components for earthquake resistant design, Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria, August 28- September 2, 1863-1868.

Kelly, J.M., 1991. Base Isolation: Origins and Development, Earthquake Engineering Research Center News, Vol 12, No: 1.

Kobori, T., Takahashi, M., Nasu, T. and Niwa, N., 1993. Seismic Response Controlled Structure with Active Variable Stiffness System, Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 22, 925-941.

Kurokawa, Y., Sakamoto, M., Yamada, T., Kurino, H. and Kunisue, A., 1998. Structural Design of a Tail Building with Elasto-plastic Steel Dampers for Attenuation of Torsional and Lateral Motions, Proceedings of the Second World Conference on Structural Control, Kyoto, Japan, June 28-July 1,733-740.

Li, L. and Xiaoqing, Z., 1998. The ERF Smart Damping System, Proceedings of the Second World Conference on Structural Control Kyoto, Japan, June 28-JuIy 1, 445-449.

Naeim, F.,Kelly, J.M., 1999. Design of Seismic İsolated Structures : from theory to practice.

Ribakov, Y., Gluck, J. and Reinhorn, A.M., 2001. Active viscous damping system for control of MDOF structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 30, 195-212.

Sansarcı, E., 2002. Yapısal Kontrol Sistemleri ve Sıvı Sönümleyicilerin Yapılarda kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, ITÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sarbjeet, S. and Datta, T.K., 1997. Open-Closed-Loop Linear Control of Building Frames Under Seismic Excitation, Journal of Structural Engineering, 124,43-51.

Shing, P.B., Dixon, M.E., Kermiche, N., Su, R. and Frangopol, D.M., 1996. Control of Building Vibrations with Active/Passive Devices, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 25, 1019-1040.

Soong, T.T. and Reinhorn, A.M., 1993. Case Studies of Active Control and Implementational lssues, Proceedings of Seminar on Seismic İsolation, Passive

Energy Dissipation and Active Control, San Francisco, California, March 11-12, 581-591.

Spencer, .B.F,, Yang, G., Carlson, D.J. and Sain, M.K., 1998. Smart Dampers for Seismic Protection of Structures: A Full-Scale Study, Proceedings of the Second World Conference on Structural Control Kyoto, Japan, June 28-JuIy 1, 417-426.

Suzui, Y. and Takahashi Y., 1998. Development of Y-Shape Brace Damper, Proceedings of the Second World Conference on Structural Control, Kyoto, Japan, June 28-July 1,243-250.

Tezcan,S.S. and Cimilli, S., 2002. Seismic Base Isolation.

Tezcan,S.S. and Erkal, A., 2002. Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices.

Tsai, C.S. and Chung, L.L., 1998. RADAS as a Damper for Seismic Mitigation, Proceedings of the Second World Conference on Structural Control, Kyoto, Japan, June 28-July 1, 113-120.

Uniform Building Code Volume 2, 1997.

Xia, C. and Hanson, R.D., 1992. Influence of ADAS element parameters on building seismic response, Journal of Structural Engineering. 118, 1903-1918.

Yasul, K., Izawa, K., Mukai, Y. and Tachibana, E., 1998. Development of an Active Air-bag Response Control System for Building vibrations, Proceedings of the Second World Conference on Structural Control, Kyoto, Japan, June 28-JuIy 1,619-626.

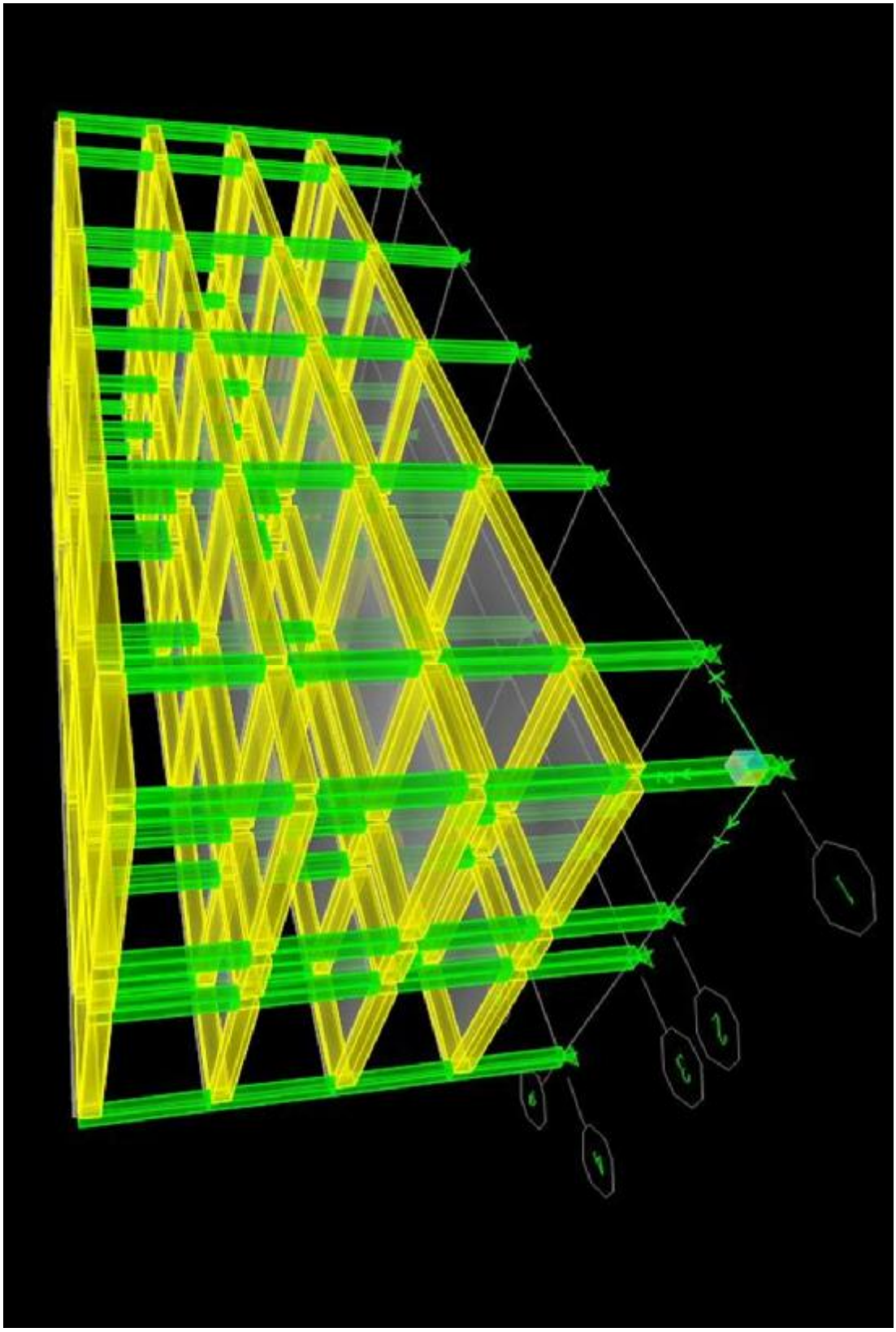
7.EKLER

I. Örnek Yapı Üç Boyutlu Görünümü

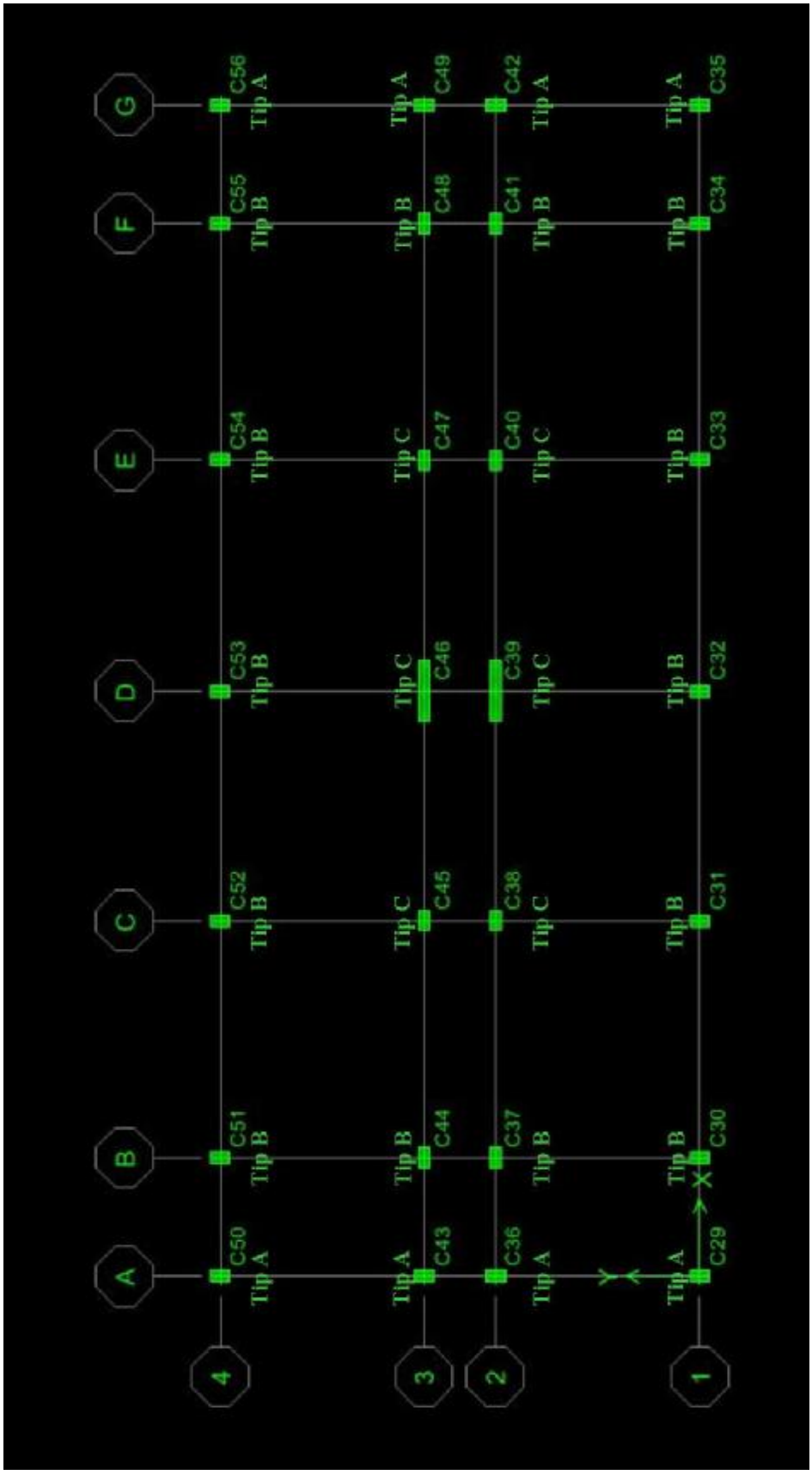
II. Örnek Yapı Kolon ve İzolatör Yerleşimi

III. Örnek Yapı Kesit Görünümü

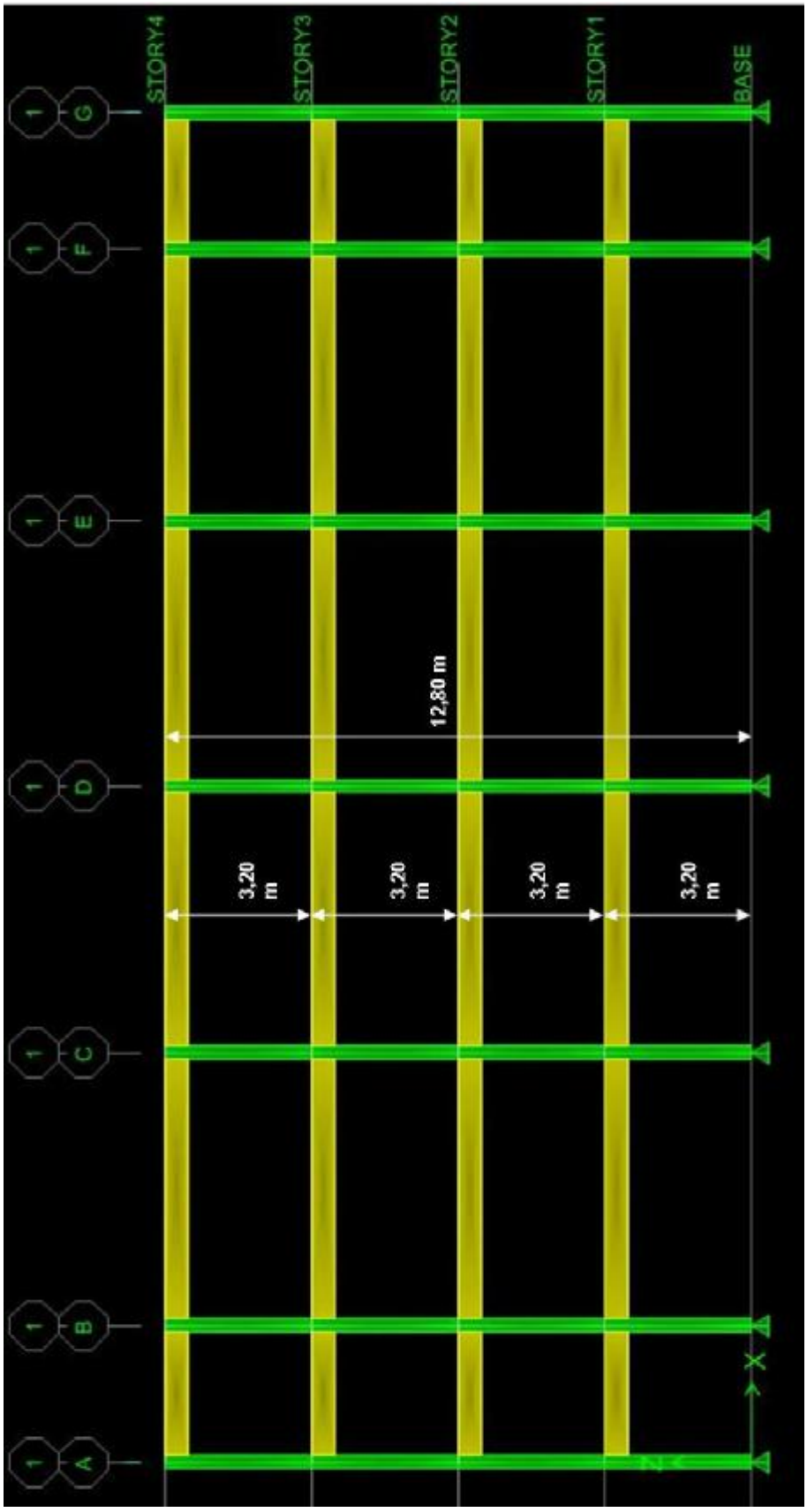
IV. Örnek Yapı Kalıp Planı



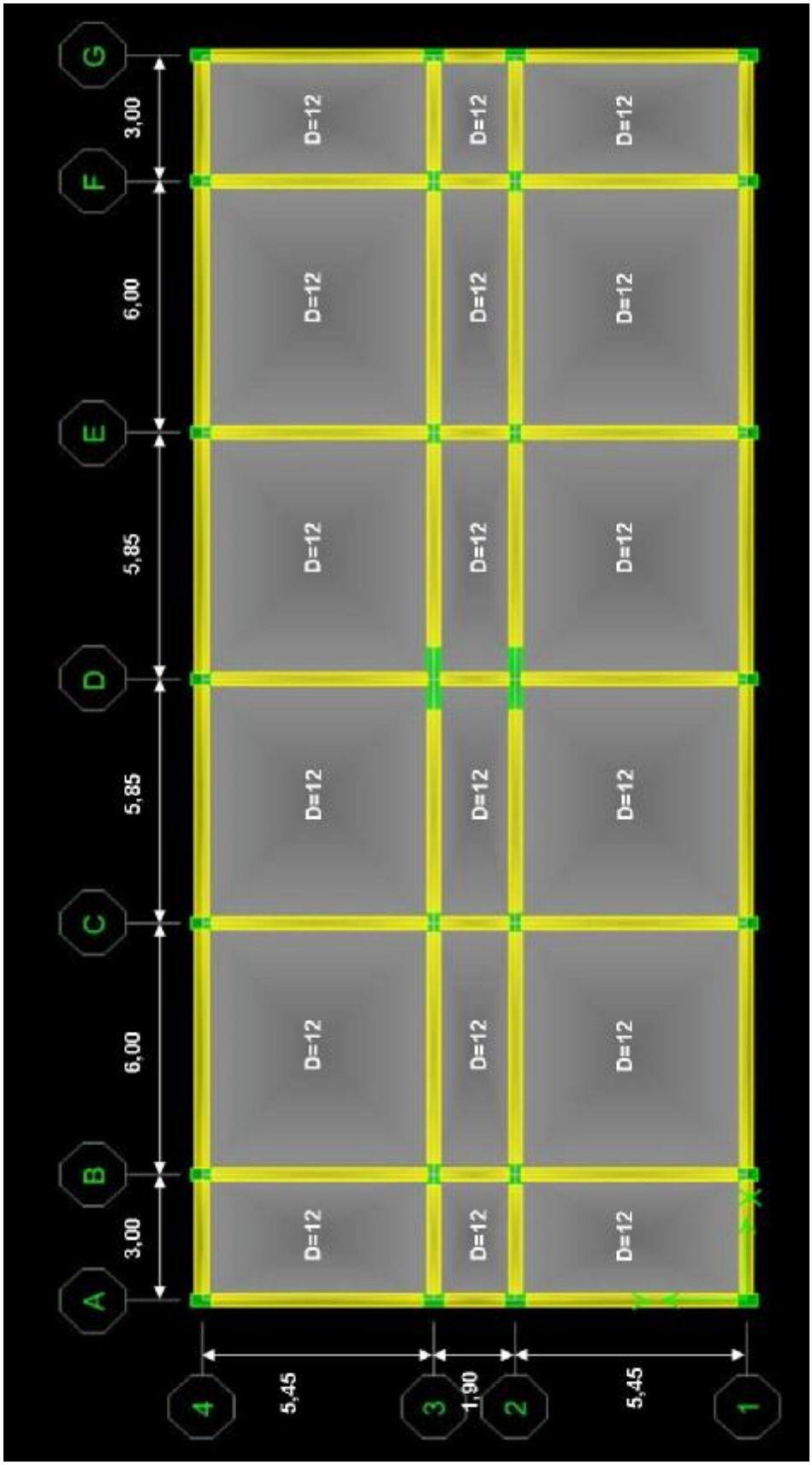
EK.I.Örnek Yapı Üç Boyutlu Görünümü



EK.II.Örnek Yapı Kolon ve İzolatör Yerleşimi



EK.III.Örnek Yapı Kesit Görünümü



EK.IV.Örnek Yapı Kalıp Planı