

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DÜŞEYDE DÜZENSİZ BİNA TÜRÜ YAPILARIN
DEPREM PERFORMANSLARININ
PASİF ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAKAN KOÇAN

MAYIS 2017

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DÜŞEYDE DÜZENSİZ BİNA TÜRÜ YAPILARIN
DEPREM PERFORMANSLARININ
PASİF ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAKAN KOÇAN

UŞAK 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Hakan KOÇAN tarafından hazırlanan “Düşeyde Düzensiz Bina Türü Yapıların Deprem Performanslarının Pasif Enerji Sönümleyiciler İle İyileştirilmesi” adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Elif Çağda KANDEMİR MAZANOĞLU

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.....

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Elif Çağda KANDEMİR MAZANOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ayhan NUHOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi

Prof. Dr. Halit GÜN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Doç. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Soner ŞEKER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi

Tarih : / /

Bu tez ile Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Lütfullah TÜRKMEN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hakan KOÇAN

**DÜŞEYDE DÜZENSİZ BİNA TÜRÜ YAPILARIN
DEPREM PERFORMANSLARININ
PASİF ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER İLE İYİLEŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Hakan KOÇAN

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mayıs 2017

ÖZET

Bina türü yapılarda sıklıkla karşılaşılan düşeyde düzensizlik durumlarından kütle ve rijitlik düzensizlikleri, yapının dinamik davranışını büyük ölçüde olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada, bu tür düzensizliklere sahip, hali hazırda mevcut olan iki adet bina türü yapının deprem performansları rölatif yerdeğiştirme, katlar arası yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetleri bakımından incelenmiştir. Deprem altındaki davranışlarının iyileştirilmesi için çeşitli sönümleyici tipleri önerilmiştir. Bunlar, doğrusal ve doğrusal olmayan viskoz akışkanlı, viskoelastik, sürtünme tipi ve ayarlı kütle tipi sönümleyicilerdir. Sönümleyici kapasiteleri belirli ek sönüm oranı için hesaplanmış ve bulunan karakteristik parametreleri yapıların kütle, sönüm ve rijitlik matrislerinde uygun yerlere eklenerek, dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Eşdeğer viskoz sönüm kapasiteleri ve deprem cevapları birlikte kıyaslanarak, en efektif sönümleyici belirlenmiştir. Çalışmada, zaman tanım alanında sistem cevaplarını bulmak için nümerik integrasyon metodu olan *Newmark- β Nümerik İntegrasyon Metodu* kullanılmıştır. Tüm analizler *MATLAB* programında gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu : İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Anahtar Kelimeler : Zayıf Kat Düzensizliği, Yumuşak Kat Düzensizliği,
Deprem Cevapları, Pasif Damperler

Sayfa Adedi : 75

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Elif Çağda KANDEMİR MAZANOĞLU

**ENHANCING SEISMIC PERFORMANCE OF
VERTICALLY IRREGULAR BUILDING-TYPE STRUCTURES BY
PASSIVE ENERGY DISSIPATION DEVICES**

(M.Sc. Thesis)

Hakan KOÇAN

**UŞAK UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2017

ABSTRACT

Mass and stiffness irregularities, which are faced often, of building-type structures, affect seismic behaviour in a negative manner substantially. In this study, two existing buildings with such irregularities are examined in terms of relative displacement, interstorey displacement and base shear forces due to seismic excitation. Various passive energy dissipation devices, namely, linear and nonlinear viscous dampers, viscoelastic dampers, friction dampers and tuned mass dampers, are proposed for seismic response mitigation. Damper capacities determined by equal additional damping ratio assumptions for each damper are placed to structural matrices correctly to perform dynamic analyses. The most effective damper is achieved by comparison of equivalent damping ratios and seismic responses. *Newmark- β Method* is used for computation of time responses. *MATLAB* program is used for conducting all analyses in the study.

Science Code : Department of Civil Engineering
Key Words : Weak Storey Irregularity, Soft Storey Irregularity,
Seismic Responses, Passive Dampers
Number of Pages : 75
Adviser : Assist. Prof. Elif Çağda KANDEMİR MAZANOĞLU

TEŐEKKÖR

UŞak Őniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde “Yüksek Lisans Tezi” olarak hazırladığım bu çalışmada, kendisinden birçok Őey öğrendiğim ve çalışmalarım da bana rehberlik eden Tez Danışmanı Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Elif Çağda KANDEMİR MAZANOĞLU ’na ve emeği geçen tüm değerli İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hocalarıma, ayrıca bu çalışmamın başından sonuna kadar her zaman manevi desteğini esirgemeyen başta babam ve annem olmak üzere kardeŐime ve eŐime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1 GİRİŞ.....	1
2 LİTERATÜR.....	3
2.1 Düşeyde Düzensiz Binalar.....	3
2.2 Deprem Sönümleyici Eklenmiş Düşeyde Düzensiz Binalar.....	7
3 DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK TANIMLARININ DBYBHY-2007 VE DİĞER YÖNETMELİKLERLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	10
3.1 DBYBHY-2007’de Düşeyde Düzensizlik Durumları.....	10
3.1.1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği - Zayıf Kat.....	12
3.1.2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği - Yumuşak Kat.....	14
3.1.3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği.....	15
3.2 UBC-97’de Düşeyde Düzensizlik Durumları.....	15
3.2.1 Rijitlik Düzensizliği - Yumuşak Kat (Tip I Düzensizliği).....	16
3.2.2 Ağırlık (Kütle) Düzensizliği (Tip II Düzensizliği).....	16
3.2.3 Düşeyde Geometrik Düzensizlik (Tip III Düzensizliği).....	16
3.2.4 Yatay Yük Taşıyan Sistemlerde Düşey Eleman Süreksizliği (Tip IV Düzensizliği).....	16
3.2.5 Kapasite Süreksizliği - Zayıf Kat (Tip V Düzensizliği).....	17
3.3 EC-8’de Düşeyde Düzensizlik Durumları.....	18

	Sayfa
4 PASİF ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER.....	23
4.1 Yapısal Kontrol Sistemleri.....	23
4.2 Pasif Enerji Sönümleyiciler (Pasif Damperler).....	25
4.2.1 Viskoz Damperler (VD).....	25
4.2.2 Viskoelastik Damperler (VED).....	29
4.2.3 Sürtünmeli Damperler (SD).....	33
4.2.4 Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (AKS).....	35
5 ÇALIŞMANIN BULGULARI.....	38
5.1 Betonarme Konut İnşaatı Projesi - Bina I Örneği (B1-Zayıf Kat Düzensizliği).....	41
5.2 Betonarme Konut İnşaatı Projesi - Bina II Örneği (B2-Yumuşak Kat Düzensizliği)....	48
6 SONUÇ.....	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. DBYBHY-2007’de düşey doğrultuda düzensizlik durumları.....	11
Çizelge 3.2. Sismik analiz ve dizaynda yapılan düzenlilik sonuçları.....	20
Çizelge 4.1. Yapısal kontrol sistemleri.....	24
Çizelge 5.1. Bina I’ın statik hesap programı olan ideCAD ile elde edilen beton metrajı...43	
Çizelge 5.2. Bina I’ın statik hesap programı olan ideCAD ile elde edilen donatı metrajı...44	
Çizelge 5.3. Bina I’ın damper tiplerine göre katlarında oluşan en büyük yerdeğiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri.....	47
Çizelge 5.4. Bina I’ın her katına eklenen eşdeğer damper (C_{eq}) kapasiteleri.....	48
Çizelge 5.5. Bina II’nin statik hesap programı olan ideCAD ile elde edilen beton metrajı.52	
Çizelge 5.6. Bina II’nin statik hesap programı olan ideCAD ile elde edilen donatı metrajı53	
Çizelge 5.7. Bina II’ın damper tiplerine göre katlarında oluşan en büyük yerdeğiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri.....	56
Çizelge 5.8. Bina II’ın her katına eklenen eşdeğer damper (C_{eq}) kapasiteleri.....	57
Çizelge 6.1. Bina I’ın dampersiz ve damperli durumları için yerdeğiştirme azalım oranlarının karşılaştırılması.....	59
Çizelge 6.2. Bina II’ın dampersiz ve damperli durumları için yerdeğiştirme azalım oranlarının karşılaştırılması.....	59

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. DBYBHY-2007’de taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği.....	12
Şekil 3.2. DBYBHY-2007’de zayıf kat düzensizliği.....	13
Şekil 3.3. DBYBHY-2007’de yumuşak kat düzensizliği.....	14
Şekil 3.4. UBC-97’ye göre düşeyde düzensizlikler.....	17
Şekil 3.5. EC-8’de çoklu geri çekme.....	21
Şekil 3.6. EC-8’de tekli geri çekme.....	21
Şekil 3.7. EC-8’de kademeli geri çekme.....	22
Şekil 4.1. Viskoz akışkanlı sönümleyicinin boyuna kesiti.....	26
Şekil 4.2. Sönüm kuvveti ($F_d / F_d(\alpha = 1)$) – Rölatif hız ($\dot{x} / \dot{x}(\alpha = 1)$) ilişkisi.....	27
Şekil 4.3 Viskoz akışkanlı sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme döngüsü.....	28
Şekil 4.4. Viskoelastik malzemenin histerezis döngüsü.....	30
Şekil 4.5. Viskoelastik malzemenin zaman tanım alanında ve tekrarlı periyodik yük durumunda gerilme ve şekil değiştirme diyagramları.....	30
Şekil 4.6. Viskoelastik sönümleyici.....	31
Şekil 4.7. Sürtünmeli damper modeli.....	34
Şekil 4.8. Pall tipi sürtünme sönümleyici.....	34
Şekil 4.9. Tek serbestlik dereceli sistemlere eklenmiş AKS modelleri.....	35
Şekil 5.1. 1999 Düzce depremi Bolu istasyonu kuzey-güney bileşeni ivme kaydı.....	39
Şekil 5.2. Düzce depremi ivme Fourier spektrumu.....	40
Şekil 5.3. Bina I’in beton ve donatı ağırlıkları ile oluşturulmuş toplanmış kütle modeli...	45
Şekil 5.4. Bina I’in, dampersiz, viskoz damperli, viskoelastik damperli, sürtünmeli damperli, ayarlı kütle sönümleyicili, yerdeğiştirme-zaman grafikleri.....	46
Şekil 5.5. Bina II’nin beton ve donatı ağırlıkları ile oluşturulmuş toplanmış kütle modeli.	54
Şekil 5.6. Bina II’nin, dampersiz, viskoz damperli, viskoelastik damperli, sürtünmeli damperli, ayarlı kütle sönümleyicili, yerdeğiştirme-zaman grafikleri.....	55

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Kurulumu tamamlanmış viskoz sönümleyici.....	28
Resim 4.2. Viskoelastik sönümleyici katmanları.....	32
Resim 4.3. Dünya Ticaret Merkezi'nde kullanılmış viskoelastik sönümleyici-A.B.D.....	32
Resim 4.4. Ayarlı kütle tipi sönümleyici-Taipei 101 binası-Tayvan.....	36
Resim 4.5. Taipei 101 binası kütle-yay sistemi-Tayvan.....	37
Resim 5.1. Bina I'in betonarme konut inşaatı projesi.....	41
Resim 5.2. Bina II'nin betonarme konut inşaatı projesi.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge	Açıklama
c	Sönümlenme katsayısı
C	Sönüm matrisi
E	Malzeme elastisite modülü
$(h)_i$	Binanın i 'inci katın ölçülen kat yüksekliği
	Binanın i 'inci katın altında kalan katın ölçülen kat yüksekliği
	Binanın i 'inci katın altında kalan katın ölçülen kat yüksekliği
I	Yapının atalet momenti
k	Rijitlik katsayısı
K	Rijitlik matrisi
m	Kütle değeri
M	Kütle matrisi
T	Bina doğal titreşim periyodu
	Binanın i 'inci katın azaltılmış görelî kat ötelemesi
	Binanın i 'inci katın altında kalan katın azaltılmış görelî kat ötelemesi
	Binanın i 'inci katın üstünde kalan katın azaltılmış görelî kat ötelemesi
	Binanın i 'inci katın maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
	Binanın i 'inci katın minimum azaltılmış görelî kat ötelemesi

Simge	Açıklama
$(Di)_{ort}$	Binanın i'inci katın ortalama azaltılmış görece kat ötelemesi
$(SAe)_i$	i'inci katın göz önüne alınan deprem doğrultusunda toplam etkin kesme alanı
$(SAe)_{i-1}$	i'inci katın altında kalan katın göz önüne alınan deprem doğrultusunda toplam etkin kesme alanı
$(SAe)_{i+1}$	i'inci katın üstünde kalan katın göz önüne alınan deprem doğrultusunda toplam etkin kesme alanı
SA_g	Herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
SA_k	Herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda kargir dolgu duvar alanlarının toplamı (kapı ve pencere gibi boşluklar hariç)
SA_w	Herhangi bir katta kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w 'ların toplamı
h_{ci}	i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
h_{ki}	i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı

Simge	Açıklama
--------------	-----------------

ξ	Sönümleme oranı
ω_D	Doğal açısal frekans
l	Özdeğer vektörü
θ	Dönme açısı
\emptyset	Titreşim modu

Kısaltmalar

Açıklama

CMP	Consecutive Modal Pression
Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007	
EC-8	Eurocode-1998
ELF	Equivalent Lateral Force
LFRS	Lateral Force Resisting Systems
MTMD	Multiple Tuned Mass Damper
NL-RHA	Non Linear Response History Analysis
RC	Reinforced Concrete
SAP2000	Structural Analysis Program 2000
SMRF	Special Moment Resistant Frame
TMD	Tuned Mass Damper
UBC-97	Uniform Building Code-1997

1 GİRİŞ

Ülkemiz, günümüze kadar pek çok şiddetli deprem tecrübe etmiş ve acı sonuçlarla yüzleşmiştir. Bu deneyimlerle, deprem standartlarında güncellemeler yapılarak dünya standartları yakalanmaya çalışılmıştır. Her ne kadar teoride yani kâğıt üzerinde, insanların can ve mal güvenliğini sağlamaya yönelik tasarımlar zorunlu kılınsa da, maalesef uygulamada olumsuz arazi şartları, üretici ve/veya kullanıcı talepleri vs. zorunlu tutulan şartları sağlamada engel teşkil edebilmektedir. Yapısal düzensizlikler de istenmeyen durumlar arasında olup, uygulamada sıkça karşılaşılmaktadır. Bina türü yapılarda zemin katın mağaza gibi bir kullanım amacının olması, bu katın diğer katlara göre daha yüksek olmasını, geniş bir iç hacim elde edebilmek için bölme duvarların olmamasını ve dış duvarların cam olmasını gerektirebilmektedir. Yine asansör boşlukları gibi planda karşılaşılan ve simetriyi bozan durumlar binalardaki düzensizliklerden yalnızca birkaçıdır.

Binaların deprem performansı, taşıyıcı sistemin simetrisinden ve katlar arası kütle ile rijitlik değerlerinin farklılık göstermesinden büyük oranda etkilenmektedir. Performansın artırılması için ya bu düzensizlik durumu ortadan kaldırılarak simetrik bir yapı sağlanmalı ya da yapının sönüm oranını arttıracak ek cihazlar ilave edilerek yapıya gelen deprem enerjisi azaltılmalıdır. İnşaat mühendisliği yapıları için pek çok cihaz geliştirilmiştir. Bunlar ilerideki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

Çok katlı bir yapının toplanmış kütle modeli ile oluşturulmuş hareket denklemi;

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -Mr\ddot{x}_g \quad (1.1)$$

ile gösterilmektedir. Eş.1.1'de M , C , K matrisleri sırayla n serbestlik dereceli bir sistem için kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini ve $x(t)$ vektörü yatay yerdeğiştirme vektörünü, r birim vektörü, \ddot{x}_g yer ivmesini ifade etmektedir [1].

Eş.1.1'de M , C , K matrislerinin açılımları aşağıda verilmiştir.

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & m_2 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & m_n \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & -c_3 & c_3 + c_4 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & -c_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & -c_n & c_n \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & -k_3 & k_3 + k_4 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & -k_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & -k_n & k_n \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

Düşeyde simetrik ve düzenli bir yapı için kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri simetrik olup diyagonaller kütle matrisi için aynı değerde, rijitlik matrisi için de ilk ve son diyagonaller farklı olmak üzere diğer değerler aynıdır. Düşeyde düzensiz olan, yani kütle ve rijitlik değerleri katlar arasında farklılık gösteren sistemler de simetrik matristir ancak diyagonal değerler tamamen farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada düşeyde düzensiz bina türü yapıların deprem esnasında ortaya çıkan davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır ve aynı zamanda deprem sırasındaki performanslarının pasif enerji sönümleyiciler ile nasıl iyileştirilebileceği araştırılmıştır. Bunun sonucunda damper performansları, yerdeğiştirmedeki azalma oranları bakımından incelenmiş ve düzensizlik durumuna göre, önerilen pasif damperler arasından, en etkili damper tipi tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma, deprem kuşağında yer alan ülkemizde enerji sönümleyici elemanlar ile ilgili araştırmaların ve uygulamaların yaygınlaştırılması için önem arz etmekte olup, sonuçlar ilgili literatüre katkı sağlayacaktır.

2 LİTERATÜR

2.1 Düşeyde Düzensiz Binalar

Bina türü yapıların teoride olabildiğince simetrik ve düzenli olması istenirken, bu durumu gerçeğe yansıtmak, arazi koşulları, üretici talepleri, binanın kullanımına ilişkin kriterler gibi pek çok sebepten ötürü mümkün olamamaktadır. Literatürde düzensiz yapıların dinamik davranışını inceleme ve değerlendirme üzerine pek çok çalışma bulunmakta olup, bu tez çalışmasında yalnızca düşeyde düzensiz binalar incelendiğinden, literatür taraması bu kapsamla sınırlı tutulacaktır.

Aldwaik M. ve Adeli H. (2016), düzensiz yüksek katlı yapılarda *Güçlendirilmiş Betonun (RC)* döşeme levhalarının maliyet optimizasyonu için bir model sunmuştur. Bu model, plandaki açıklıklar ve çerçeve kirişleri olsun olmasın her sütun ve duvarın herhangi bir kombinasyonunu içerebilir. Sadece beton ve çelik malzemelerin maliyetini değil, aynı zamanda inşaat maliyetini göz önüne alarak keyfi yapılandırmaların düz döşemeleri için genel bir maliyet fonksiyonu formüle elde edilir. Doğrusal olmayan maliyet optimizasyonu problemi *Adeli Modeli* ve *Park Sağlam Nöral Dinamiği Modeli* kullanılarak çözülmüştür. Yöntem gerçek yaşamda 36 katlı bir bina yapısında iki düz levha örneğine uygulanmıştır. Yöntem yalnızca RC döşeme tasarım sürecini otomatikleştirmekle kalmaz, aynı zamanda %6,7 ve %9 oranında maliyet tasarrufu sağlamıştır [2].

Aydın K. (2007), Türkiye de dahil olmak üzere birçok depreme eğilimli ülkenin sismik kodlarında, düşeyde kütle düzensizliğini yapısal düzensizlik olarak görmemektedir. Bununla birlikte, diğer depreme eğilimli ülkeler, kütle düzensizliğini açıkça ifade etmekte ve düzensiz bir yapıda deprem kuvvetlerini belirlemek için yaklaşık yöntemlerin kullanımında yasal düzenlemelere sahiptir. Bu çalışmada, kütle düzensiz binalar için *Türkiye Deprem Kodunun* eşdeğer yanal kuvvet uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu yaklaşık sonuçlar *Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Zaman Geçmiş Analizleriyle* elde edilenlerle karşılaştırılarak bulunmuştur. Analizlerde 75 gerçek ve 100 simüle edilmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Kayma ve çerçeve yapıları olarak idealleştirilen iki boyutlu

5, 10 ve 20 katlı yapılar ele alınmıştır. Kütle düzensizliği, bir katın kütlelerinin değiştirilmesi ve diğer kat kütlelerinin sabit tutulmasından kaynaklanır. Farklı katların kütlelerinin değiştirilmesi etkisi de araştırılmıştır. Analiz sonuçlarında yaklaşık yöntemin yapı yüksekliği ve kütle düzensizliği derecesine bakılmaksızın doğrusal davranışını her zaman doğru tahmin ettiğini göstermektedir. Ancak bu metod, kat sütunlarının doğrusal olmayan tepkisini hafife almaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ışığında kütle düzensizliğinin söz konusu koda dahil edilmesi uygun görülmektedir [3].

Barbagallo F. ve arkadaşları (2016), burkulması önlenmiş çelik çaprazları, mevcut betonarme yapıların deprem davranışlarını iyileştirme amacıyla önermiştir. Analizler 6 katlı betonarme çerçevenin çeşitli tasarım davranış faktörü ve kat deplasmanları için gerçekleştirilerek, sonuçlar *Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz* ile kıyaslanmış ve çelik çaprazların yapı davranışına etkileri gözlenmiştir [4].

Daniel Y. ve Lavan O. (2015), çeşitli frekanslara göre ayarlanmış *Çoklu Ayarlı Kütle Damperlerinin (MTMD)*, yapıların sismik tepkilerini etkili bir şekilde kontrol ettiğini göstermiştir. MTMD'lerin teknolojisi ile uygulama için tasarım ve optimal tasarım metodolojileri gereklidir. Çalışmada A/R yöntemi resmi optimalite kriterlerine göre değiştirilerek maliyet etkinliği sağlanırken daha hesaplı ve verimli hale gelmiştir. Burada sunulan yöntem bilimini kullanarak, istenen performans seviyesinin, çeşitli lokasyonlarda en uygun kütle miktarını ekleyerek ve yapının frekanslarının birçoğunu hafifletmek için MTMD'leri ayarlayarak başarılı bir şekilde hedef alındığı gösterilmektedir [5].

Das S. ve Nau J.M. (2003), düzensiz yapıların farklı düşey düzensizlikleri için rijitlik, mukavemet ve kütle tanımlamaları araştırmıştır. *Düzenli Yapı Yasası (Uniform Building Code-1997, UBC-97)* gibi deprem yönetmelikleri, düşey düzensizlikleri olan yapılar için *Eşdeğer Yanal Kuvvet (ELF)* yönteminin kullanılmasına izin vermemektedir. Ayrıntılı parametrik bir çalışma için, çeşitli rijitlik, mukavemet ve kütle oranları bulunan 78 yapıdan oluşan bir topluluk düşünülmüştür. Bunlar; *Yanal Dayanım Direnç Sistemleri (LFRS)* ve *Özel Moment Dayanımlı Çerçevelerdir (SMRF)*. Bu LFRS ve ELF yönteminden elde edilen kuvvetlere dayalı olarak tasarlanmıştır. Bu mühendislik yapılarının *Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analizlerinden* elde edilen sonuçlar, bu çalışmada ele alınan yapıların çoğunun tasarım depremine maruz kaldığında iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır [6].

Ferraioli M. (2015), yaptığı çalışma ile düzensiz binaların burulma tepkilerinin incelenmesine yararlı bir katkıda bulunmayı amaçlamıştır. Bu amaçla, düzensiz RC binasının (Avezzano Hastane Binasının-L'Aquila İtalya) deprem açısından güvenilirliği üzerine kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çoğu araştırmalar göstermektedir ki, çok katlı binaların inelastik burulma tepkisi üzerine yapılan çalışmalar halen eksikken simetrik olmayan yapıların deprem cevapları üzerine yapılan çalışmaların çoğu özellikle idealize edilmiş modellere dayanmaktadır. Hem düşeyde hem de planda düzensiz olan bu çok katlı hastane binası için *Doğrusal Olmayan Statik Yöntem* uygulanması hiçbir şekilde doğru değildir. Çalışma yatay yüklerin dağılımı altında *Statik İtme Analizi* ve *Kapasite Spektrum Yöntemi* temelinde *Doğrusal Olmayan Statik Yöntem* önermektedir. Bu yöntem, kütle dağılımı, yüksek katkı modları ve mod şekilleri ilişkisinden oluşmaktadır. Gerçek bir vaka çalışmasında uygulanan yöntem, üç boyutlu planda düzensiz binada burulma duyarlılığının yanal kuvvet dağılımını ve yüksek katkı modlarını araştırmak için kullanılmıştır [7].

Georgoussis G.K. (2016), düşeyde düzensiz asimetrik binaların sismik davranışının değerlendirilmesi için yaklaşık bir yöntem önermiştir. Bu yöntem, aynı kat yüksekliğine sahip binaların tek katlı bina şeklinde değerlendirilmesi konseptine dayanmakta olup, yüksek katlı binaların da aynı şekilde bu yöntem ile analiz edilmesi için kullanılmaktadır. EC-8'de düzensiz yapı olarak sınıflandırılan, yapı planında ani küçülmelerin olduğu çok katlı binalar, sismik kuvvet davranış spektrumu cinsinden karakterize edildiğinde, önerilen yaklaşık yöntem ile frekans ve en büyük taban kesme kuvveti cevapları elde edilebilmektedir. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar, Sap2000 bilgisayar programı kullanılarak karşılaştırılmış ve yakın sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir [8].

Kasinos S. ve arkadaşları (2016), düzensiz binalarda alt sistemlerin sismik tepkisi incelemiştir. Bu çalışmada; *Bileşen Modlu Sentez Yöntemi*, birincil yapılara çok bağlantılı ikincil alt sistemlerin sismik tepkisini araştırmak için uygulanmıştır. Önerilen yaklaşım, tasarım uygulamasında sıkça kullanılan basamaklı yaklaşımdan daha doğrudur, çünkü birincil-ikincil dinamik etkileşim, iki bileşenin titreşim modları aracılığıyla dikkate alınır. Örnek çalışmada, parametrik analizlerin sonuçları iki bileşenin yükseklikteki kütle düzensizlikleri için yerdeğiştirmelerinde benzer eğilimleri ortaya çıkarırken, plandaki rijitlik düzensizlikleri her iki bileşende de önemli bir burulma hareketi ile sonuçlanmaktadır [9].

Lavan O. (2015), üç boyutlu düzensiz binaların sismik tasarımında resmi bir optimizasyon yöntemi sunmaktadır. Potansiyel olarak tahsis edilen viskoz damperlerin sönüm katsayıları ve destekleyici bağların sertliği tasarım değişkenleri olarak kabul edilmiştir. Amaç izin verilen değerler altında çeşitli yanıtları sınırlamak ve damperlerin fonksiyon maliyetini kısıtlamaktır. Bu amaçla birinci dereceden optimizasyon yöntemi benimsenmiştir [10].

Nezhad M.E. ve Poursha M. (2015), moment dirençli çerçevelerin sismik tepkileri üzerine yükseklik boyunca farklı düzensizliklerin etkileri *Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Yöntemi* kullanılarak araştırmıştır. Ayrıca, düşey olarak düzensiz çerçevelerin sismik taleplerini hesaplamak için *Ardışık Modsal Basma (CMP)* yönteminin uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu yöntemin avantajları ve kısıtlamaları detaylandırılmıştır. Bu amaçla, 10 kat yüksekliğinde özel bir moment dayanımlı çelik çerçeve, yüksek modların etkisi önemli olan referans düzenli çerçeve olarak seçilmiştir. Referans çerçevesinin yüksekliği boyunca dört farklı konumda iki *Modifikasyon Faktörü* (MF=2 ve MF=4) uygulanarak sertlik, kuvvet, birleşik sertlik ve birleşik kuvvet ile kütle düzensizliklerine sahip 40 adet düşey düzensiz çerçeve oluşturulmuştur. Düzensiz çerçevelerin deprem talepleri, *Doğrusal Olmayan Yanıt Geçmiş Analizi (NL-RHA)* ve *Ardışık Modsal Basma (CMP)* yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Mukayese adına *Modal İtme Analizi (MPA)* yöntemi de uygulanmıştır. Yükseklik boyunca farklı düzensizlik tiplerinin düşey olarak düzensiz çerçevelerin sismik taleplerine etkisi, NL-RHA'dan elde edilen sonuçların incelenmesi ile araştırılmıştır. Geliştirilmiş *İtme Analiz Yöntemlerinin* doğruluğunu göstermek için, CMP ve MPA'dan elde edilen sonuçlar, *Benchmark Çözümü* yani NL-RHA ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, CMP ve MPA yöntemlerinin düşey düzensiz binaların sismik taleplerini doğru bir şekilde hesaplayabildiğini göstermektedir [11].

Thuat D.V. (2013), kat dayanım faktörleri yardımıyla sismik cevap taleplerini irdelenmiştir. Bir veya birkaç katta kesintili sütunlara sahip düzensiz çerçeve yapılar, güçlü depremler sırasında çökmelere karşı savunmasızdır. Kat dayanım faktörleri, yapının göçme mekanizmasını oluşturmasına karşılık gelen dayanım kapasitesini ifade etmektedir. Çalışmada, süreksiz kolonlara sahip 7, 8 ve 15 katlı çerçeve yapıların çeşitli analitik modellerinin, *Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz* yöntemiyle 29 adet şiddetli deprem ivmesi altındaki davranışları incelenmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar, kat dayanım

faktörleri açısından yapıların düzensiz katlarındaki sismik tepki taleplerinin değerlendirilmesi, güçlü depremlere maruz kalındığında yapı göçme mekanizmasının oluşumunun önüne geçerek iyi bir gösterge oluşturmaktadır [12].

2.2 Deprem Sönümleyici Eklenmiş Düşeyde Düzensiz Binalar

Literatürde düzensiz binaların pasif ve aktif titreşim kontrolü üzerine de pek çok çalışma bulunmakta olup, büyük bir kısmı burulma düzensizliği konularını kapsamaktadır. Bunun yanı sıra, sunulan bu tez çalışmasında ele alınan düşeyde düzensizlik durumlarına ilişkin birkaç makaleye burada yer verilmek istenmiştir.

Bigdeli Y. ve Kim D. (2014), düzensiz yapıların tepkisini kontrol etmek için, *modal enerjiye* dayalı yapıların aktif bir kontrol metodolojisi geliştirmiştir. Üç boyutlu çok katlı düzensiz bir bina, geliştirilmiş kontrol stratejisinin performansını ölçmek için seçilmiştir. Yapının burulma ve yanal tepkileri ile kontrol motorunun dinamik davranışı aynı anda ölçülmektedir. Böylece, yanal-burulma bağlantısının yanı sıra yapı-kontrol motoru etkileşimi de dikkate alınmıştır. Zemin hareketinin gerçek açısı ve kontrol motorunun zaman gecikmesi de modele dahil edilmiştir. *1940 El-Centro Depremi* algoritmayı denemek için kullanılmıştır. Daha sonra beş farklı deprem kaydı daha kontrol sistemini değerlendirmek için kullanılmıştır. Kontrollü yapısal tepkilerin her birinden elde edilen sonuçlar, önerilen kontrol algoritmasının üç boyutlu düzensiz yapıların titreşim kontrolünde umut verici olabileceğini kanıtlanmıştır [13].

Yine Bigdeli Y. ve arkadaşları (2014), üç boyutlu düzensiz yapılarının etkin kontrolü için doğrusal olmayan yeni bir model geliştirmiştir. Yapının titreşim ve yanal tepkileri arasındaki bağlanma ve yapısal sistem ile kontrol motoru arasındaki etkileşim gibi iki dinamik montaj işlemi aynı anda kontrol modelinde göz önüne alınmıştır. Yapısal sistemin önerilen kontrol sistemi, *1940 El-Centro Depremi* uyarımı altında yapının tepkilerine benzetilerek değerlendirilmiştir. Sayısal örnekte, doğrusal ve doğrusal olmayan rijitliği olan üç boyutlu üç katlı yapı sınır ağı tarafından kontrol edilmektedir. Simülasyonda kontrol motoru dinamiği, kontrol süresi gecikmesi ve deprem açısı da dikkate alınmıştır. Sonuçlar, üç boyutlu binalar için önerilen kontrol algoritmasının yapısal kontrolde etkili olduğunu göstermektedir [14].

Lavan O. ve Levy R. (2005), düzenli ve düzensiz yumuşak çerçeveler için tamamlayıcı viskoz damperlerin optimal tasarımına yönelik bir metodoloji sunmuştur. Yöntem gerçekçi yer hareketi kayıtları için enerji temelli *Küresel Hasar Endeksinde (GDI)* bir sınırlama getirmek için eklenen sönümlemeyi en aza indirmeye sorununa değinmektedir. Metodolojinin düzensiz yapılar için uygulanabilirliği uygun bir GDI' nın seçimine bağlıdır. GDI' yı içeren parametrelerin belirli bir seçimi için çerçevenin elastik davranışı veya tüm katların eşit hasarı için bir tasarım elde edilir. Optimizasyon sorununun çözümü için eğim tabanlı optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Optimizasyon süreci ilk olarak verilen topluluktan seçilen bir aktif yer hareket kaydı için başlatılır. Eğer ortaya çıkan en iyi tasarım diğer kayıtlar için kısıtlamaları memnun etmek için yetersiz kalırsa orijinal topluluktan gelen ilave yükleme koşulları optimuma ulaşılan kadar aktif kümeye tek tek eklenir. Ek sönümleyicilerin en uygun tasarımları için iki örnek verilmiştir. Bunlar değişken güç dağılımına sahip 2 katlı kesme çerçevesi ile 10 katlı kesme çerçevesidir. 2 katlı kesme çerçevesi bir yerde verilen zemin hareketi için tasarlanmışken, 10 katlı kesme çerçevesi yirmi yer hareketi topluluğu için tasarlanmıştır [15].

Lin C.C. ve arkadaşları (1999), iki yönlü yatay deprem uyarıları altındaki çok katlı kesme binalar olarak modellenen düzensiz binalar için *Pasif Ayarlı Kütle Damperleri (PTMD)* için pratik hususlar ve titreşim kontrolü etkinliği göstermişlerdir. PTMD, binanın en büyük tepkisine en çok katkıda bulunan modu kontrol etmek üzere tasarlanmıştır. Optimum kurulum konumu ve hareket yönü, kontrollü mod şekil değerlerinden belirlenmiştir. PTMD'nin en uygun sistem parametreleri, kritik yöndeki deprem uyarımı altında PTMD'li ve PTMD'siz iki bina arasındaki kontrollü modun ortalama modal yerdeğiştirme tepki oranını en aza indirgeyerek hesaplanmıştır. Farklı açılardan beş gerçek deprem oluşturan uzun ve beş katlı burulma ile birleşmiş binaların sayısal ve istatistiksel sonuçları, önerilen optimum PTMD'lerin bina tepkilerini etkin bir şekilde azaltabileceğini doğrulanmıştır [16].

Pnevmatikos N.G. ve Hatzigeorgiou G.D. (2014), yapıya hayali perde veya kolonlar gibi düşey simetrik elemanlar ekleyerek özdeğerleri değiştirme esasına dayanan bir algoritma ile aktif ve yarı-aktif sönümleyiciler geliştirmiştir [17].

Yoshida O. ve Dyke S.J. (2005), asimetrik binaların sayısal modellerine uygulanan MR damperlerin yarı aktif kontrol sistemi kapasitelerini ölçmüştür. Birbirine bağlanmış yanal burulma hareketi gösteren iki bina modeli üzerinde çalışılmıştır. İlk çalışma

asimetrik yapısal plana sahip dokuz katlı bir binada yapılmıştır. Bu binanın oturma alanı her ne kadar dikdörtgen şeklinde ise de asimetrik özelliği kesme duvarların dağılımından kaynaklanmaktadır. İkinci çalışma düşey düzensizliğe sahip L şeklinde sekiz katlı bir binada yapılmıştır. Bu bina gerilemeler nedeniyle düşey düzensizlik göstermektedir. Binaların modelleri kontrol sisteminin potansiyelini değerlendirmek için kullanılmıştır. Kontrol sistemleri, *1940 El-Centro Depremi* ve *1995 Kobe Depremi* nedeniyle modellerin tepkileri benzetilerek değerlendirilmiştir. İkinci durumda simülasyonlar iki boyutlu yer hareketleri kullanılarak yürütülmüştür. Önerilen yarı aktif kontrol sistemlerinin performansı hem aktif kontrol sistemleri hem de pasif kontrol sistemleri ile karşılaştırılmıştır [18].

3 DÜŞEYDE DÜZENSİZLİK TANIMLARININ DBYBHY-2007 VE DİĞER YÖNETMELİKLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

3.1 DBYBHY–2007’de Düşeyde Düzensizlik Durumları

Ülkemizde “*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007*” (DBYBHY-2007) esaslarına göre, yapısal düzensizlikler planda ve düşey doğrultuda olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Bunlardan ilki A tipi, ikincisi ise B tipi düzensizlikler olarak tanımlanmıştır. Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binaların tanımlanması ile ilgili planda düzensizlik durumları; *Burulma Düzensizliği, Döşeme Süreksizliği ve Planda Çıkıntılar Bulunması*, düşey doğrultuda düzensizlik durumları; *Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği, Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği ve Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği* olarak DBYBHY-2007 Madde 2.3.2’de verilmiştir [19].

DBYBHY-2007 Madde 2.3.2.3; B1 tipi düzensizliğinin bulunduğu binalarda, göz önüne alınan i ’inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, h_{ci} ’nin hesabında dolgu duvarları göz önüne alınmayacaktır. $0,6 < (h_{ci})_{min} < 0,8$ aralığında verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $1,25(h_{ci})_{min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır. Ancak hiçbir zaman $h_{ci} < 0,6$ olmayacaktır. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır (Bkz. Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. DBYBHY-2007’de düşey doğrultuda düzensizlik durumları [19]

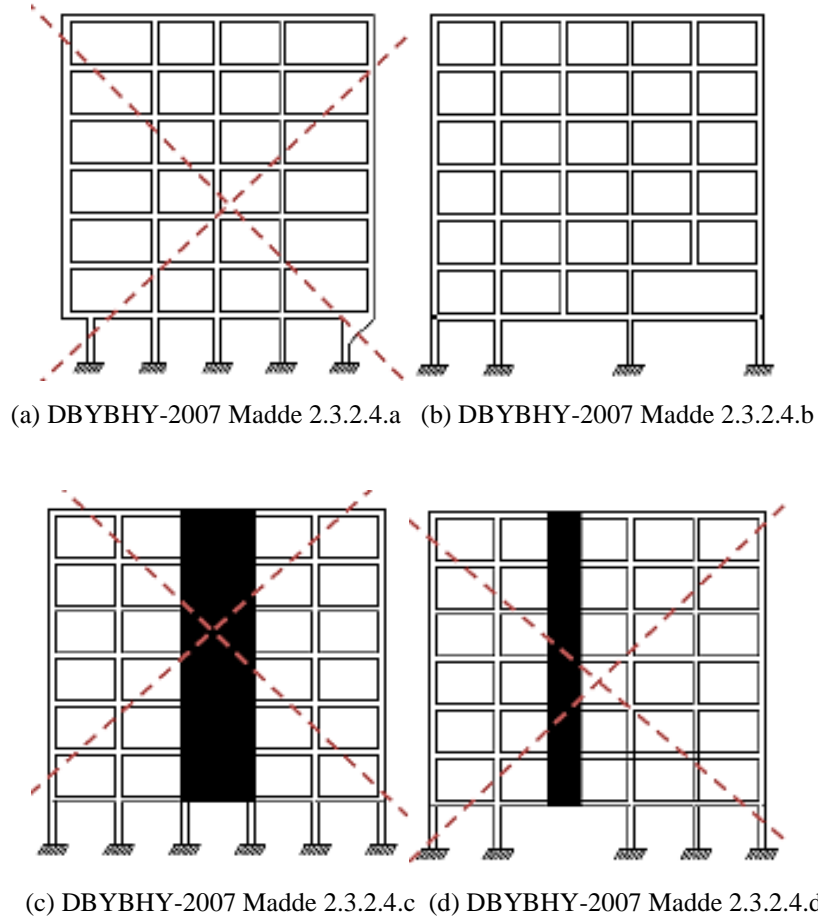
B –Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları	İlgili Maddeler
<p>B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)</p> <p>Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki Etkili Kesme Alanı’nın, bir üst kattaki Etkili Kesme Alanı’na oranı olarak tanımlanan <i>Dayanım Düzensizliği Katsayısı</i> h_{ci}’nin 0,8’den küçük olması durumu; $h_{ci} = (SAe)_i / (SAe)_{i+1} < 0,8$ Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı; $\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0,15\Sigma A_k$</p>	2.3.2.3
<p>B2 - Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (YumuşakKat)</p> <p>Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i’ inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan <i>Rijitlik Düzensizliği Katsayısı</i> h_{ki}’nin 2,0’den fazla olması durumu;</p> <p>$h_{ki} = (D_i / h_i)_{ort} / (D_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2,0$ veya $h_{ki} = (D_i / h_i)_{ort} / (D_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2,0$</p> <p>Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak DBYBHY-2007 Madde 2.7 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre yapılacaktır.</p>	2.3.2.1
<p>B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği</p> <p>Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu,</p>	2.3.2.4

DBYBHY-2007 Madde 2.3.2.4; B3 tipi düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar, bütün deprem bölgelerinde uygulanmak üzere, aşağıda belirtilmiştir.

- Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.
- Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey

yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.

- c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.
- d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez [19].

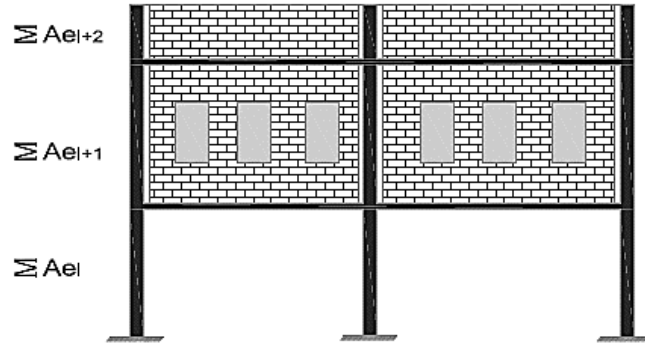


Şekil 3.1. DBYBHY-2007’de taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği [2, 3]

3.1.1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği - Zayıf Kat

Yapının herhangi bir katında bulunan kolon, perde ve bölme duvarların hepsi bir alt katta veya bir üst katta aynen devam etmeyebilir. Genelde, Türkiye’de binaların zemin katları dükkân ve restoran gibi geniş pencere açıklıklarına sahip mekanlar olarak kullanılmasından ötürü kolonlar, perdeler ve bölme duvarlar bu katlarda daha az

bırakılmaktadır. Diğer yandan üst katlar konut olarak tasarlanmakta ve duvar alanları daha fazla olmaktadır (Bkz. Şekil 3.2). Bu durum da binanın katları arasında dayanım süreksizliğine yani zemin katta *zayıf kat* oluşumuna neden olmaktadır [21].



Şekil 3.2. DBYBHY-2007’de zayıf kat düzensizliği [20]

Yapının herhangi bir katında, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki kolon ve perde alanları ile duvarların alanlarının %15’inin toplamı ile elde edilen ve ΣAe ile sembolize edilen *toplam etkin kesme alanının, yapının bir üst katının etkin kesme alanına oranının* $h_{ci} < 0,8$ olması durumunda yapıda *zayıf kat düzensizliği* oluşmaktadır [19].

$$\Sigma Ae = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0,15 \Sigma A_k \quad (3.1)$$

$$h_{ci} = (\Sigma Ae)_i / (\Sigma Ae)_{i+1} < 0,8 \quad (3.2)$$

Binanın kat planlarındaki değişiklik fonksiyonel düzenlemeler bu düzensizliğe neden olmaktadır. Mevcut binalarımızın yaklaşık %80’i çıkmaya sahiptir [22]. Örneğin, çıkmalı binalarda ve özellikle düşey doğrultuda geri çekilmelerle oluşturulmuş katlar deprem anında diğer normal katlarla aynı frekansta salınmazlar ve zıt yönde deplasman etkisi ile gerilme yığılmalarına neden olmaktadır [23].

Burulma momentleri, yapı ağırlık merkezi zemin seviyesinden üst seviyelere çıktıkça artmaktadır. Bu nedenle ters piramit şeklinde veya üst katlara doğru gittikçe artan çıkmaya sahip olan yapı tasarımlarından kesinlikle kaçınılmalıdır. Bu tarz yapı planlaması yerine piramit şeklinde zeminden kademelerle geri çekilerek oluşturulmuş olan formlara yönelmek bu düzensizlik oluşumuna mahal vermemek adına önem teşkil etmektedir. Bu form yapının rijitliğini arttırmakta ve yapının doğal titreşim periyodunu azaltmaktadır ayrıca dar açılı girintili, çıkıntılı alan oluşumundan doğan gerilme yığılmalarının da önüne geçmektedir [24].

adına mafsallaşmaların kolonlar yerine kirişlerde olması istenir. Bu nedenle zemin kat kolon kesitlerini arttırmak veya yumuşak kat düzensizliğinin olduğu kattaki kolonların daha sık etriyelerle sarılmasını sağlamak bu duruma katkı sağlayacaktır [23].

3.1.3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

“*Türk Deprem Yönetmeliği*” (TDY)’ nde düşey taşıyıcı elemanlarının süreksizlik oluşturduğu durumlar çözüm önerileri ile birlikte tarif edilmiştir. Diğer birçok yapı düzensizliğinde olduğu gibi bu düzensizliğin de oluşma nedeninin temel nedeni zemin katta geniş hacimler ve açıklıklar elde etmek adına düşey taşıyıcı elemanların zemin kata kadar devam ettirilmeden ortadan kaldırılmasıdır. Kolonların konsol kirişlere veya kolondan çıkan guse uçlarına oturtulması ve perdelerin kiriş açıklıklarına oturtulması kesinlikle yasaklanmıştır (Bkz. Şekil 3.1). Perdeler zemine kadar kesinlikle devam ettirilmelidir. Kolonların iki ucundan mesnetli kiriş açıklıklarına oturtulması durumunda, üst taraftaki kolon ve perdeleri taşıyan kirişlerle, bu kirişlerin uç noktalarındaki düğümlerle birleşen diğer tüm kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde düşey yükler ve deprem etkisinden oluşan iç kuvvetler %50 oranında artırılması gerekmekte ve bu koşul sağlandığı takdirde bu duruma izin verilmektedir [19].

3.2 UBC-97’de Düşeyde Düzensizlik Durumları

“*Uniform Building Code-1997*” (UBC-97) yapı yasasına göre düzensiz yapılar genel olarak şöyle tanımlanmaktadır; Düzensiz binalar, geometrileri bakımından yatay yük taşıyan yapısal elemanlarında önemli fiziksel süreksizliklere sahiptirler. Düzensizliğe neden olan özellikler aşağıda tanımlanmıştır fakat sınırlandırılmamıştır. Birinci derece sismik bölgede yer alan tüm yapılar ve ikinci derece sismik bölgenin 4. ve 5. kategorilerinde yer alan yapılar, sadece *Tip I Düzensizliği (Yumuşak Kat)* ve *Tip V Düzensizliği (Zayıf Kat)* durumları için ele alınmalıdır [28].

Tasarım deprem kuvvetleri altındaki kat yerdeğiştirme oranı, üst katın yerdeğiştirme oranından 1,3 kat büyük değilse, bu yapının düşey yapısal düzensizliklerden *I. ve II. Tip Düzensizliklere (Rijitlik Düzensizliği ve Kütle Düzensizliği)* sahip olmadığı farz edilir. En üstteki iki kat için kat yerdeğiştirme oranı göz önüne alınmayabilir. Bu tip

yapılarda hesaplanan kat yerdeğiştirmesinde burulma etkileri ihmal edilebilir [28].

3.2.1 Rijitlik Düzensizliği - Yumuşak Kat (Tip I Düzensizliği)

Yumuşak kat, herhangi bir katın yatay ötelenme rijitliğinin üst katın yatay ötelenme rijitliğinin %70'inden az olması veya üstteki üç katın ortalama yanall rijitliğinin %80'inden az olması durumunda oluşur. Bu tip düzensizliği içeren yapılarda dinamik yatay kuvvet yöntemi uygulanır [29].

3.2.2 Ağırlık (Kütle) Düzensizliği (Tip II Düzensizliği)

Kütle düzensizliği, herhangi bir katın etkin kütesinin, komşu bir katın (alt veya üst) etkin kütesinden %150 oranında daha fazla olması durumunda ortaya çıkar. Alt katının ağırlığından daha hafif olan çatı katının göz önüne alınmasına gerek yoktur. Bu tip düzensizliği içeren yapılarda dinamik yatay kuvvet yöntemi uygulanır [29].

3.2.3 Düşeyde Geometrik Düzensizlik (Tip III Düzensizliği)

Düşeyde geometrik düzensizlik, yatay yük taşıyan sistemlerde herhangi bir katın plan boyutunun, komşu katın plan boyutundan %130 oranında daha fazla olması durumunda oluşur. Bu tip düzensizliği içeren yapılarda dinamik yatay kuvvet yöntemi uygulanır [29].

3.2.4 Yatay Yük Taşıyan Sistemlerde Düşey Eleman Süreksizliği (Tip IV Düzensizliği)

Bu düzensizlik, yatay yük taşıyan düşey elemanların eksenlerinden sapma uzunluğunun, bu elemanların enkesit boyutlarından büyük olması durumunda ortaya çıkar.

Bu düzensizliği içeren yapılar aşağıda belirtilen özel sismik yük kombinasyonları ile bulunan yüklere dayanıklı olmalıdırlar [29].

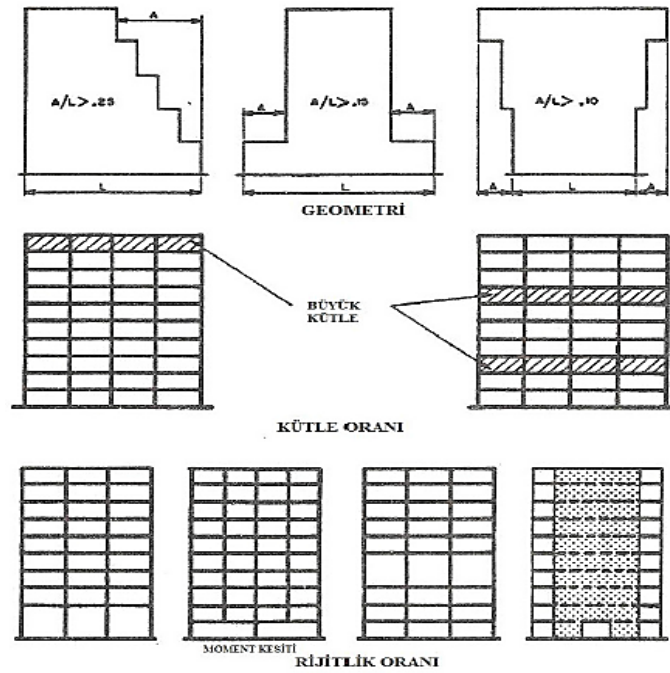
$$1,2D + f_l L + 1,0E_m \quad (3.4)$$

$$0,9D \pm 1,0E_m \quad (3.5)$$

Eş.3.4 ve Eş.3.5'te; D sabit yük, L hareketli yük, E_m öngörülen maksimum deprem yükünü simgelemektedir. E_m yük değeri yatay yük taşıyan sistemler tarafından elemanlara iletilen maksimum yük değerini aşmamalıdır. f_I insanların toplu olarak bulunduğu yerlerde, otoparklarda ve hareketli yükün $4,79 \text{ kN/m}^2$ 'den fazla olduğu yerlerde $f_I=1,0$ ve diğer hareketli yükler için $f_I=1,5$ alınır.

3.2.5 Kapasite Süreksizliği - Zayıf Kat (Tip V Düzensizliği)

Zayıf kat, herhangi bir katın dayanımının, üst katının dayanımından %80 oranında küçük olması durumunda oluşur. Kat dayanımı, göz önüne alınan doğrultudaki kat kesme kuvvetlerini paylaşan sismik dayanıklı elemanların kesme kuvveti kapasitelerinin toplamıdır. Zayıf kat dayanımının üst katın dayanımının %65'inden küçük olduğu yapılar, iki kattan fazla olmamalı veya 30 feet (9,14 m) sınırını aşmamalıdır [29].



Şekil 3.4. UBC-97'ye göre düşeyde düzensizlikler [29]

3.3 EC-8'de Düşeyde Düzensizlik Durumları

"Eurocode-1998" (EC-8) yapı yasasına göre taşıyıcı sistemin düzenlenmesinde aşağıda belirtilen kuralların yapılarda uygulanması istenmektedir. Bu kurallar, deprem

durumunda bina içindeki insan hayatının korunmasına, hasarın sınırlı tutulmasına ve önemli yapılardaki faaliyetin devam etmesinde yöneliktir [30].

Deprem etkilerinin, meydana geldiği yerden zemine açık ve dolaysız yollardan iletilmesi sağlanmalıdır. Bu tür basitlik durumunda taşıyıcı sistemin modellenmesi, çözümlenmesi, boyutlandırılması, donatı düzeninin oluşturulması ve inşa edilmesi çok daha az belirsizlik içerir. Bu nedenle bu tür yapıların deprem davranışının belirlenmesi çok daha güvenilirdir [30].

Taşıyıcı sistem elemanlarının planda düzgün dağıtılması, atalet kuvvetlerinin kısa yoldan dolaysız olarak iletilmesini sağlar. Gerektiği zaman bina, planda dinamik olarak birbirinden bağımsız olacak şekilde deprem derzleriyle parçalara ayrılabilir. Yapı yüksekliği boyunca, taşıyıcı sistem düşey kesitinde düzgünlük sağlanarak, göçmeye sebep olacak gerilme yığılması ve büyük süneklik ihtiyacı ortadan kaldırılabilir. Plandaki kütle dağılımına uygun olarak oluşturulacak dayanım ve rijitlik dağılımı ile kütle ve rijitlik arasındaki dış merkezlik en düşük düzeye indirilir. Simetrik ya da simetriğe yakın, taşıyıcı sistemi planda iyi dağıtılmış ve simetrik yerleştirilmiş yapı şekillerinde düzenlilik sağlandığı için bu yapılar kesin ve açık bir çözüme sahiptir. Taşıyıcı sistemi düzgün olarak yerleştirmek, tüm yapıda enerji dağılımı ve hareket etkilerinin dağılımının daha düzgün olmasına olanak sağlar ve gereksiz oluşacak etkileri azaltır [30].

Yatay deprem etkisi iki doğrultuda etkir. Bu sebepten dolayı binanın iki doğrultuda da gelecek deprem etkisine dirençli olması gereklidir. Dolayısıyla taşıyıcı elemanlar, iki ana doğrultuda aynı rijitlik ve dayanım özelliklerini sağlamalı ve ortogonal planda olacak şekilde düzenlenmelidir. Taşıyıcı sistemin her iki doğrultuda rijit düzenlenmesiyle, büyük hasarlara ya da ikinci merteye etkilerinden dolayı oluşacak stabilite bozulmalarına sebep olabilecek aşırı yerdeğiştirmeler sınırlandırılmış olur [30].

Binalar yanal dayanım ve rijitlik yanında, yeterli burulma dayanımı ve rijitliğine de sahip olmalıdır. Bunun için, taşıyıcı sistemin ana elemanlarının bina dış çevresine yakın yerleştirilmesi uygundur. Bu suretle, burulma etkisiyle elemanların düzgün olmayan biçimde zorlanması önlenir [30].

Döşemeler, taşıyıcı sistemin deprem davranışında, deprem kuvvetlerinin toplanması, dağıtılması ve sistemin beraber çalışması bakımından önemli bir rol oynar. Döşemelerin yatay diyafram şeklinde hareket etmesi, yalnız atalet kuvvetlerini toplamayı ve düşey taşıyıcı sistemlere iletmeyi değil, ayrıca yatay hareket anında tüm sistemin

beraber çalışmasını da sağlar. Döşeme sistemleri, planda rijitlik ve dayanımla birlikte düşey taşıyıcı sistem ile sağlıklı bağlantıyı sağlamalıdır. Planda çok dağınık veya çok uzun dikdörtgen şeklinde bina düzeninden ve büyük boşluklardan, döşemenin rijit diyafram etkisini önleyeceği için kaçınılmalıdır [30].

Temelin ve üst yapıya bağlantısının yeterli seviyede düzenlenmesiyle, tüm binanın deprem etkisine düzgün bir şekilde zorlanması ve ek etkilerin oluşmaması sağlanır. Çok farklı rijitliğe sahip kolon ve perdelerden oluşan binalarda, bütün elemanları birleştiren rijit bir temel yapılması uygundur. Tekil temelli yapılarda, bunların bir plakla veya bağ kırımlarıyla iki ana doğrultuda birbirlerine bağlanmaları göz önüne alınmalıdır [30].

EC-8’de yapısal düzenlilikle ilgili genel ilkeler aşağıda verilmiştir.

- a) Sismik tasarım için yapılar düzenli ve düzensiz olarak sınıflandırılmıştır.
- b) Sismik tasarımdaki bu farklılık aşağıdaki durumları içerir;
- c) Yapısal model, hem basitleştirilmiş düzlemsel model hem de üç boyutlu model olabilir.
- d) Çözümleme yöntemi, basitleştirilmiş spektral analiz veya modal analiz olabilir.
- e) Taşıyıcı sistem davranış katsayısı değeri, düşeyde düzensiz yapılar için azaltılmalıdır.
- f) Düşeyde düzensiz yapılar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı tablo değerinin 0,8 ile çarpılmasıyla elde edilir.
- g) Yapının plandaki ve düşeydeki düzenlilik kriterlerine göre model ve çözümleme yöntemi Çizelge 3.2’de verilmiştir [30].

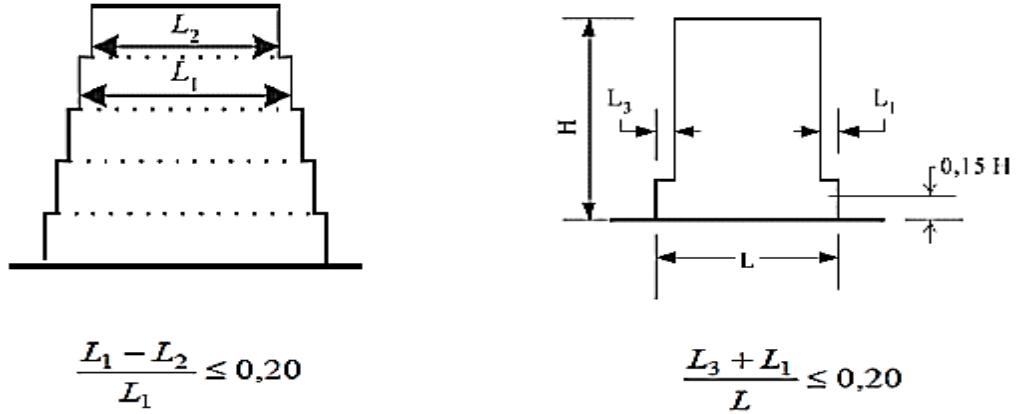
Çizelge 3.2. Sismik analiz ve dizaynda yapılan düzenlilik sonuçları [30]

Taşıyıcı Sistem		İzin Verilen Başitleştirmeler		Davranış Katsayısı
Planda	Düşeyde	Model	Doğrusal Elastik Analiz	Doğrusal Analiz
Düzenli	Düzenli	Düzlemsel	Yatay Yük Çok Modlu	Tablo Değeri Azaltılabilir
Düzenli	Düzensiz	Düzlemsel	Yatay Yük Çok Modlu	Tablo Değeri Azaltılabilir
Düzensiz	Düzenli	Üç Boyutlu	Yatay Yük Çok Modlu	Tablo Değeri Azaltılabilir
Düzensiz	Düzensiz	Üç Boyutlu	Yatay Yük Çok Modlu	Tablo Değeri Azaltılabilir

EC-8'de düşeyde yapısal düzenlilik ile ilgili kriterler aşağıda verilmiştir.

- Taşıyıcı elemanlar temelden binanın en üst katına kadar kesilmeden ya da farklı yüksekliklerde geri çekmeler varsa yapının ilgili bölgesinin en üst noktasına kadar devam ettirilmelidir.
- Yapının kat rijitliklerinin ve kütlelerinin her ikisinin de temelden en üst kata kadar sabit kalmaları veya ani değişiklikler göstermeden küçük oranlarda azalmaları gerekmektedir.
- Çerçeve yapılarında, herhangi bir katın mevcut dayanımının hesaplama sonucu bulunan kat dayanımına oranı alt ve üst komşu katlara göre çok farklı olmamalıdır.
- Yükseklik boyunca geri çekme yapılacaksa aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır;

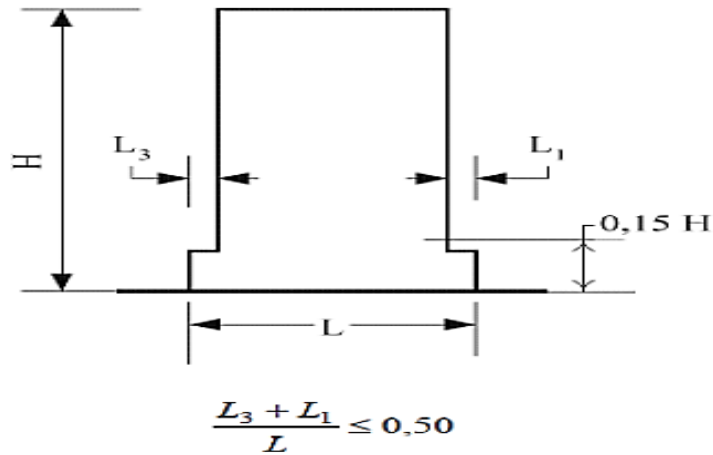
- e) Eksenel simetriyi sağlama koşuluyla kademeli geri çekme yapılacak durumlarda herhangi bir kattaki geri çekme onun alt katındaki aynı yöndeki plan boyutunun %80'inden fazla olmalıdır.



(geriçekme 0.15H'ın üzerinde başlarsa)

Şekil 3.5. EC-8'de çoklu geri çekme [30]

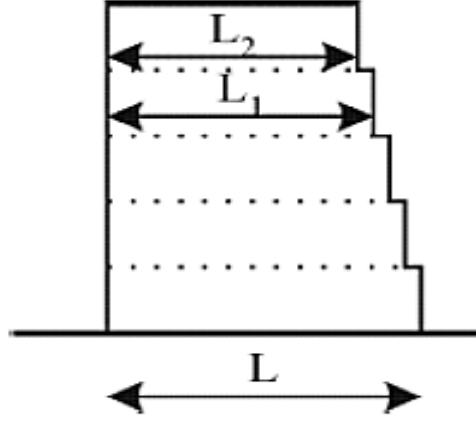
- f) Tek bir geri çekme toplam bina yüksekliğinin %15'inden daha düşük bir yükseklikte başlarsa, geri çekmeler alt katın plan boyutunun %50'sinden büyük olamaz.



(geriçekme 0.15H'ın altında başlarsa)

Şekil 3.6. EC-8'de tekli geri çekme [30]

- g) Kademeli geri çekmede aksenal simetriyi sağlamayan koşullarda her bir katın plandaki boyutu ilk katın plandaki boyutunun %70'inden veya herhangi bir katın plandaki boyutu, altındaki katın plandaki boyutunun %90'ından fazla olmamalıdır [30].



$$\frac{L - L_2}{L} \leq 0,30$$

$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,10$$

Şekil 3.7. EC-8'de kademeli geri çekme [30]

4 PASİF ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER

4.1 Yapısal Kontrol Sistemleri

Deprem sırasında ortaya çıkan enerji yeraltı katmanlarından geçerek yapının temeline ulaşır sonra da tüm katlara yayılarak yapıda değişik doğrultularda hareketlere neden olur. Bu hareketler taşıyıcı sistemde ivmeler oluştururlar. Bu ivmeler, taşıyıcı sistem içinde kütle ile bağıntılı “ $Kuvvet = Kütle \times İvme$ ” ilişkisine bağlı olarak kuvvetlerin oluşmasına neden olur. Bu kuvvetlere “*Eylemsizlik Kuvveti*” adı verilmektedir. Yapılar, deprem davranışı esnasında değişik şekillerde enerji tüketirler. Yapı deprem enerjisini tüketirken, dinamik yatay ötelenmeler yapan taşıyıcı sistem salınım modları oluşturur. Deprem etkisi altında yapı kendine özgü bir periyod oluşturarak dinamik tepki gösterir. Salınım yapan bir sistemin sürtünme ve viskoz gibi pasif kontrol sistemlerinden herhangi biri ile enerjii dağıtmasına “*Sönümlenme*” denir. Sönüm oranı ne kadar yüksek ise yapı ilk konumuna yani hareketsiz durumuna o kadar çabuk döner.

Geleneksel yapılarda elemanların kütle ve rijitlik özellikleri belli bir doğruluk derecesi ile modellenebilmektedir. Sönüm özelliklerini ise, yapısal elemanların enerji yutma kapasitelerindeki ve ideal olmayan birleşim noktalarının davranışlarındaki belirsizliklerden dolayı karakterize etmek oldukça zordur. Analizi basitleştirmek için genelleştirilmiş formda kütle, sönüm ve rijitliği orantılı olarak kabul etmek yeterli görülmektedir. Bugün, mevcut yapı analizi programları ve tasarım yöntemleri genellikle orantılı sönümü kabul etmektedirler [31].

Yapının dinamik analizinde, sönümlenmeye katkısı olan tüm etkilerin toplamı “*Kritik Sönüm*” ün bir oranı olarak ifade edilir. Bu sönümlenme oranları taşıyıcı sistemin tipine göre değişir. (Betonarme yapılar için sönüm oranı yaygın olarak %5, çelik yapılar için ise %2 değeri kullanılmaktadır.) Yapıya gelen deprem kuvvetlerinin azaltılması için özel yapı elemanlarının kullanılması da gerekebilir. Bu elemanlar sismik yalıtım ve enerji sönümlenme yoluyla yapının titreşimini kontrol altına almak için uygulanmıştır.

Yapısal kontrol sistemleri ile yapının kendisi yerine, yapıya kurulan cihazlar sayesinde dinamik kuvvetlere karşı koyulmaya başlanmıştır. Bu cihazlar dinamik kuvvetlerden meydana gelen yerdeğiştirme ve kesit zorlarını belli değerde tutarak yapının ve iç donanımın korunmasını sağlamaktadır.

Yapısal kontrol sistemleri esas olarak üç bölümde incelenmektedir. Bunlar;

- a) Pasif kontrol sistemleri,
- b) Aktif ve yarı aktif kontrol sistemleri,
- c) Sismik izolasyon olarak sınıflandırılabilir.

Çizelge 4.1’de bu sınıflandırma ve sönümleyici sistemleri tablolaştırılmıştır. Pasif kontrol sistemleri, herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan, yapıya gelen belli bir frekans aralığı için deprem enerjisini sönümlemektedir. Aktif kontrol sistemleri, pasif sistemlere göre daha karmaşık olup, yüksek kapasiteli güç kaynağına ihtiyaç duyarlar. Yarı aktif kontrol sistemleri ise daha az kapasiteye sahip güç kaynağına ihtiyaç duymakta olup, sistem kurulumu aktif sistemlere göre daha az komplekstir. Tezin içeriği, pasif kontrol sistemlerinden viskoz, viskoelastik, sürtünme tipi ve ayarlı kütle tipi sönümleyicileri kapsadığından alt başlıklarda bu konulara ayrıntılı olarak değinilecektir.

Çizelge 4.1. Yapısal kontrol sistemleri [31]

Pasif Kontrol Sistemleri	Aktif ve Yarı Aktif Kontrol Sistemleri	Sismik İzolasyon
Viskoz akışkanlı sönümleyiciler	Aktif kuvvet veren sistemler	Düşük sönümlü kauçuk izolatörler
Viskoelastik sönümleyiciler	Aktif kütleli sistemler	Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler
Sürtünme tipi sönümleyiciler	Değişken rijitlik ve sönüm veren sistemler	Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler
Ayarlı kütle tipi sönümleyiciler	Akıllı malzemeler	Kayma tipi izolatörler
Ayarlı sıvı tipi sönümleyiciler		Yaylı sistemler
Metalik sönümleyiciler		

4.2 Pasif Enerji Sönümleyiciler (Pasif Damperler)

Her yapı kendisine aktarılan enerjiyi plastik deformasyonlar ve sürtünme gibi etkiler sayesinde sönümleme yoluna gider. Bazı yapılar kritik sönümün %1'i mertebesinde sönüm oranına sahiptir ve bunun sonucu olarak şiddetli depremlerde büyük genlikleri olan titreşimler meydana getirirler. Enerji sönümleme kapasitesini artırmak için yapıdaki titreşim genliklerini küçültmek gerekir [31].

Pasif enerji sönümleyicilerin sisteme etkileyen düşey ve yatay doğrultudaki yüklerin etkisini azalttığı mühendis çevrelerce kabul edilmiş ve uygulama alanının genişletilmesi yolunda çabalar sarf edilmiştir. Pasif sistemlerde önemli miktarda sismik enerji sönümlenebilmektedir. Son yıllarda yapılardaki istenmeyen enerjinin sönümlenmesi için pek çok araştırmalar yapılmış ve birçok yapıda uygulaması gözler önüne serilmiştir [31].

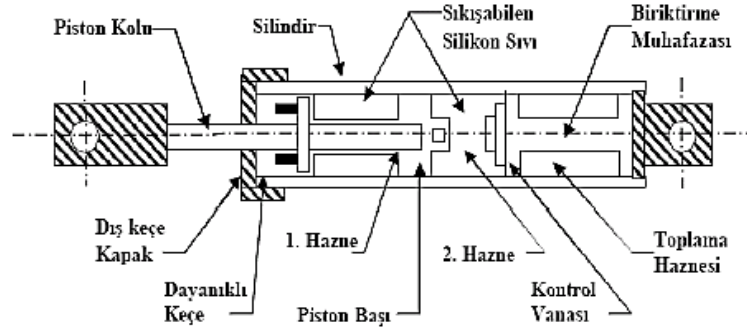
Pasif kontrol sistemlerinin avantajlarını dört ayrı başlıkta sayabiliriz;

- a) Pahalı değildirler.
- b) Dışarıdan bir enerjiye ihtiyaç duymazlar.
- c) Cihazlar stabilitelerini sürekli olarak korurlar.
- d) Sistem büyük depremlerde iyi sonuçlar verir.

Bu çalışmada, pasif damperlerden viskoz (doğrusal ve doğrusal olmayan), viskoelastik, sürtülmeli ve ayarlı kütle sönümleyiciler üzerinde çalışılmıştır. Bu damper sistemlerinin, matematik modellerine aşağıdaki alt başlıklarda sırayla değinilmiştir.

4.2.1 Viskoz Damperler (VD)

Viskoz damperlerde, viskoz akışkan, içinde pistonun hareket ettiği bir silindir içine doldurulmuştur. Pistonun yüksek viskoziteli akışkan içerisinde hareketi neticesinde mekanik enerji ısı enerjisine dönüşür. Bu sisteme en güzel örnek, araçlardaki süspansiyon sistemi verilebilir.



Şekil 4.1. Viskoz akışkanlı sönümleyicinin boyuna kesiti [32]

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi piston başının bir tarafından öbür tarafına geçen sıvı akışı ile sönümlenme işlevi elde edilmiş olur. Sıvı akışını sağlamak için piston başı ile silindir arasında yeter derecede bir açıklık vardır. Sıvı geçişi darbe ile yüksek hızlarda oluşur. Piston başının biçimi ise sönümlenme özelliklerini belirler [31].

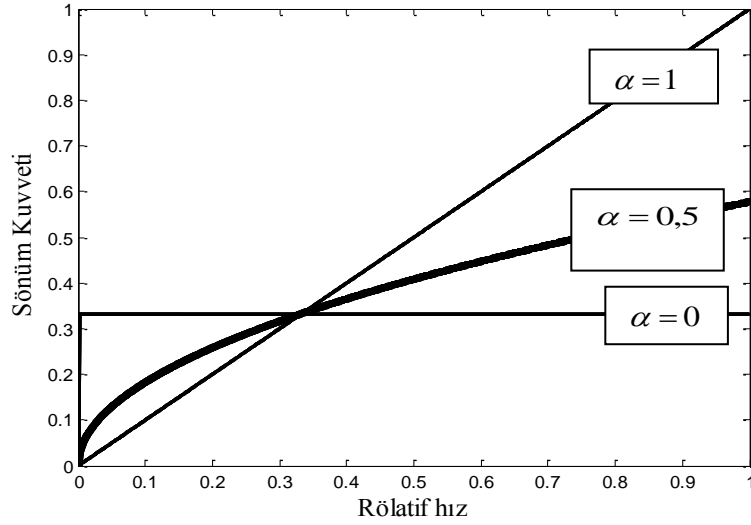
Viskoz akışkanlı sönümleyicilerde sönüm kuvveti;

$$F_d = c_{d\alpha} |\dot{x}|^\alpha \text{sign}(\dot{x}) \text{ eşitliği ile belirlenir.} \quad (4.1)$$

Eş.4.1’de, F_d sönüm kuvvetini, $c_{d\alpha}$ sönümleyici katsayısını, $|\dot{x}|^\alpha$ cihazın iki ucu arasındaki rölatif hızı, sign (signum) ise işaret fonksiyonunu simgelemektedir.

Signum fonksiyonunda $\dot{x} < 0$ ise $\text{sign}(\dot{x}) = -1$; $\dot{x} > 0$ ise $\text{sign}(\dot{x}) = 1$; $\dot{x} = 0$ ise $\text{sign}(\dot{x}) = 0$ ’dır. α , piston biçimine bağlı olarak 0,1 ile 1,0 arasında değişen üs sabitini simgelemektedir.

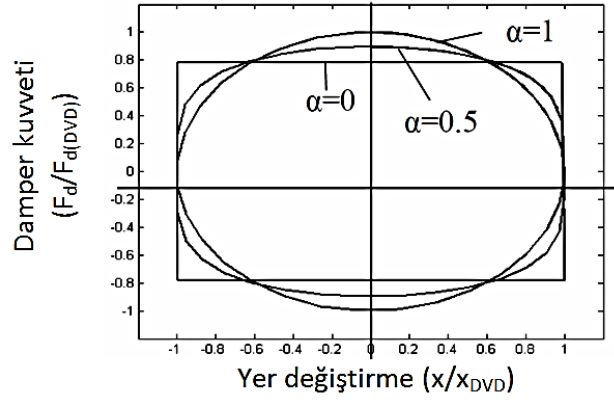
Viskoz damperlerde, damperin doğrusal ya da doğrusal olmayan özellik kazanmasını, hızın üssü olan (α) belirler. Şekil 4.2’de üsse bağlı olarak sönüm kuvveti ile rölatif hız ilişkisi gösterilmiştir. $\alpha = 1$ ise Doğrusal Viskoz Damperler (DVD), $0 < \alpha < 1$ ise Doğrusal Olmayan Viskoz Damperler (DOVD) ve $\alpha = 0$ ise Sürtünmeli Damperler (SD) olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.2. Sönüm kuvveti ($F_d / F_d(\alpha = 1)$) – Rölatif hız ($\dot{x} / \dot{x}(\alpha = 1)$) ilişkisi

Şekil 4.2'de görüldüğü üzere, *Doğrusal Viskoz Damperlerde (DVD)* ($\alpha = 1$), hız ile damper kuvveti arasında doğrusal ilişki bulunmaktadır. Yani hız arttıkça, sönüm kuvveti de sonsuz olarak artmaktadır. Yüksek hız durumlarında, aşırı kuvvetten dolayı damper cihazı hasar görebilmektedir. Oysaki *Doğrusal Olmayan Viskoz Damperlerde (DOVD)* ($\alpha = 0,5$), hız ne kadar yüksek değerler dahi almış olsa da sönüm kuvveti daha eğrisel bir artış izlemekte, böylece damper cihazını koruyucu bir etki yaratmaktadır. Bu nedenle yüksek hızın hakim olacağı sistemlerde, *Doğrusal Olmayan Viskoz Damperler* sistem cevaplarını sönümlemede daha etkili olmaktadır. *Sürtünmeli Damperlerde (SD)* ($\alpha = 0$), hız ne kadar artarsa artsın sönüm kuvveti sabit kalmaktadır.

Şekil 4.3'de damper kuvveti-yerdeğiştirmenin bir çevrimi çeşitli α değerleri için verilmiştir. Görüldüğü üzere *Sürtünme Damperlerde* tam dikdörtgen biçimli enerji kaybı gözlenirken, *Doğrusal Viskoz Damperlerde* düzgün eliptik bir enerji kaybı ortaya çıkmaktadır.



şekil 4.3. Viskoz akışkanlı sönümleyicinin kuvvet-yerdeğiştirme dögüsü



Resim 4.1. Kurulumu tamamlanmış viskoz sönümleyici [1]

Viskoz dampere sahip *Tek Serbestlik Dereceli Sistemin* hareketi;

$$m\ddot{x}(t) + (c + c_{d\alpha})\dot{x}(t) + kx(t) = -mr\ddot{x}_g(t) \text{ eşitliği ile belirlenir.} \quad (4.2)$$

Eş.4.2'de; m, c, k sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini ifade ederken, $\ddot{x}(t), \dot{x}(t), x(t)$ ivme, hız ve yerdeğiştirme cevaplarını simgelemektedir. Doğrusal Viskoz Damperlerde $c_{d\alpha}$ doğrudan sistem sönümüne eklenebilir. Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerde ise bu ifadelerin matris versiyonları yerine konulur. Ayrıca sisteme damper tarafından ilave edilen sönüm oranı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır [37, 38].

$$\xi_d = \frac{T_1 \sum_j c_{d_j} \cos^2(\theta_j) (\phi_j - \phi_{j-1})^2}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (4.3)$$

Eş.4.3'te; T_1 sistemin temel periyodunu, j çok serbestlik dereceli sistemlerde kat sayısını, θ_j damperin yerleştirilme açısını, $\phi_j - \phi_{j-1}$ katlar arası modal yerdeğiştirmeyi simgelemektedir.

Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Viskoz Damperlerin bir çevriminde sönümlendiği enerji birbirine eşittir. Bu enerji eşitliğinden yola çıkarak *Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Viskoz Damperlerin* sönüm katsayıları arasında bir bağıntı bulunur.

$$c_\alpha = \frac{c_1 (\omega_n x_0)^{1-\alpha}}{\beta_\alpha} \quad (4.4)$$

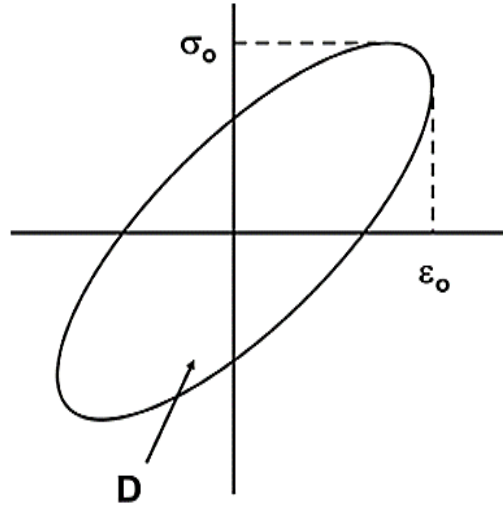
$$\beta_\alpha = \frac{2^{2+\alpha} \Gamma(1+\frac{\alpha}{2})}{\Gamma(2+\alpha)} \quad (4.5)$$

Eş.4.4 ve Eş.4.5'te; c_α ve c_1 sırayla *Doğrusal Olmayan Viskoz Damperin* ve *Doğrusal Viskoz Damperin* sönüm katsayısını, ω_n doğal açısal frekansı, x_0 maksimum yerdeğiştirmeyi, α viskoz sönümleyici doğrusallığını ifade eden üssü, β_α ise α 'ya bağlı sabit bir sayı olup Γ gama fonksiyonunu simgelemektedir [39].

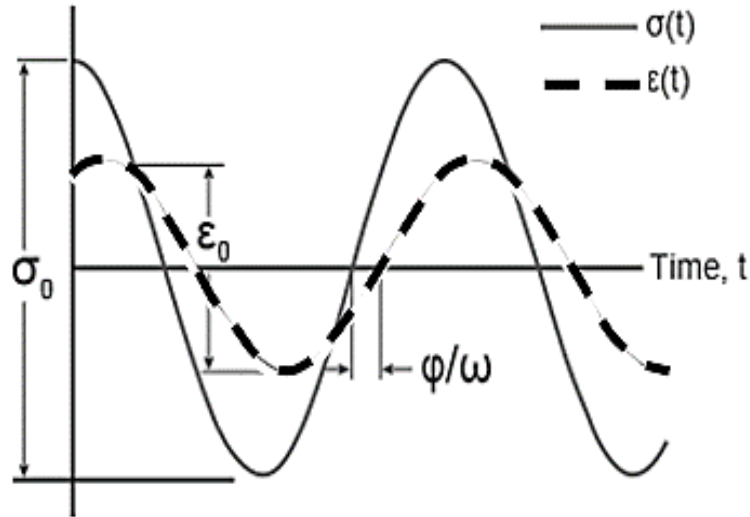
Sönümlenen enerji eşit olduğu için, sistem cevabında her iki damper durumunda aynı sonuçlar elde edilir. Ancak *Doğrusal Olmayan Viskoz Damper* kapasitesi daha küçük çıkmaktadır (Bkz. Şekil 4.2).

4.2.2 Viskoelastik Damperler (VED)

Viskoelastik malzeme, viskoz ve elastik davranışa sahip olan malzemedir. Viskoelastik malzemelerde depolanan enerjinin bir kısmı yük kaldırılınca ortadan kalkarken, bir kısmı da ısı enerjisine dönüşür. Şekil 4.4'de, D viskoelastik malzemenin histerezis döngüsünde *sönümlenen enerji miktarını* göstermektedir.



Şekil 4.4. Viskoelastik malzemenin histerezis döngüsü



Şekil 4.5. Viskoelastik malzemenin zaman tanım alanında ve tekrarlı periyodik yük durumunda gerilme ve şekil değiştirme diyagramları

Şekil 4.5'de; ω periyodik yükün frekansını gösterirken, φ malzemenin sönüm oranı ile ilişkilidir. φ ne kadar büyükse sönüm o kadar fazladır.

Viskoelastik sönümleyicilerde sönüm kuvveti;

$$F_d = k_{VE}x + c_{VE}\dot{x} \text{ eşitliği ile belirlenir.} \quad (4.6)$$

Eş.4.6'da; F_d sönüm kuvvetini, k_{VE} sönümleyicinin rijitliğini, c_{VE} sönümleyici katsayısını, x ve \dot{x} cihazın iki ucu arasındaki rölatif yerdeğişimini ve rölatif hız değişimini simgelemektedir.

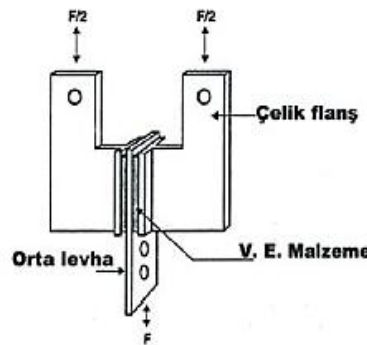
Eş.4.7 ve Eş.4.8’de; η_{eff} efektif kayıp katsayısını, ω_{ved}^2 damperli sistemin açısal frekansını, k_b damperlerin bağlandığı çelik çaprazların rijitliğini ve k_{ve} damperlerin rijitliğini simgelemektedir. η_v yaklaşık 1,2 değerinde olup, k_b/k_{ve} rijitlik oranı 40 değerini almaktadır [40].

$$\xi_{ad} = \frac{\eta_{eff}}{2} \left(1 - \frac{\omega_n^2}{\omega_{ved}^2} \right) \quad (4.7)$$

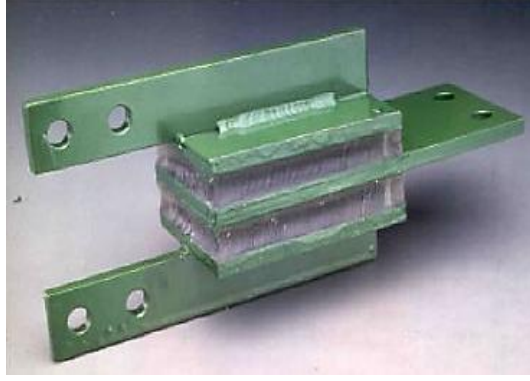
$$\eta_{eff} = \frac{k_b/k_{ve}}{\eta_v^2 + k_b/k_{ve} + 1} \quad (4.8)$$

Deprem ve rüzgâr sonucu oluşabilecek yatay enerjiyi sönmölemek için kullanılan viskoelastik sönmöleyicilerin metalik ve sürtünme tipi sönmöleyicilere kıyasla yapılarda kullanımı oldukça yenidir. Viskoelastik malzemeler uçak çerçevelerinin titreşimini kontrol etmek için 1950’li yıllarda ilk kez kullanılmaya başlamış olup rüzgâr yüküne bağlı oluşan titreşimin sönmölenmesi amacıyla, New York’daki Twin Towers ve Seattle’daki Columbia Center binalarında ise uzun süredir kullanılmaktadır [31].

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi viskoelastik sönmöleyiciler, çelik plakaların içine yerleştirilmiş ince viskoelastik malzeme tabakalarından oluşmaktadır. Uygulamada, viskoelastik sönmöleyicilerin dinamik davranışı genellikle yay ve amortisörün paralel bağlanması ile oluşturulan basit doğrusal viskoelastik modellerle idealize edilmektedir (*Kelvin Modeli*) [31].

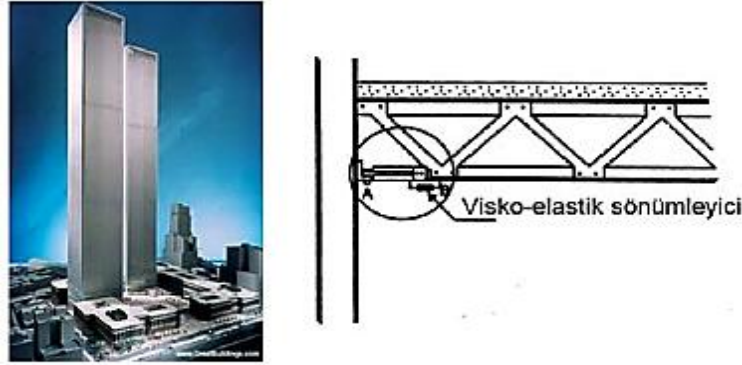


Şekil 4.6. Viskoelastik sönmöleyici [33]



Resim 4.2. Viskoelastik sönümleyici katmanları [1]

Viskoelastik sönümleyicilerin inşaat mühendisliğindeki ilk uygulamalarından biri Amerika Birleşik Devleti'nde 11 Eylül 2001 saldırılarında yıkılan çelik taşıyıcı sistemli Dünya Ticaret Merkezi'nin İkiz Kulelerinde yapılmıştır. 1969 yılında kulelere rüzgâr titreşimlerini azaltmak için yaklaşık olarak on bin adet viskoelastik sönümleyici monte edilmiştir [31].



Resim 4.3. Dünya Ticaret Merkezi'nde kullanılmış viskoelastik sönümleyici-A.B.D. [31]

Amerika Birleşik Devleti'nde 11 Eylül terör olayları sonucu yıkılan Newyork'daki Dünya Ticaret Merkezi'nden sonra başka binalarda da viskoelastik sönümleyiciler kullanılmıştır. 1980'lerde Seattle'daki Columbia Sea First ve Two Union Square yapılarında rüzgâra bağlı titreşimleri düşürmek için bu sönümleyiciler kullanılmıştır. Bu yapılarda çelik kolonlar yüksek mukavemetli beton ile sarılmıştır. Bunun yanında, California San Jose'de on üç katlı çelik Santa Clara County binasında ve San Diego'da ilk olarak üç katlı bir betonarme yapıda, viskoelastik sönümleyiciler sismik güçlendirme için

kullanılmıştır. Tayvan'ın Taipei şehrinde 1994 yılında, Chien-Tan demiryolu istasyonun çatısında rüzgârdan kaynaklanan titreşimleri düşürmek için yine viskoelastik sönümleyiciler kullanılmıştır [31].

4.2.3 Sürtünmeli Damperler (SD)

Bu sönümleyiciler rüzgâr yükleri altında ve orta şiddetli depremlerde kaymayacak şekilde dizayn edilmiştir. Şiddetli deprem yükleri altında birincil yapı elemanlarında akma olmadan, daha önceden tanımlanan optimum bir yükte sönümleyici kaymaya başlamaktadır. Bütün sürtünme tipi sönümleyicilerin sürtünme yüzeylerinde kullanılan malzemeler; çelik üstüne çelik, çelik üstüne pirinç veya paslanmaz çelik üzerine grafit ile kaplanmış bronzdan oluşmuştur [31].

Sürtünme tipi sönümleyicilerde sönüm kuvveti;

$$F_d = \mu N \text{ eşitliği ile belirlenir.} \quad (4.9)$$

Eş.4.9'da; F_d sönüm kuvvetini, μ sürtünme katsayısını, N damper üzerine gelen normal kuvveti simgelemektedir.

Sürtünmeli dampere sahip *Tek Serbestlik Dereceli Sistemin* hareketi;

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) + F_d = -mr\ddot{x}_g \quad (4.10)$$

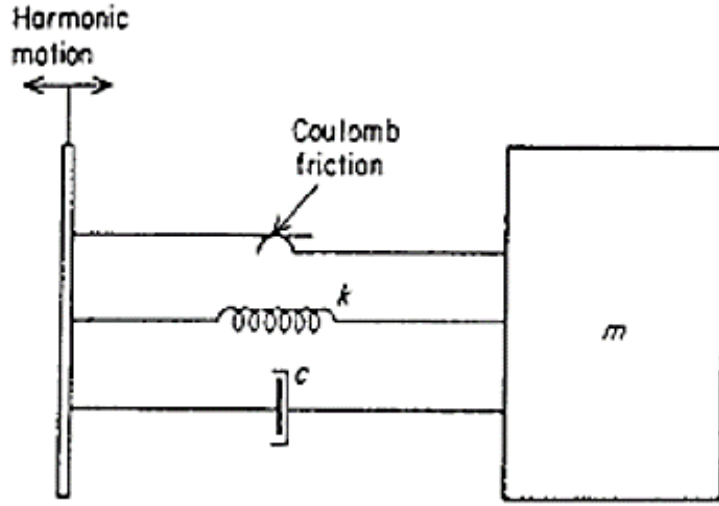
ile belirlenir. Sürtünmeli damper modeli Şekil 4.7'deki gibi gösterilmektedir. Burada sönüm kuvveti;

$$F_d = \frac{\xi_{eq}\pi k \omega_r u_o}{2} \quad (4.11)$$

ile belirlenir ve eşdeğer sönüm katsayısı,

$$C_{eq} = \frac{4.F_d}{\pi \omega_D u_o} = \frac{2\xi_{eq}k}{\omega_n} \quad (4.12)$$

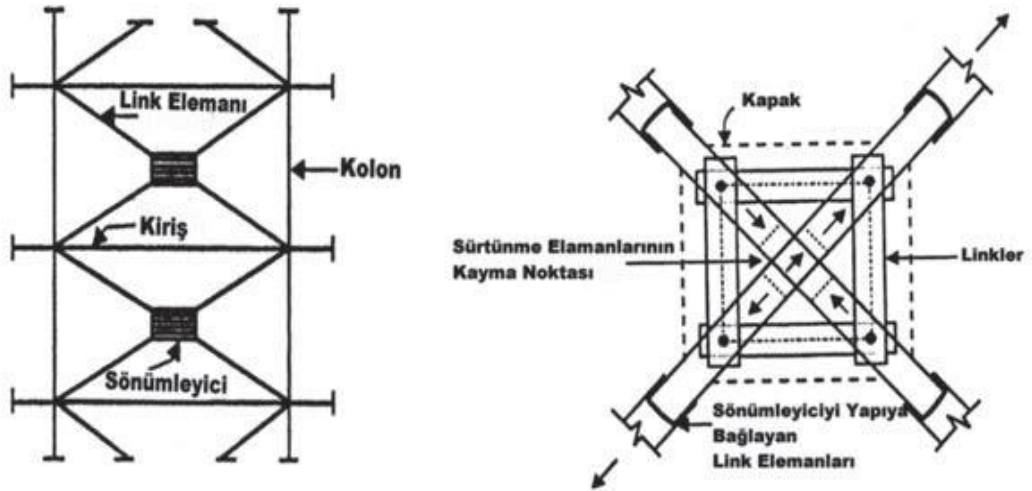
olur. Eş.4.11'de; ξ_{eq} eşdeğer viskoz sönüm oranını, k kat rijitliğini, ω_r dış yük frekansı ile yapının doğal frekansı arasındaki oranı (ω_D/ω_n), u_o en yüksek yerdeğiştirme miktarını simgelemektedir [41].



Şekil 4.7. Sürtünmeli damper modeli

Sürtünmeli damperlerde “Coulomb” sürtünmesinin geçerli olduğu damper modeli kullanılmaktadır. Şekil 4.2’deki $\alpha = 0$ durumu sürtünmeli damperin sönüm kuvveti-rölatif hız ilişkisini göstermektedir.

Son yıllarda, sürtünme tipi sönümleyiciler yeni yapılar ve güçlendirilmesi gereken yapılarda sismik performansı artırmak için kullanılmaktadır. *Pall Tipi Sönümleyiciler* ilk olarak Kanada’da kullanılmıştır [31].



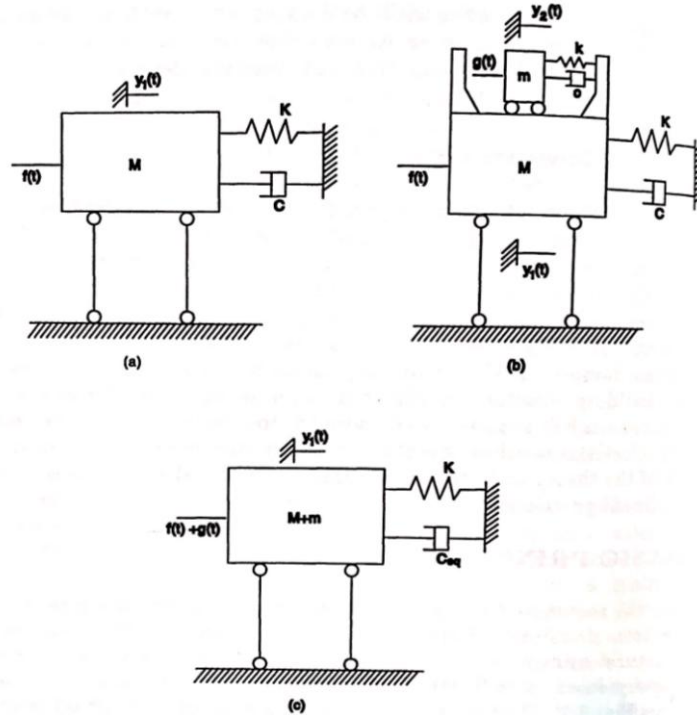
Şekil 4.8. Pall tipi sürtünme sönümleyici [31]

Japonya’da, Omiya şehrindeki 31 katlı çelik yapıya *Sumitomo Tipi Sönümleyiciler* eklenmiştir. *Sumitomo Sürtünme Aygıtı*’nın boyuna kesitine baktığımızda kurşun tozu emdirilmiş bakır yastıklar çelik kaplanmış cihaz ile temas halindedir. Değişik takozlarla yükün alındığı sürtünme yüzeyi geliştirilmiştir. Bu cihazlar her zaman çapraz bağlantı şeklinde kullanılmayabilirler [31].

4.2.4 Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (AKS)

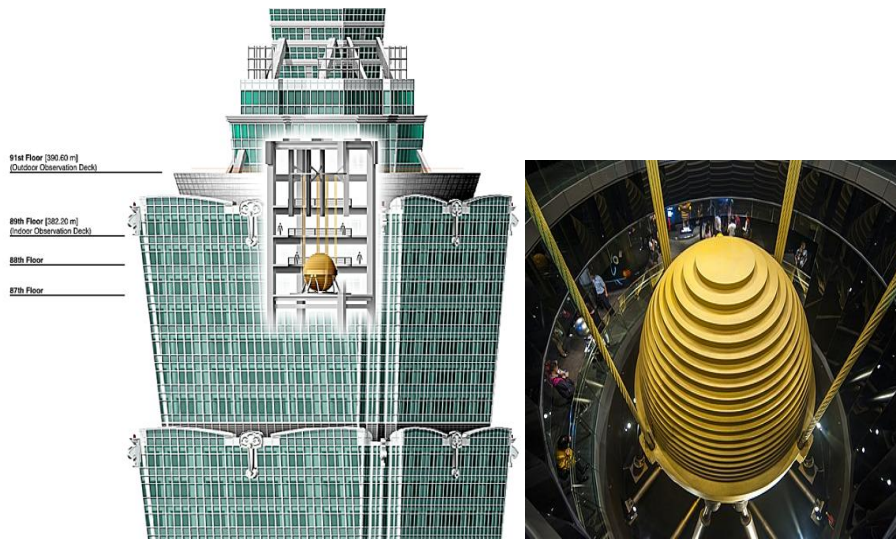
Esas yapıya birbirine paralel yay ve viskoz sönümleyici yardımıyla bağlanan kütleye “*Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMD - Tuned Mass Damper)*” denmektedir. Ayarlı kütle sönümleyici parametreleri uygun şekilde seçilerek yapının istenen titreşim moduna ayarlandığı takdirde o moddaki titreşim enerjisinin bir kısmının sönümleyiciye akışı sağlanarak esas yapının titreşim enerjisi azaltılır [31].

Şekil 4.9’da ayarlı kütle sönümleyicilerin matematik modelleri gösterilmiştir. Rezonans frekansına ayarlanmış AKS, tek serbestlik dereceli sisteme eklendiğinde, serbestlik derecesini bir arttırmaktadır. Hareket denklemleri bir arttırılmış serbestlik derecesine göre tekrar yazılmalıdır.



Şekil 4.9. Tek serbestlik dereceli sistemlere eklenmiş AKS modelleri

Resim 4.4’de Tayvan’ın başkenti Taipei’de dünyanın en yüksek yedi gökdeleninden biri olan Taipei 101 binasının yapımına 1999 yılında başlanmış ve proje 2004 yılında tamamlanmıştır. İsminden de anlaşılacağı üzere 101 katlı olan gökdelen 508 metre yüksekliğe sahip olup ülkeye özgü bambu ağacından esinlenerek inşa edilmiştir. Tıpkı bambu ağacı gibi hafif, esnek ve sağlam özellikte olan bu yapıda kolonları desteklemek için her sekiz katta bir dev çelik donatılar tasarlanmıştır. Bu yapıyı mükemmel kılan tasarım 87. ve 91. katlar arasında sallanan kütle sönümleyici ağırlık küresinin bulunmasıdır.



Resim 4.4. Ayarlı kütle tipi sönümleyici - Taipei 101 binası, Tayvan [34, 35]

Resim 4.5’de yapıya etki edecek yükün baskın yani dominant frekansını karşılayacak kütle-yay sistemi görülmektedir. Ağırlığı yaklaşık 600 ton olan dev küreyi 16 çelik kablo tutmakta olup alttan da dev amortisörlerle desteklenmektedir. Bu küre, yüksekliği sebebiyle yüzeyine aldığı yatay rüzgâretkilerini minimuma indirerek binayı ters yönde destekler ve dengede kalmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte binada ayrıca farklı noktalarda sekiz adet daha benzer farklı kütle sönümleyiciler küre monte edilmiştir. Fırtınalı günlerde bu ağırlığın gözle görülür şekilde salınımı fark edilebilmektedir.



Resim 4.5. Taipei 101 binası kütle-yay sistemi, Tayvan [35]

Ayarlı kütle tipi sönümleyicilerin yerleştirildiği ilk yapı Avustralya'nın Sydney şehrindeki çelik taşıyıcı sisteme sahip Centerpoint gökdelenidir. Amerika Birleşik Devletleri'nde bu tip sönümleyicilerin yerleştirildiği iki binadan birisi Newyork'da taşıyıcı sistemi çelik olan Citicorp Center, diğeri ise Boston'da John Hancock gökdelenidir. Japonya'da ise ilk ayarlı kütle tipi sönümleyici yine çelik taşıyıcı sistemli Chiba Port gökdelenine yerleştirildikten sonra bunu Osaka'da Funade Bridge gökdeleni, Kimitsu şehrindeki çelik bacalar ve diğeri izlemiştir. Ayarlı kütle tipi sönümleyiciler pek çok köprüde, Dubai'de Burj Al Arab otelinde ve Emirates kulelerinde de kullanılmıştır [31].

5 ÇALIŞMANIN BULGULARI

Bu çalışmada *B1 tipi Zayıf Kat Düzensizliği* sahip Bina I ve *B2 tipi Yumuşak Kat Düzensizliğine* sahip Bina II örnekleri ele alınmıştır. Bu binaların dinamik analizlerini yapmak üzere kesme yapısı kabulüyle toplanmış kütle-rijitlik modelleri oluşturulmuştur. Hesapların detayları ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

Her iki binanın analizlerini gerçekleştirmek ve damper tiplerinin sistem cevabında oluşturduğu çeşitliliğe odaklanmak için bir takım kabuller yapılmıştır. Binalar kesme tipi yapı olarak ele alınmış ve doğrusal çalıştığı kabul edilmiştir. Çünkü eklenen deprem sönümleyicilerinin amacı, yapı elemanlarında kalıcı hasar oluşmadan binanın dış yükler altında elastik davranış göstermesini sağlamaktır.

Sönüm matrisleri *Rayleigh Yöntemiyle* %5 sönüm oranına sahip olacak şekilde elde edilmiştir. Rayleigh Yönteminde 1. ve 2. doğal açısız frekanslara bağlı olarak elde edilen katsayılar, A_0 ve A_1 , kütle ve rijitlik matrisleri ile çarpılır. Eş.5.3'te sönüm matrisi gösterilmektedir.

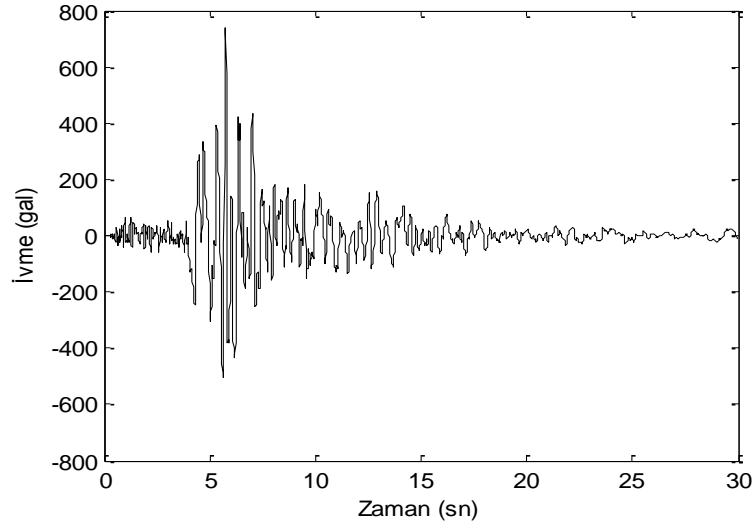
$$A_0 = 2\xi_{in} \frac{\omega_1\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (5.1)$$

$$A_1 = \frac{2\xi_{in}}{\omega_1 + \omega_2} \quad (5.2)$$

$$C = A_0M + A_1K \quad (5.3)$$

Sistem cevapları, *1999 Düzce Depremi Bolu İstasyon ivme kayıtları* (en büyük yer ivmesi 739,5 gal), kullanılarak *Newmark- β Nümerik İntegrasyon Metodu* ile zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Tüm analizler *MATLAB* programı kullanılarak yapılmıştır. 1999 Düzce Depremi Bolu İstasyonu kuzey-güney bileşeni ivme kaydı Şekil 5.2'de gösterilmektedir.

Bu çalışmada damperlerin, binalardaki deprem cevaplarına etkileri incelenmiştir. Viskoz akışkanlı, viskoelastik, sürtünme tipi sönümleyiciler her kata yerleştirilirken, ayarlı kütle tipi sönümleyiciler binanın yalnızca en üst katına yerleştirilmiştir.



Şekil 5.1. 1999 Düzce Depremi Bolu İstasyonu kuzey-güney bileşeni ivme kaydı [36]

Damperlerin kapasiteleri hesaplanırken, her birinin eşit şartlarda oluşturularak binaya etkileri gözlenmek istendiğinden, her birinin sağladığı ek sönüm oranı (ξ_d) %25 olarak kabul edilmiştir.

Viskoz Damperler: Viskoz damperlerin damper kapasiteleri bulunurken *MATLAB* programı optimizasyon aracı “*fmincon*”dan yararlanılmıştır [39].

Burada amaç, istenen sönüm oranını sağlamak için her kata eklenen damper kapasiteleri toplamını minimize etmektir.

$$\text{Min } f = \sum_{i=1}^n c_{di} \quad (5.4)$$

Eş.5.4’de; i kat sayısını göstermekte olup, damper kapasitelerinin sahip olabileceği üst sınırlar (lb) ve alt sınırlar (ub) belirlenmiştir ($lb \leq c_{di} \leq ub$).

Eş.4.3’teki ifadeden çıkarılan eşitlik sabiti Eş.5.5’te verilmektedir.

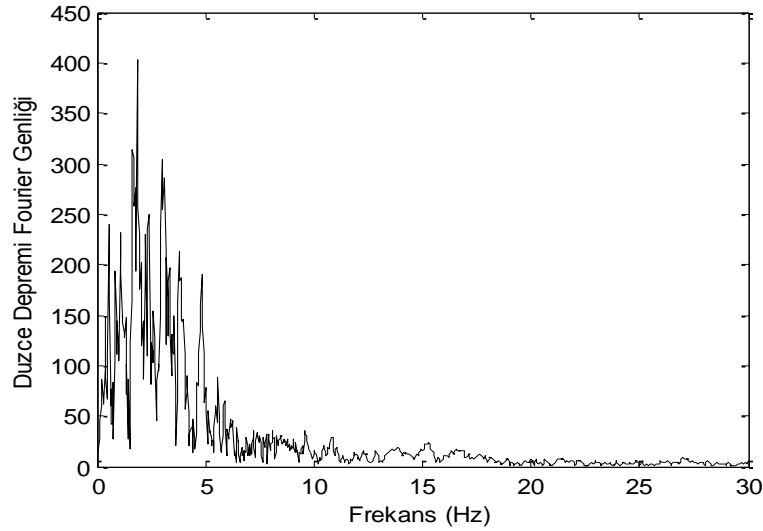
$$A_{eq(i)} = \frac{T_1}{4\pi \cdot \sum_{i=1}^n m_i \phi_i^2} \cdot (\phi_i - \phi_{i-1})^2 \quad (5.5)$$

$$\{A_{eq}\} \times \{c_d\} = \xi_d \quad (5.6)$$

Eş.5.6'da; $\{A_{eq}\}$ eşitlik sabiti kat sayısı kadar terim içeren satır vektördür. $\{c_d\}$ ise optimizasyon sonucu elde edilecek olan kolon vektördür. Her iki terimin çarpımı ile ζ_d elde edilir.

Viskoelastik Damperler ve Sürtünmeli Damperler: Damper kapasiteleri bulunurken ele alınan bina modellerinde, her kattaki rijitlik aynı ve $\xi_{eq} = 0,25$ olarak belirlenmiş durumdadır. Bu nedenle her bir kattaki C_{eq} birbirine eşittir.

Ayarlı Kütle Sönümleyiciler: Ayarlı kütle sönümleyici kullanıldığı durumda; dış yükün frekansına eşit frekansa sahip kütle-yay sistemi, yapının en üst katına yerleştirilir. Bu çalışmamızda kullanılan 1999 Düzce Depreminin dominant frekansı Şekil 5.2'deki *Fourier Analizinden* görüldüğü üzere 1,851 Hz olmaktadır.



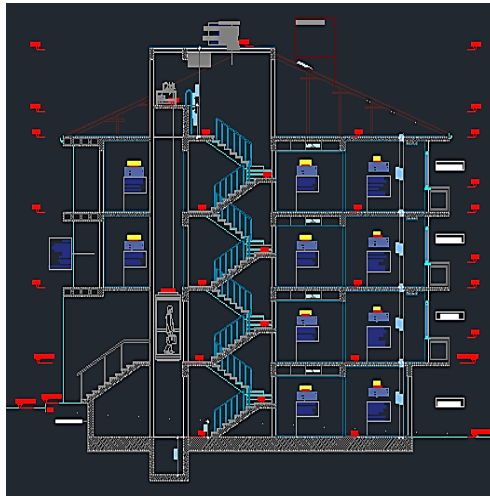
Şekil 5.2. Düzce Depremi ivme Fourier spektrumu

Buna göre oluşturulan kütle sönümleyicinin rijitliği $k_{AKS} = \omega_D^2 m_{AKS}$ eşitliği ile belirlenir. Burada, ω_D depremin dominant frekansını, m_{AKS} sönümleyicinin kütesini simgelemektedir. Bu çalışmada sönümleyici kütesi, yapının toplam kütesinin %2'si olarak seçilmiştir. Sönüm katsayısı da $c_d = 2\xi m_{AKS} \omega_D$ eşitliğiyle hesaplanır. Ayarlı kütle sönümleyiciye ait bu parametreler, sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrisinde uygun yerlere yerleştirilir.

Sırayla alt başlıklarda, ele alınan bina örnekleri ve analiz sonuçları verilmektedir.

5.1 Betonarme Konut İnşaatı Projesi-Bina I Örneği (B1-Zayıf Kat Düzensizliği)

DBYBHY-2007’de tanımlanan “*Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları*” koşullarından *B1 tipi Zayıf Kat Düzensizliğinin* bulunduğu, Kerem İnşaat tarafından Uşak Merkez Fevzi Çakmak Mahallesi, 29.27.b.c pafta, 1046 ada, 7 parsel üzerine 213,00 m² inşaat alanı olan B+Z+2 katlı olarak yapılan betonarme konut inşaatının *Toplanmış Kütle Modeli* oluşturulmuştur.



Resim 5.1. Bina I’in betonarme konut inşaatı projesi

Bina I’in yapı parametreleri; Beton Sınıfı: C25, Donatı Çeliği: S420, Kat Yüksekliği: 280 cm, Yerel Zemin Sınıfı: Z2, Zemin Emniyet Gerilmesi: $Z_{em}=1,6 \text{ kgf/cm}^2$, Bina Önem Katsayısı: $I=1,0$, Etkin Yer İvmesi Katsayısı: $A_0=0,30$ ’dur.

Zemin Kat, 1. Kat ve 2. Kat Kolon Aplikasyon Planında; S 25/50 kolonlardan 14 adet, S 50/25 kolonlardan 3 adet, S 25/60 kolonlardan 3 adet, S 25/70 kolonlardan 5 adet, S 25/120 kolonlardan 1 adet mevcuttur.

Zemin Kat, 1. Kat ve 2. Kat Kolonların x titreşim yönündeki Atalet Momentleri; $I_x = \frac{bh^3}{12}$

$$\text{S 25/50 kolonları için;} I_x = \frac{0,25 (0,50)^3}{12} = 2,60 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 50/25 kolonları için;} I_x = \frac{0,50 (0,25)^3}{12} = 0,65 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 25/60 kolonları için;} I_x = \frac{0,25 (0,60)^3}{12} = 4,50 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 25/70 kolonları için;} I_x = \frac{0,25 (0,70)^3}{12} = 7,15 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 25/120 kolonları için;} I_x = \frac{0,25 (1,20)^3}{12} = 36,00 \times 10^{-3} m^4$$

Zemin Kat, 1. Kat ve 2. Kat Kolonların x titreşim yönündeki Kesme Rijitlikleri; $k_x = \frac{12EI_x}{Lx^3}$

TS500'den C25 betonu için; $E = 30\,000 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$

$$\text{S 25/50 kolonları için;} k_x = \frac{12 (30\,000 \times 10^3) (2,60 \times 10^{-3})}{(2,80)^3} = 42\,638 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 42\,638 \times 14 = 596\,932 \text{ kN/m}$$

$$\text{S 50/25 kolonları için;} k_x = \frac{12 (30\,000 \times 10^3) (0,65 \times 10^{-3})}{(2,80)^3} = 10\,659 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 10\,659 \times 3 = 31\,977 \text{ kN/m}$$

$$\text{S 25/60 kolonları için;} k_x = \frac{12 (30\,000 \times 10^3) (4,50 \times 10^{-3})}{(2,80)^3} = 73\,797 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 73\,797 \times 3 = 221\,391 \text{ kN/m}$$

$$\text{S 25/70 kolonları için;} k_x = \frac{12 (30\,000 \times 10^3) (7,15 \times 10^{-3})}{(2,80)^3} = 117\,255 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 117\,255 \times 5 = 586\,275 \text{ kN/m}$$

$$\text{S 25/120 kolonları için;} k_x = \frac{12 (30\,000 \times 10^3) (36,00 \times 10^{-3})}{(2,80)^3} = 590\,379 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 590\,379 \times 1 = 590\,379 \text{ kN/m}$$

Her katta bulunan kolon boyutları ve sayıları aynı olduğundan her bir katın Kesme Rijitliği toplamı;

$$\Sigma k_x = 596\,932 + 31\,977 + 221\,391 + 586\,275 + 590\,379 = 2\,026\,954 \text{ kN/m}$$

$$\text{Zemin Kat Toplam kat } \Sigma k_1 = 2\,026\,954 \text{ kN/m}$$

$$\text{1.Kat Toplam kat } \Sigma k_2 = 2\,026\,954 \text{ kN/m}$$

$$\text{2. Kat Toplam kat } \Sigma k_3 = 2\,026\,954 \text{ kN/m}$$

Çizelge 5.1. Bina I'in statik hesap programı olan ideCAD ile elde edilen beton metraжі

Beton Metraжі	Döşemeler	Nervürler	Kirişler	Perdeler	Kolonlar	Radye Temeller
2. Kat	20,727	1,171	20,778	0,000	11,246	0,000
1.Kat	20,362	1,171	19,965	0,000	10,646	0,000
Zemin Kat	20,362	1,171	19,965	0,000	10,646	0,000
Bodrum Kat	19,861	0,502	19,480	15,994	10,996	109,588
Toplam (m³)	81,312	4,015	80,188	15,994	43,534	109,588

Çizelge 5.1'den katların beton ağırlıklarını hesaplayacak olursak;

Betonun Özgül Ağırlığı = $25 \text{ kN/m}^3 = 2,5 \text{ t/m}^3$

2. Katın döşeme ve nervür beton ağırlığı = $21,898 \times 2,5 = 54,75 \text{ t}$

1. Katın döşeme ve nervür beton ağırlığı = $21,533 \times 2,5 = 53,83 \text{ t}$

Zemin Katın döşeme ve nervür beton ağırlığı = $21,533 \times 2,5 = 53,83 \text{ t}$

2. Katın kiriş beton ağırlığı = $20,778 \times 2,5 = 51,95 \text{ t}$

1. Katın kiriş beton ağırlığı = $19,965 \times 2,5 = 49,91 \text{ t}$

Zemin Katın kiriş beton ağırlığı = $19,965 \times 2,5 = 49,91 \text{ t}$

2. Katın perde ve kolon beton ağırlığı = $11,246 \times 2,5 = 28,12 \text{ t}$

1. Katın perde ve kolon beton ağırlığı = $10,646 \times 2,5 = 26,62 \text{ t}$

Zemin Katın perde ve kolon beton ağırlığı = $10,646 \times 2,5 = 26,62 \text{ t}$

Çizelge 5.2. Bina I'in statik hesap programı olan ideCAD ile elde edilen donatı metrajı

Donatı Metrajı	Döşemeler	Nervürler	Kirişler	Perdeler	Kolonlar	Radye Temeller	Merdivenler
Merdiven Kulesi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2. Kat	1 548,93	97,57	2 181,03	0,00	2 091,88	0,00	81,29
1.Kat	1 521,81	97,57	2 137,84	0,00	2 127,76	0,00	0,00
Zemin Kat	1 634,26	97,57	2 185,13	0,00	2 127,76	0,00	102,52
Bodrum Kat	1 610,92	41,70	1 941,79	1 173,02	2 960,44	7 441,02	0,00
Toplam (kg)	6 315,92	334,41	8 445,79	1 173,02	9 307,84	7 441,02	183,81

Çizelge 5.2'den katların donatı ağırlıklarını hesaplayacak olursak;

Donatı ağırlığı için birim = $1\ 000\ kg = 1\ t = 9,81\ kN$

2. Katın döşeme ve nervür donatı ağırlığı = $1\ 646,50\ kg = 1,64\ t$

1. Katın döşeme ve nervür donatı ağırlığı = $1\ 619,38\ kg = 1,61\ t$

Zemin Katın döşeme ve nervür donatı ağırlığı = $1\ 731,83\ kg = 1,73\ t$

2. Katın kiriş donatı ağırlığı = $2\ 181,03\ kg = 2,18\ t$

1. Katın kiriş donatı ağırlığı = $2\ 137,84\ kg = 2,13\ t$

Zemin Katın kiriş donatı ağırlığı = $2\ 185,13\ kg = 2,18\ t$

2. Katın perde ve kolon donatı ağırlığı = $2\ 091,88\ kg = 2,09\ t$

1. Katın perde ve kolon donatı ağırlığı = $2\ 127,76\ kg = 2,12\ t$

Zemin Katın perde ve kolon donatı ağırlığı = $2\ 127,76\ kg = 2,12\ t$

Çatı ağırlığını yaklaşık olarak hesap edecek olursak;

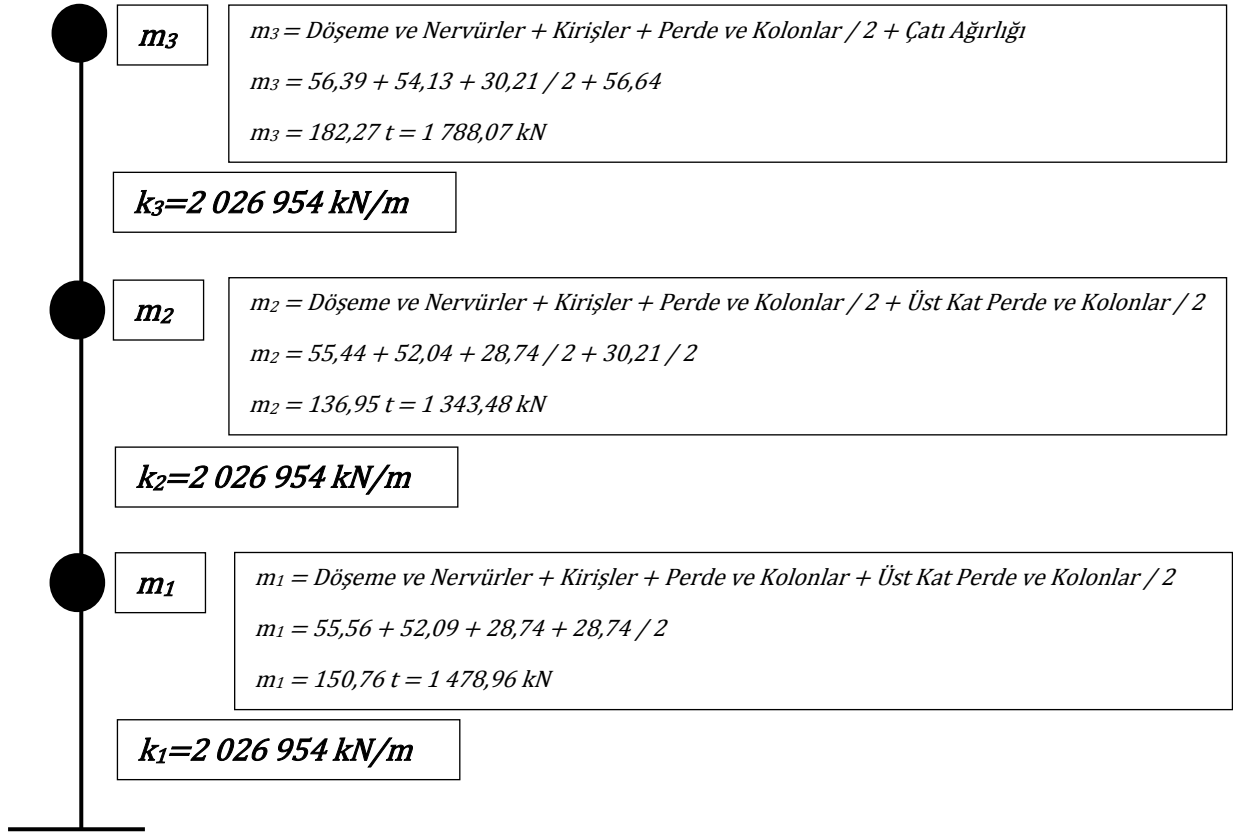
Çatı öz yükü ağırlığı = $0,035\ t/m^2$. Çatı kaplama yükü ağırlığı = $0,050\ t/m^2$

Çatı kar yükü ağırlığı = $0,075\ t/m^2$. Çatı rüzgâr yükü ağırlığı = $0,080\ t/m^2$

Toplam çatı yükü ağırlığı = $0,24\ t/m^2$

Bina 2. Normal kat toplam alanı = $236,00\ m^2$ olduğuna göre;

Çatı toplam ağırlığı = $236,00 \times 0,24 = 56,64\ t$



Şekil 5.3. Bina I'in beton ve donatı ağırlıkları ile oluşturulmuş toplanmış kütle modeli

Yapının kütle matrisi (M) ve rijitlik matrisi (K), Eş.5.7 ve Eş.5.8'de verilmiştir.

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} 1\,478,96 & 0 & 0 \\ 0 & 1\,343,48 & 0 \\ 0 & 0 & 1\,788,07 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

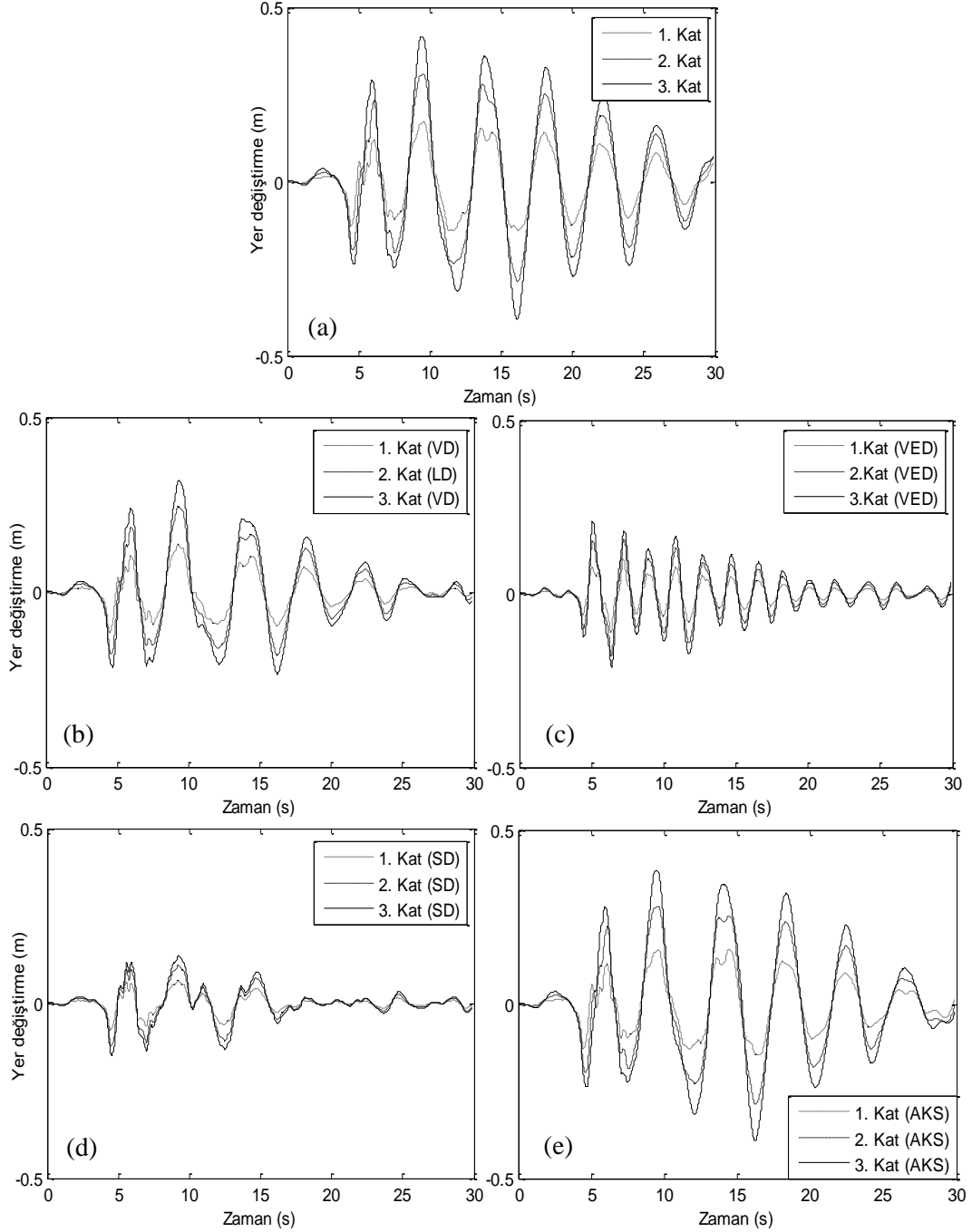
$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} 4\,053\,908 & -2\,026\,954 & 0 \\ -2\,026\,954 & 4\,053\,908 & -2\,026\,954 \\ 0 & -2\,026\,954 & 2\,026\,954 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Bina I için oluşturulmuş toplanmış kütle modelinden de görüldüğü üzere *zayıf kat düzensizliğine* sahip bodrum kat üstü toplam 3 katlı bir binadır (Bkz. Resim 5.1).

Rayleigh Yöntemiyle hesaplanan sönüm matrisi (C) aşağıda verilmiştir.

$$C = \begin{bmatrix} 84\,736,14 & -33\,624,18 & 0 \\ -33\,624,18 & 88\,391,22 & -54\,767,04 \\ 0 & -54\,767,04 & 54\,767,04 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

Bina I örneğinin tüm katlarının 1999 Düzce Depremi etkisi altındaki damperli ve dampersiz yerdeğiştirme-zaman grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.4. Bina I'in, (a) dampersiz, (b) viskoz damperli, (c) viskoelastik damperli, (d) sürtümelili damperli, (e) ayarlı kütle sönümleyicili, yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü üzere, yerdeğiştirme cevaplarındaki en büyük azalma *Sürtünmeli Damper (SD)* eklendiği durumda gözlenmiştir. Çizelge 5.3’de dampersiz ve damperli binanın tüm katlarında meydana gelen en büyük yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri verilmiştir. Ayrıca parantez içinde damperli binada oluşan cevapların dampersiz binaya göre azalış oranları yüzde olarak belirtilmiştir. Bu duruma göre, kütle düzensizliğine sahip bu binada, deprem etkisi altında en iyi sönümlemeyi sürtünmeli damper gerçekleştirmektedir. Buna ek olarak, katlar arası yerdeğiştirmede en büyük azalışın sürtünmeli damper eklendiği durumda olduğu ifade edilebilir.

Çizelge 5.3. Bina I’in damper tiplerine göre katlarında oluşan en büyük yerdeğiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri

Bina Cevabı		Dampersiz	Viskoz Damper		VED (%)	SD (%)	AKS (%)
			DVD (%)	DOVD (%)			
Yerdeğiştirme (m)	1. Kat	0,172	0,135 (21,51)	0,135 (21,51)	0,112 (38,88)	0,093 (45,93)	0,152 (11,63)
	2. Kat	0,308	0,246 (20,13)	0,246 (20,13)	0,179 (41,88)	0,160 (48,05)	0,289 (6,17)
	3. Kat	0,416	0,318 (23,56)	0,318 (23,56)	0,210 (49,52)	0,201 (51,68)	0,394 (5,29)
Taban Kesme Kuvveti ($\times 10^5$ N)		3,48	2,75 (20,98)	2,75 (20,98)	10,90 (213,22)	1,87 (46,26)	3,18 (8,62)

Bina I’in her katına eklenen viskoz damperlerin (DVD ve DOVD) ve eşdeğer sönüm oranına göre sürtünmeli damperin (SD) eşdeğer viskoz damper kapasiteleri Çizelge 5.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.4. Bina I'in her katına eklenen eşdeğer damper (c_{eq}) kapasiteleri

Damper Kapasiteleri	DVD	DOVD	SD
1. Kat	1,96	1,05	6,46
2. Kat	1,96	1,05	6,46
3. Kat	1,96	1,05	6,46
Toplam ($\times 10^5$ Ns/m)	5,88	3,15	19,38

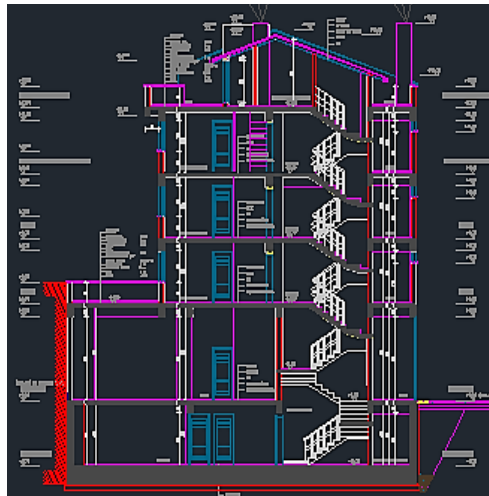
Ele alınan Bina I örneği yapı tipi bir bina olduğu için *I. Mod* etkin moddur.

Bina I için *doğal titreşim periyodu* (T_1) aşağıda verilmiştir.

$$T_1 = \begin{bmatrix} 4,0081 \\ 1,4036 \\ 0,9340 \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

5.2 Betonarme Konut İnşaatı Projesi-Bina II Örneği (B2-Yumuşak Kat Düzensizliği)

DBYBHY-2007’de tanımlanan “*Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları*” koşullarından *B2 tipi Yumuşak Kat Düzensizliğinin* bulunduğu. Mutlu Altınar Mimarlık tarafından Uşak Merkez Durak Mahallesi. 29.27.a.b pafta. 302 ada, 28 parsel üzerine 1198,15 m² inşaat alanı olan B+Z+3 katlı olarak yapılan betonarme konut inşaatının *Toplanmış Kütle Modeli*’ni oluşturulmuştur.



Resim 5.2. Bina II'nin betonarme konut inşaatı projesi

Bina II'nin yapı parametreleri; Beton Sınıfı: C30, Donatı Çeliği: S420, Zemin Kat Yüksekliği: 400 cm, 1. Kat, 2. Kat ve 3. Kat Yüksekliği: 270 cm. Yerel Zemin Sınıfı: Z3, Zemin Emniyet Gerilmesi: $Zem=1,35 \text{ kgf/cm}^2$, Bina Önem Katsayısı: $I=1,0$, Etkin Yer İvmesi Katsayısı: $A_0=0,30$ 'dur.

Zemin Kat Kolon Aplikasyon Planında; S 25/50 kolonlardan 11 adet, S 50/25 kolonlardan 5 adet, S 55/25 kolonlardan 1 adet, S 30/50 kolonlardan 1 adet, S 30/70 kolonlardan 1 adet, S 70/25 kolonlardan 1 adet, S 85/25 kolonlardan 1 adet, S 25/200 kolonlardan 1 adet mevcuttur.

1. Kat, 2. Kat ve 3. Kat Kolon Aplikasyon Planında; S 25/50 kolonlardan 9 adet, S 50/25 kolonlardan 4 adet, S 30/50 kolonlardan 1 adet, S 30/70 kolonlardan 1 adet, S 85/25 kolonlardan 1 adet, S 25/200 kolonlardan 1 adet mevcuttur.

Zemin Kat Kolonların x titreşim yönündeki Atalet Momentleri; $I_x = \frac{bh^3}{12}$

$$\text{S 25/50 kolonları için; } I_x = \frac{0,25 (0,50)^3}{12} = 2,60 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 50/25 kolonları için; } I_x = \frac{0,50 (0,25)^3}{12} = 0,65 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 55/25 kolonları için; } I_x = \frac{0,55 (0,25)^3}{12} = 0,72 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 30/50 kolonları için; } I_x = \frac{0,30 (0,50)^3}{12} = 3,12 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 30/70 kolonları için; } I_x = \frac{0,30 (0,70)^3}{12} = 8,58 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 70/25 kolonları için; } I_x = \frac{0,70 (0,25)^3}{12} = 0,91 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 85/25 kolonları için; } I_x = \frac{0,85 (0,25)^3}{12} = 1,10 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 25/200 kolonları için; } I_x = \frac{0,25 (2,00)^3}{12} = 166,66 \times 10^{-3} m^4$$

1. Kat, 2. Kat ve 3. Kat Kolonların x titreşim yönündeki Atalet Momentleri; $I_x = \frac{b.h^3}{12}$

$$\text{S 25/50 kolonları için; } I_x = \frac{0,25 (0,50)^3}{12} = 2,60 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 50/25 kolonları için; } I_x = \frac{0,50 (0,25)^3}{12} = 0,65 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 30/50 kolonları için; } I_x = \frac{0,30 (0,50)^3}{12} = 3,12 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 30/70 kolonları için; } I_x = \frac{0,30 (0,70)^3}{12} = 8,58 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{S 85/25 kolonları için; } I_x = \frac{0,85 (0,25)^3}{12} = 1,10 \times 10^{-3} m^4$$

$$S\ 25/200\ \text{kolonları için; } I_x = \frac{0,25 (2,00)^3}{12} = 166,66 \times 10^{-3} m^4$$

$$\text{Zemin Kat Kolonların } x \text{ titreşim yönündeki Kesme Rijitlikleri; } k_x = \frac{12EI_x}{Lx^3}$$

$$\text{TS 500'den C30 betonu için; } E = 32\ 000 \times 10^3\ \text{kN/m}^2$$

$$S\ 25/50\ \text{kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\ 000 \times 10^3) (2,60 \times 10^{-3})}{(4,00)^3} = 15\ 600\ \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 15\ 600 \times 11 = 171\ 600\ \text{kN/m}$$

$$S\ 50/25\ \text{kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\ 000 \times 10^3) (0,65 \times 10^{-3})}{(4,00)^3} = 3\ 900\ \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 3\ 900 \times 5 = 19\ 500\ \text{kN/m}$$

$$S\ 55/25\ \text{kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\ 000 \times 10^3) (0,72 \times 10^{-3})}{(4,00)^3} = 4\ 320\ \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 4\ 320 \times 1 = 4\ 320\ \text{kN/m}$$

$$S\ 30/50\ \text{kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\ 000 \times 10^3) (3,12 \times 10^{-3})}{(4,00)^3} = 18\ 720\ \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 18\ 720 \times 1 = 18\ 720\ \text{kN/m}$$

$$S\ 30/70\ \text{kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\ 000 \times 10^3) (8,58 \times 10^{-3})}{(4,00)^3} = 51\ 480\ \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 51\ 480 \times 1 = 51\ 480\ \text{kN/m}$$

$$S\ 70/25\ \text{kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\ 000 \times 10^3) (0,91 \times 10^{-3})}{(4,00)^3} = 5\ 460\ \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 5\ 460 \times 1 = 5\ 460\ \text{kN/m}$$

$$S\ 85/25\ \text{kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\ 000 \times 10^3) (1,10 \times 10^{-3})}{(4,00)^3} = 6\ 600\ \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 6\ 600 \times 1 = 6\ 600\ \text{kN/m}$$

$$S\ 25/200\ \text{kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\ 000 \times 10^3) (166,66 \times 10^{-3})}{(4,00)^3} = 999\ 960\ \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 999\ 960 \times 1 = 999\ 960\ \text{kN/m}$$

$$\text{Zemin Katın Kesme Rijitliği Toplamı; } \Sigma k_x = 171\ 600 + 19\ 500 + 4\ 320 + 18\ 720 + 51\ 480 + 5\ 460 + 6\ 600 + 999\ 960 = 1\ 277\ 640\ \text{kN/m}$$

$$\text{Zemin Kat Toplam } \Sigma k_I = 1\ 277\ 640\ \text{kN/m}$$

$$1. \text{ Kat, 2. Kat ve 3. Kat Kolonların } x \text{ titreşim yönündeki Kesme Rijitlikleri; } k_x = \frac{12EI_x}{Lx^3}$$

$$\text{TS 500'den C30 betonu için; } E = 32\ 000 \times 10^3\ \text{kN/m}^2$$

$$S\ 25/50\ \text{kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\ 000 \times 10^3) (2,60 \times 10^{-3})}{(2,70)^3} = 50\ 724\ \text{kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 50\ 724 \times 9 = 456\ 516\ \text{kN/m}$$

$$\text{S 50/25 kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\,000 \times 10^3) (0,65 \times 10^{-3})}{(2,70)^3} = 12\,681 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 12\,681 \times 4 = 50\,724 \text{ kN/m}$$

$$\text{S 30/50 kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\,000 \times 10^3) (3,12 \times 10^{-3})}{(2,70)^3} = 60\,868 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 60\,868 \times 1 = 60\,868 \text{ kN/m}$$

$$\text{S 30/70 kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\,000 \times 10^3) (8,58 \times 10^{-3})}{(2,70)^3} = 167\,389 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 167\,389 \times 1 = 167\,389 \text{ kN/m}$$

$$\text{S 85/25 kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\,000 \times 10^3) (1,10 \times 10^{-3})}{(2,70)^3} = 21\,460 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 21\,460 \times 1 = 21\,460 \text{ kN/m}$$

$$\text{S 25/200 kolonları için; } k_x = \frac{12 (32\,000 \times 10^3) (166,66 \times 10^{-3})}{(2,70)^3} = 3\,251\,407 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam kolon } k_x = 3\,251\,407 \times 1 = 3\,251\,407 \text{ kN/m}$$

$$1. \text{ Katın Kesme Rijitliği Toplamı; } \Sigma k_x = 456\,516 + 50\,724 + 60\,868 + 167\,389 + 21\,460 + 3\,251\,407 = 4\,008\,364 \text{ kN/m}$$

$$1. \text{ Kat Toplam } \mathbf{s}k_2 = 4\,008\,364 \text{ kN/m}$$

$$2. \text{ Katın Kesme Rijitliği Toplamı; } \Sigma k_x = 456\,516 + 50\,724 + 60\,868 + 167\,389 + 21\,460 + 3\,251\,407 = 4\,008\,364 \text{ kN/m}$$

$$2. \text{ Kat Toplam } \mathbf{s}k_3 = 4\,008\,364 \text{ kN/m}$$

$$3. \text{ Katın Kesme Rijitliği Toplamı; } \Sigma k_x = 456\,516 + 50\,724 + 60\,868 + 167\,389 + 21\,460 + 3\,251\,407 = 4\,008\,364 \text{ kN/m}$$

$$3. \text{ Kat Toplam } \mathbf{s}k_4 = 4\,008\,364 \text{ kN/m}$$

Çizelge 5.5. Bina II'nin statik hesap programı olan ideCAD ile elde edilen beton metrajı

Beton Metrajı	Döşemeler	Kirişler	Perdeler	Kolonlar	Radye Temeller
3. Kat	20,122	14,434	11,646	5,955	0,000
2. Kat	18,072	13,959	5,892	5,955	0,000
1.Kat	18,072	13,959	5,892	5,955	0,000
Zemin Kat	27,389	18,264	8,729	11,602	0,000
Bodrum Kat	27,346	18,372	32,228	7,840	137,880
Toplam (m³)	111,001	78,988	64,387	37,307	137,880

Çizelge 5.5'den katların beton ağırlıklarını hesaplayacak olursak;

Betonun Özgül Ağırlığı = $25 \text{ kN/m}^3 = 2,5 \text{ t/m}^3$

3. Katın döşeme beton ağırlığı = $20,122 \times 2,5 = 50,31 \text{ t}$

2. Katın döşeme beton ağırlığı = $18,072 \times 2,5 = 45,18 \text{ t}$

1. Katın döşeme beton ağırlığı = $18,072 \times 2,5 = 45,18 \text{ t}$

Zemin Katın döşeme beton ağırlığı = $27,389 \times 2,5 = 68,47 \text{ t}$

3. Katın kiriş beton ağırlığı = $14,434 \times 2,5 = 16,93 \text{ t}$

2. Katın kiriş beton ağırlığı = $13,959 \times 2,5 = 34,90 \text{ t}$

1. Katın kiriş beton ağırlığı = $13,959 \times 2,5 = 34,90 \text{ t}$

Zemin Katın kiriş beton ağırlığı = $18,264 \times 2,5 = 45,66 \text{ t}$

3. Katın perde ve kolon beton ağırlığı = $17,601 \times 2,5 = 44,00 \text{ t}$

2. Katın perde ve kolon beton ağırlığı = $11,847 \times 2,5 = 29,62 \text{ t}$

1. Katın perde ve kolon beton ağırlığı = $10,847 \times 2,5 = 29,62 \text{ t}$

Zemin Katın perde ve kolon beton ağırlığı = $20,331 \times 2,5 = 50,83 \text{ t}$

Çizelge 5.6. Bina II'nin statik hesap programı olan ideCAD ile elde edilen donatı metrajı

Donatı Metrajı	Döşemeler	Kirişler	Perdeler	Kolonlar	Radye Temeller	Merdivenler
3. Kat	1 938,07	1 569,05	823,53	1 177,57	0,00	0,00
2. Kat	1 358,85	1 505,95	489,02	1 314,81	0,00	0,00
1.Kat	1 355,62	1 585,57	527,07	1 309,97	0,00	0,00
Zemin Kat	2 290,43	2 241,05	1 110,75	2 255,36	0,00	222,07
Bodrum Kat	2 406,02	2 121,61	3 497,09	2 376,28	19 717,44	121,17
Toplam (m³)	9 348,99	9 023,23	6 447,46	8 433,99	19 717,44	343,24

Çizelge 5.6'dan katların donatı ağırlıklarını hesaplayacak olursak;

Donatı ağırlığı için birim = 1 000 kg = 1 t = 9,81 kN

3. Katın döşeme donatı ağırlığı = 1 938,07 kg = 1,93 t

2. Katın döşeme donatı ağırlığı = 1 358,85 kg = 1,35 t

1. Katın döşeme donatı ağırlığı = 1 355,62kg = 1,35 t

Zemin Katın döşeme donatı ağırlığı = 2 290,43 kg = 2,29 t

3. Katın kiriş donatı ağırlığı = 1 569,05 kg = 1,56 t

2. Katın kiriş donatı ağırlığı = 1 505,95 kg = 1,50 t

1. Katın kiriş donatı ağırlığı = 1 585,57 kg = 1,58 t

Zemin Katın kiriş donatı ağırlığı = 2 241,05 kg = 2,24 t

3. Katın perde ve kolon donatı ağırlığı = 2 001,10 kg = 2,00 t

2. Katın perde ve kolon donatı ağırlığı = 1 803,83 kg = 1,80 t

1. Katın perde ve kolon donatı ağırlığı = 1 837,04 kg = 1,83 t

Zemin Katın perde ve kolon donatı ağırlığı = 3 366,11 kg = 3,36 t

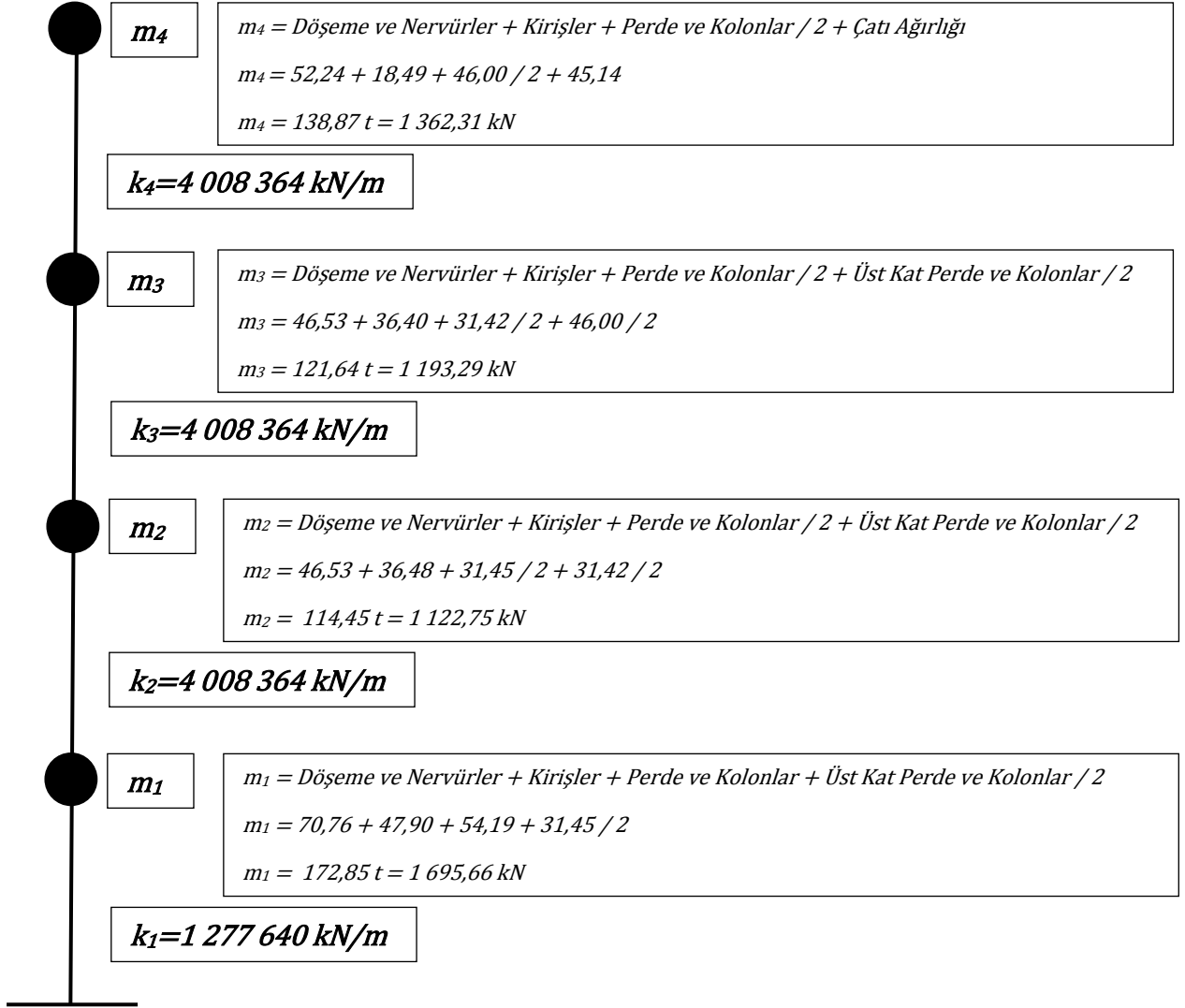
Çatı ağırlığını yaklaşık olarak hesap edecek olursak;

Çatı öz yükü ağırlığı = 0,035 t/m². Çatı kaplama yükü ağırlığı = 0,050 t/m²

Çatı kar yükü ağırlığı = 0,075 t/m². Çatı rüzgâr yükü ağırlığı = 0,080 t/m²

Toplam çatı yükü ağırlığı = 0,24 t/m² . Bina 3. Normal kat toplam alanı = 188,07 m²

olduğuna göre; Çatı toplam ağırlığı = 188,07 x 0,24 = 45,14 t



Şekil 5.5. Bina II'nin beton ve donatı ağırlıkları ile oluşturulmuş toplanmış kütle modeli

Yapının kütle matrisi (M) ve rijitlik matrisi (K), Eş.5.10 ve Eş.5.11'de verilmiştir.

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} 1\,695,66 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1\,122,75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1\,193,29 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1\,362,31 \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

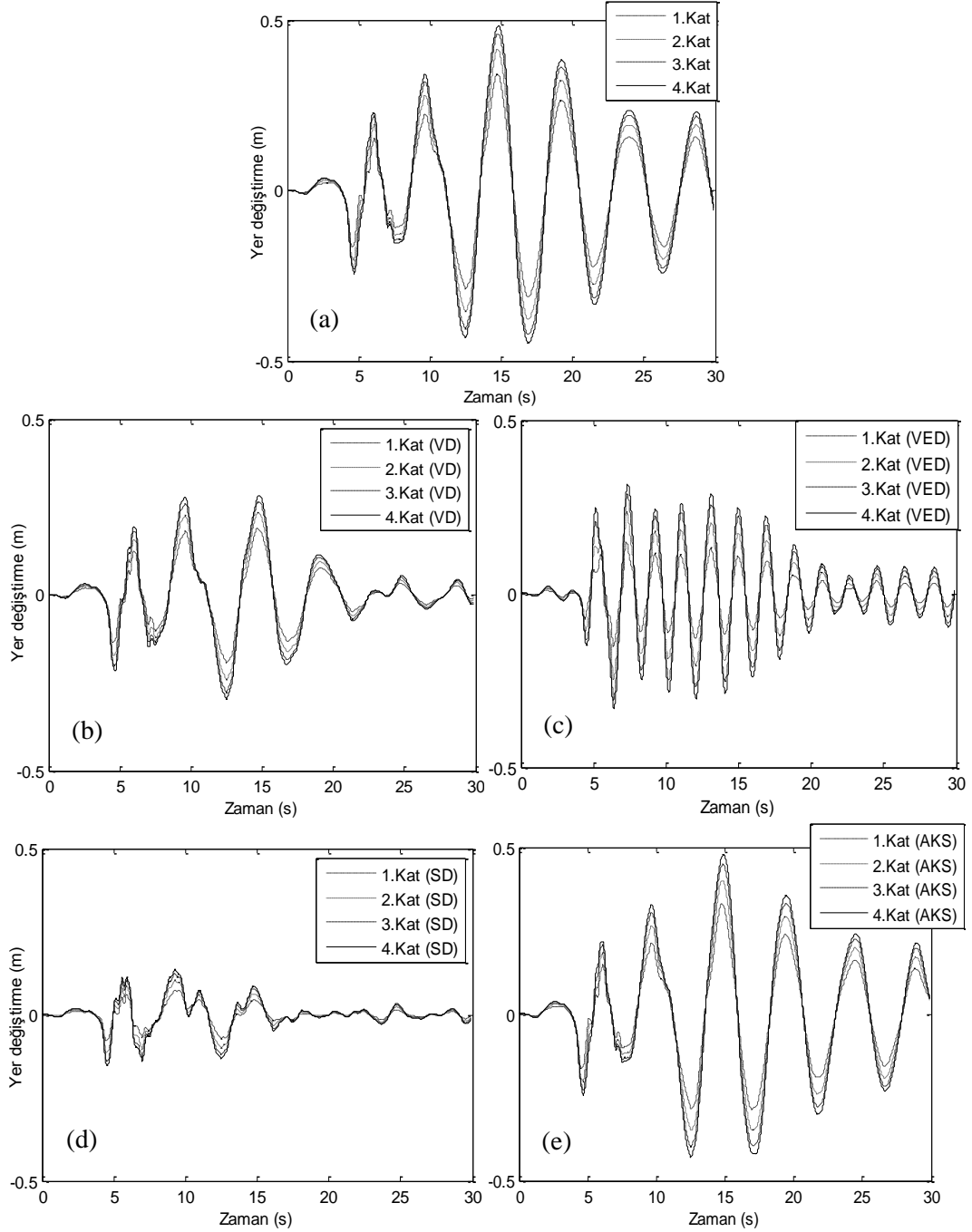
$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} 5\,286\,004 & -4\,008\,364 & 0 & 0 \\ -4\,008\,364 & 8\,016\,728 & -4\,008\,364 & 0 \\ 0 & -4\,008\,364 & 8\,016\,728 & -4\,008\,364 \\ 0 & 0 & -4\,008\,364 & 4\,008\,364 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Bina II için oluşturulmuş toplanmış kütle modelinden de görüldüğü üzere yumuşak kat düzensizliğine sahip bodrum kat üstü toplam 4 katlı bir binadır (Bkz. Resim 5.2).

Rayleigh Yöntemiyle hesaplanan sönüm matrisi (C) aşağıda verilmiştir.

$$C = \begin{bmatrix} 109\,779,65 & -69\,672,67 & 0 & 0 \\ -69\,672,67 & 139\,345,34 & -69\,672,67 & 0 \\ 0 & -69\,672,67 & 139\,345,34 & -69\,672,67 \\ 0 & 0 & -69\,672,67 & 69\,672,67 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

Bina II örneğinin tüm katlarının *1999 Düzce Depremi* etkisi altındaki damperli ve dampersiz yerdeğiştirme-zaman grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.6. Bina II'nin, (a) dampersiz, (b) viskoz damperli, (c) viskoelastik damperli, (d) sürtümlü damperli, (e) ayarlı kütle sönümleyicili, yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü üzere, yerdeğiştirme cevaplarındaki en büyük azalma *Sürtünmeli Damper (SD)* eklendiği durumda gözlenmiştir. Çizelge 5.7’de dampersiz ve damperli binanın tüm katlarında meydana gelen en büyük yerdeğiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri verilmiştir. Ayrıca parantez içinde damperli binada oluşan cevapların dampersiz binaya göre azalım oranları yüzde olarak belirtilmiştir. Bu duruma göre, kütle düzensizliğine sahip bu binada, deprem etkisi altında en iyi sönümlemeyi sürtünmeli damper gerçekleştirmektedir. Buna ek olarak, katlar arası yerdeğiştirmede en büyük azalımın sürtünmeli damper eklendiği durumda olduğu ifade edilebilir.

Çizelge 5.7. Bina II’ nin damper tiplerine göre katlarında oluşan en büyük yerdeğiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri

Bina Cevabı		Dampersiz	Viskoz Damper		VED (%)	SD (%)	AKS (%)
			DVD (%)	DOVD (%)			
Yerdeğiştirme (m)	1. Kat	0,342	0,195 (42,98)	0,195 (42,98)	0,155 (54,68)	0,079 (76,90)	0,329 (3,80)
	2. Kat	0,413	0,243 (41,16)	0,243 (41,16)	0,249 (39,71)	0,115 (72,15)	0,401 (2,91)
	3. Kat	0,459	0,277 (39,65)	0,277 (39,65)	0,307 (33,12)	0,139 (69,72)	0,451 (1,74)
	4. Kat	0,482	0,297 (38,38)	0,297 (38,38)	0,329 (31,74)	0,152 (68,46)	0,479 (0,62)
Taban Kesme Kuvveti ($\times 10^5$ N)		9,04	5,15 (43,03)	5,15 (43,03)	16,80 (85,84)	2,08 (76,99)	8,72 (3,54)

Bina II’ nin her katına eklenen viskoz damperlerin (DVD ve DOVD) ve eşdeğer sönüm oranına göre sürtünmeli damperin eşdeğer viskoz damper kapasiteleri Çizelge 5.8’ de gösterilmektedir. Sürtünmeli Damper (SD) için eşdeğer viskoz sönüm katsayısı kat rijitliklerine bağlı olduğundan, bu binada katlardaki sönüm katsayısı farklılıklar gösterir.

Çizelge 5.8. Bina II' nin her katına eşdeğer damper (c_{eq}) kapasiteleri

Damper Kapasiteleri	DVD	DOVD	SD
1. Kat	2.58	1.36	4.72
2. Kat	2.58	1.36	14.80
3. Kat	2.58	1.36	14.80
4. Kat	2.58	1.36	14.80
Toplam ($\times 10^5$ Ns/m)	10.32	5.44	49.12

Ele alınan Bina II örneği yapı tipi bir bina olduğu için *1. Mod* etkin moddur.

Bina II için *doğal titreşim periyodu* (T_{II}) aşağıda verilmiştir.

$$T_{II} = \begin{bmatrix} 4.6392 \\ 1.4284 \\ 0.8005 \\ 0.5921 \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

6 SONUÇ

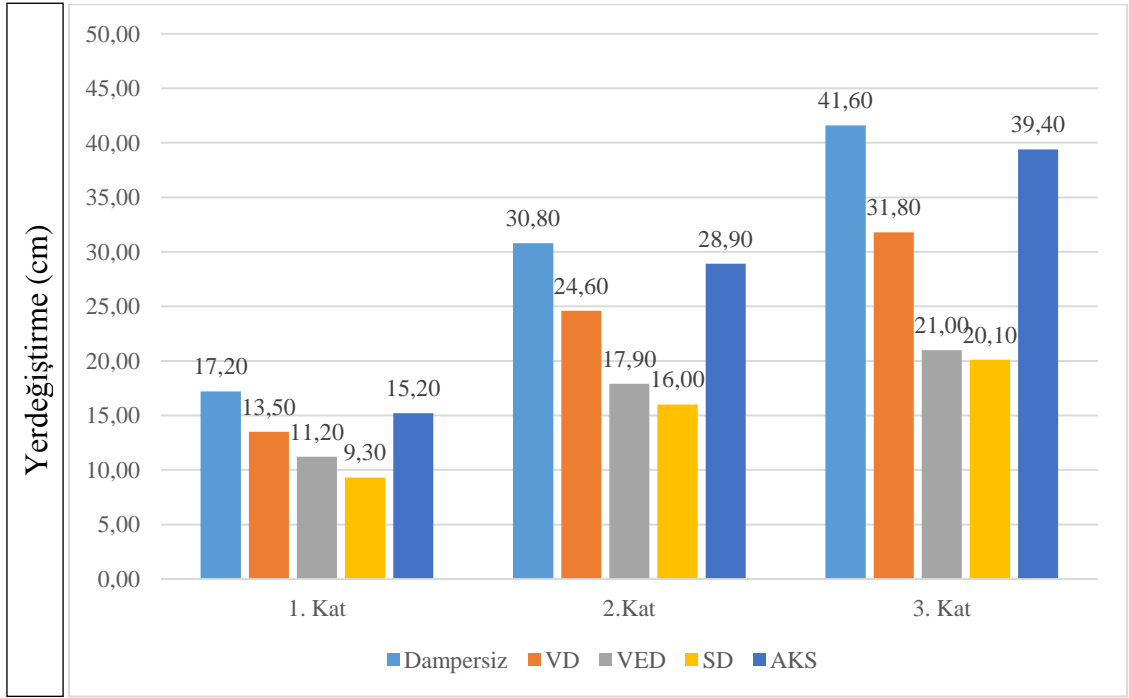
Depremler günümüzde nerede ve ne zaman karşılaşacağımızı bilemediğimiz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Şehirleşme alanlarının büyüdüğü dünyamızda barınma alanlarına ihtiyaç arttıkça, deprem sırasında en büyük riski binaların çökmesi sonucu insanların hayatlarını kaybetmesi olarak söyleyebiliriz. Bu tez çalışması “Düşeyde düzensiz binaların deprem sırasındaki performansları pasif enerji sönümleyiciler ile nasıl ve ne kadar iyileştirilir?” sorusuna cevap bulmak için yapılmıştır.

Depremlerin binalar üzerindeki etkisi biraz karmaşıktır fakat mühendisler bunu anlamak için *Toplanmış Kütle Modeli* ve benzer basitleştirilmiş modeller kullanarak depreme karşı binaların tepkisini tahmin etme yolunu izlemişlerdir. Deprem anında meydana gelen bina çökmelerinin birçoğu aslında depremin kendisinden kaynaklanmaz. Binanın zemini sallandığında yapıda şok dalgalar ilerleyerek ileri geri titreşimlere neden olur bu da alt ve üst katlarda farklı deplasmanlar oluşmasına sebebiyet verir.

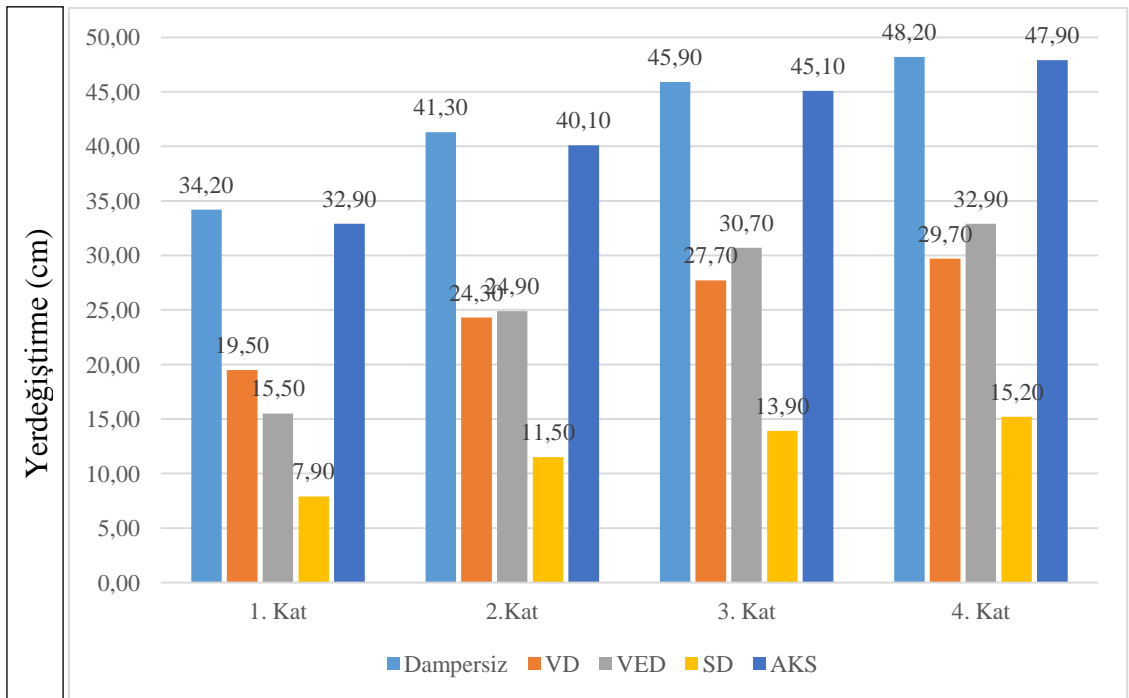
Bu tez çalışmasında DBYBHY-2007’de tanımlanan “*Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları*” koşullarından *B1 tipi Zayıf Kat Düzensizliği* ve *B2 tipi Yumuşak Kat Düzensizliğine* sahip iki bina örneği ele alınmıştır. Binaların dinamik analizlerini yapmak üzere toplanmış kütle-rijitlik modelleri oluşturulmuştur. Analizler *MATLAB* programı kullanılarak yapılmış olup binaların *kütle matrisleri (M)*, *rijitlik matrisleri (K)* ve *Rayleigh Yöntemiyle* binaların *sönüm matrisleri (C)* oluşturulmuştur. Sistem cevapları *1999 Düzce Depremi* ivme kayıtlarına göre altında, *Newmark- β Nümerik İntegrasyon Metodu* ile zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Her iki bina örneğinin tüm katlarının *1999 Düzce Depremi* etkisi altındaki damperli ve dampersiz yerdeğiştirme-zaman grafikleri oluşturulmuştur.

Binaların damperli ve dampersiz durumları için yerdeğiştirme azalım oranları Çizelge 6.1 ve 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Bina I'in dampersiz ve damperli durumları için yerdeğiştirme azalım oranlarının karşılaştırılması



Çizelge 6.2. Bina II' nin dampersiz ve damperli durumları için yerdeğiştirme azalım oranlarının karşılaştırılması



KAYNAKLAR

- [1] Derdiman, M.K., 2006, “Düzensiz Çok Katlı Betonarme Yapıların Davranışının Taban İzolatörleri. Enerji Sönümleyici ve Dağıtıcılarla İyileştirilmesi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 53-58.
- [2] Aldwaik. M. and Adeli. H., 2016, “Cost Optimization of Reinforced Concrete Flat Slabs of Arbitrary Configuration in Irregular High-Rise Building Structures”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 54 (1): 151-164.
- [3] Aydın. K.. 2007, “Evaluation of Turkish Seismic Code for Mass Irregular Buildings”, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 220-234.
- [4] Barbagallo. F.. Bosco. M.. Marino. E.M. Rossi. P.P. and Stramondo. P.R., 2016, “Seismic Upgrading of Vertically Irregular Existing R.C. Frames By Brbs”, *Seismic Behaviour and Design of Irregular and Complex Civil Structures II*, 181-192.
- [5] Daniel. Y. and Lavan. O., 2015, “Optimality Criteria Based Seismic Design of Multiple Tuned-Mass-Dampers for The Control of 3D Irregular Buildings”, *Earthquakes and Structures*, 77-100.
- [6] Das. S. and Nau. J.M., 2003, “Seismic Design Aspects of Vertically Irregular Reinforced Concrete Buildings”, *Earthquake Spectra*, 455-477.
- [7] Ferraioli. M., 2015, “Case Study of Seismic Performance Assessment of Irregular RC Buildings: Hospital Structure of Avezzano (L’Aquila. Italy)”, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 141-156.
- [8] Georgoussis. G.K., 2016, “An Approximate Method for Assessing The Seismic Response of Irregular in Elevation Asymmetric Buildings”, *Geotechnical Geological and Earthquake Engineering, Seismic Behavior and Design of Irregular and Complex Civil StructuresII*, 111-122.
- [9] Kasinos. S.. Palmeri. A. and Lombardo. M., 2016, “Seismic Response of Subsystems in Irregular Buildings”, *Proceedings of The Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 169 (8): 643-654.
- [10] Lavan. O., 2015, “Optimal Design of Viscous Dampers and Their Supporting Members for The Seismic Retrofitting of 3D Irregular Frame Structures”, *Journal of Structural Engineering*, 141.

- [11] Nezhad. M.E. and Poursha. M., 2015, "Seismic Evaluation of Vertically Irregular Building Frames with Stiffness. Strength. Combined-Stiffness-and-Strength and Mass Irregularities", *Earthquakes and Structures*, 353-373.
- [12] Thuat. D.V., 2013, "Story Strength Demands of Irregular Frame Buildings Under Strong Earthquakes", *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22 (9): 687-699.
- [13] Bigdeli. Y. and Kim. D., 2014, "Active Control of 3D Irregular Building by Using Energy Based Neuro-Controller", *Advances in Structural Engineering*, 17 (6): 837-849.
- [14] Bigdeli. Y.. Kim. D. and Chang. S., 2014, "Vibration Control of 3D Irregular Buildings by Using Developed Neuro-Controller Strategy", *Structural Engineering and Mechanics*, 49 (16): 687-703.
- [15] Lavan. O. and Levy. R., 2005, "Optimal Desing of Supplemental Viscous Dampers for Irregular Shear-Frames in The Presence of Yielding", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Dyn.2005, 34: 889-907.
- [16] Lin. C.C.. Ueng. J.M. and Huang. T.C., 1999, "Seismic Response Reduction of Irregular Buildings Using Passive Tuned Mass Dampers", *Engineering Structures*, 22: 513-524.
- [17] Pnevmatikos. N.G. and Hatzigeorgiou. G.D., 2014, "Seismic Response of Active or Semi Active Control for Irregular Buildings Based on Eigenvalues Modification", *Earthquakes and Structures*, 6 (6): 647-664.
- [18] Yoshida. O. and Dyke. S.J., 2005, "Response Control of Full-Scale Irregular Buildings Using Magnetorheological Dampers", *Journal of Structural Engineering*, 131 (5): 734-742.
- [19] DBYBHY-2007, 2007, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007", *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, Yayın Tarihi : 06.03.2007, Resmi Gazete No : 26454, 6-9.
- [20] İnan. T. ve Korkmaz. K., 2012, "Düşey Doğrultudaki Yapı Düzensizliklerinin İncelenmesi", *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28 (3): 240-248.
- [21] Doğan. M.. Kıraç. N.. ve Gönen. H., 2002, "Soft-Storey Behaviour in an Earthquake and Samples of İzmit-Düzce", *ECAS Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [22] Kaplan. S.A., 2010, "Mevcut Binaların Depreme Karşı Güvenceye Alınmasında Binayı Sırtlayıp Kucaklayıp Depremi Emniyetle Savacak Yeni Bir Güçlendirme Yöntemi", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 1-2: 47-55, Türkiye.
- [23] Ambrose. J. and Vergun. D., 1985, "Seismic Design of Buildings.U John Wiley & Sons", New York, A.B.D.

[24] Dowrick. D.J., 1987, “Earthquake Resistant Design for Engineers and Architects. John Wiley & Sons”, Chichester, A.B.D.

[25] Çağatay. İ.H. ve Güzeldağ. S., 2002, “Yeni Deprem Yönetmeliği SAP2000 Uygulamaları”, *Birsen Yayınları*, Adana, Türkiye.

[26] İnternet : “TDY 2007 Taşıyıcı Sistem Düzensizlikleri”,
<https://konya.edu.tr/storage/files/department/insaatmuhendisligi/editor/DersSayfaları/DepremMuhGir/TDY%202007.pdf>

[27] Bachman. H., 2003, “Seismic Conceptual Design of Buildings-Basic Principles for Engineers, Architects, Building Owners and Authorities. Swiss Federal Office for Water and Geology”, Vertrieb, Bern, Swiss.

[28] Üner. E., 2009, “Düşeyde Düzensiz Betonarme Bir Binanın Deprem Etkisi Altındaki Yapısal Performansının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 10-22.

[29] UBC-97, 1997, “Uniform Building Code-97”, *International Council of Building Officials*, California, USA.

[30] EC-8, 1998, “Eurocode-8”, *Design of Structures for Earthquake Resistance*, Brussels, Belgium.

[31] Aldemir. Ü. ve Aydın. E.. 2005, “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı:435, 81-89.

[32] Okut. O.. 2006, “Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Sismik Etkiler Altındaki Betonarme Yapılarda Performansının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 66.

[33] Shen. K.L.. and Soong T.T., 1995, “Modeling of Viscoelastic Dampers for Structural Application”, *J. Engrg. Mech.*, ASCE, 121 (6): 694-701.

[34] İnternet: “Mühendislik Harikaları - İnşaat Kulisi”,
<http://insaatkulisi.blogspot.com.tr/p/muhendislik-harikalar.html>

[35] İnternet : “Taipei 101 – Wikipedia”,
https://www.google.com.tr/search?q=ayarlı%C4%B1+k%C3%BCtle+s%C3%B6n%C3%BCmleyici+TMD&biw=1600&bih=742&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjsj5_vsevRAhWFSRoKHV9mAI4Q_AUIBigB&safe=active&ssui=on#safe=active&tbm=isch&q=taipei+101+bins%C4%B1+taiwan&imgsrc=78twr5uBzwrK7M:

[36] İnternet : “Linear Model”,

https://www.google.com.tr/search?q=1999+D%C3%9CZCE+DEPREM%C4%B0+bolu+is+tasyonu+kuzey+g%C3%BCney+B%C4%B0LE%C5%9EEN%C4%B0+%C4%B0VME+K+AYDI&espv=2&source=İnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjYia-ErZLTAhXK1iwKHbCjCGgQ_AUIBygC&biw=1600&bih=731&safe=active&ssui=on#safe=active&tbm=isch&q=1999+D%C3%9CZCE+DEPREM%C4%B0+%C4%B0VME+K+AYDI&imgc=uriCcZ7ogNUn9M:

[37] Federal Emergency Management Agency, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Rep. No. 273/274, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C, 1997.

[38] Federal Emergency Management Agency, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, Washington D.C, 2000.

[39] Kandemir-Mazanoglu E.C., Mazanoglu K., 2010, “An Optimization Study for Viscous Dampers Between Adjacent Buildings”, Mechanical Systems and Signal Processing, 89: 88-96.

[40] Chang, K.C., Lin, Y.Y., Lai, M.L., 1998, “Seismic Analysis and Design of Structures with Viscoelastic Dampers”, Journal of Earthquake Technology, 35 (4): 143-166.

[41] Min, K.-W., Seong, Y.-J., Kim, J., 2010, “Simple Design Procedure of a Friction Damper for Reducing Seismic Responses of a Single-Story Structure”, Engineering Structures, 32: 3539-3547.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KOÇAN, Hakan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 15.02.1975, Uşak
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (535) 787 69 59
e-mail : hakan.kocan@mynet.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi	1998
Lise	Banaz Sağlık Meslek Lisesi	1994

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2010–2017	Uşak Sağlık Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi
2008–2010	Hatay Sağlık Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi
1997–2008	Uşak Sağlık Müdürlüğü	Sağlık Memuru

Yabancı Dil

İngilizce