

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DEPREM YALITIMLI VE EK SÖNÜMLEYİCİLİ OLARAK TASARLANAN
İKİ YAPININ GENEL YAPI PARAMETRELERİ ÜZERİNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan Özgür İRİDERE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DEPREM YALITIMLI VE EK SÖNÜMLEYİCİLİ OLARAK TASARLANAN
İKİ YAPININ GENEL YAPI PARAMETRELERİ ÜZERİNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ramazan Özgür İRİDERE
(501191051)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ

ŞUBAT 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**COMPARISON OF TWO STRUCTURES DESIGNED AS SEISMICALLY
ISOLATED AND WITH SUPPLEMENTARY DAMPING SYSTEM
IN TERMS OF GLOBAL STRUCTURAL RESPONSE PARAMETERS**

M.Sc. THESIS

**Ramazan Özgür İRİDERE
(501191051)**

Department of Civil Engineering

Structural Engineering Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ

FEBRUARY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501191051 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ramazan Özgür İRİDERE, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DEPREM YALITIMLI VE EK SÖNÜMLEYİCİLİ OLARAK TASARLANAN İKİ YAPININ GENEL YAPI PARAMETRELERİ ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ülgen Mert TUĞSAL
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 05 Ocak 2024
Savunma Tarihi : 02 Şubat 2024





Aileme,



ÖNSÖZ

Tüm yüksek lisans sürecim boyunca ve yine lisans eğitimimden bu yana kıymetli rehberliği ile bana yol gösteren ve akademik bilgisini benimle paylaşan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ'a içten teşekkürlerimi sunarım. Yine kendisine tüm tez sürecim boyunca bana gösterdiği anlayış ve destekleyici tutumu için ayrıca minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Hayatımın her anında bana olan sevgi ve güvenlerini hissettiğim ve her daim yanımda olan, tez sürecim boyunca ise bana olan desteklerini daha yoğun hissettiğim sevgili aileme teşekkür ederim.

Lisans eğitimimden bu yana bana bilgi ve desteklerini esirgemeyen sayın meslektaşım ve kıymetli arkadaşım Araş. Gör. Mehmet ORUÇ'a teşekkür ederim.

İTÜ'de araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladığım sırada tanıştığım sayın meslektaşlarım Araş. Gör. Sinan Emre ÇANKAYA ve Araş. Gör. Göktuğ ÜNAL'a yalnızca tez çalışmam ile alakalı değil tüm konularda bana verdikleri destekler için teşekkür ederim. Yine Araş. Gör. Göktuğ ÜNAL'a tez çalışmam sırasında kullandığım hesap gücünü sağladığı için ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Sayın Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ülgen Mert TUĞSAL'a tez jürim olmayı kabul ettikleri ve kıymetli değerlendirmeleri ile gelecek çalışmalar için verdikleri değerli öneriler için çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitim sürecimde beni 2210A (2020/1) Genel Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ocak 2024

Ramazan Özgür İRİDERE
İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxiii
ÖZET	xxvii
SUMMARY	xxxii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür İncelemesi.....	2
1.2 Amaç ve Kapsam	5
2. DEPREM YALITIMI VE EK SÖNÜMLEME.....	7
2.1 Yapısal Kontrol Sistemleri	7
2.2 Aktif Yapısal Kontrol Sistemleri.....	10
2.3 Yarı-aktif yapısal kontrol sistemleri.....	11
2.4 Pasif yapısal kontrol sistemleri	12
2.4.1 Deprem yalıtımı	12
2.4.1.1 Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimi.....	13
2.4.2 Ek sönümleme.....	16
2.4.2.1 Sıvı viskoz sönümleyici	18
3. DEPREM YALITIMI VE EK SÖNÜMLEME.....	21
3.1 Yapı Bilgisi	21
3.1.1 Yapı genel bilgisi	21
3.1.2 Yapı düşey statik yükleri.....	24
3.1.3 Kolon boyutlandırması.....	25
3.2 Yapı Deprem Tasarım Parametreleri.....	28
3.2.1 Deprem tasarım kriterleri	28
3.2.2 Deprem tehlikesinin belirlenmesi	30
3.2.3 Deprem yer hareketi seçimi ve ölçeklendirilmesi.....	32
3.3 Deprem Yalıtımlı Yapı.....	39
3.3.1 Malzeme özellikleri.....	39
3.3.2 Ön tasarım	41
3.3.3 Modelleme ve analiz yöntemi	44
3.3.3.1 Modelleme.....	44
3.3.3.2 Analiz	49
3.3.4 Birim şekil değiştirme ve düşey kararlılık kontrolleri	51
3.3.4.1 Kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri	51
3.3.4.2 Birim şekil değiştirme sınırlarının kontrolü.....	55
3.3.4.3 Düşey kararlılık kontrolleri	62
3.4 Ek Sönümleyicili Yapı	65

3.4.1 Malzeme özellikleri.....	65
3.4.2 Ön tasarım	67
3.4.3 Modelleme ve analiz yöntemi	73
3.4.3.1 Modelleme.....	73
3.4.3.2 Analiz	78
3.4.4 Boyut kontrolleri	81
3.4.4.1 Kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri	81
3.4.4.2 Boyut kontrolü.....	83
4. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA	87
4.1 Genel Bakış	87
4.2 Deprem Yalıtımlı Yapı	87
4.2.1 Taban kesme kuvveti.....	88
4.2.2 Kat kesme kuvvetleri.....	93
4.2.3 Görelî kat ötelemeleri.....	97
4.2.4 Kat ivmeleri.....	100
4.2.5 Enerji dengeleri	102
4.3 Ek Sönümleyicili Yapı	104
4.3.1 Taban kesme kuvveti.....	105
4.3.2 Kat kesme kuvvetleri.....	111
4.3.3 Görelî kat ötelemeleri.....	114
4.3.4 Kat ivmeleri.....	118
4.3.5 Enerji dengeleri	120
4.4 Deprem Yalıtımlı Yapı ile Ek Sönümleyicili Yapının Karşılaştırılması.....	122
4.4.1 Taban kesme kuvvetleri	123
4.4.2 Kat kesme kuvvetleri.....	124
4.4.3 Görelî kat ötelemeleri.....	126
4.4.4 Kat ivmeleri.....	128
4.4.5 Enerji dengeleri	131
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	135
5.1 Sonuçlar.....	135
5.2 Öneriler.....	140
KAYNAKLAR.....	143
ÖZGEÇMİŞ.....	149

KISALTMALAR

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
AISC	: American Society of Civil Engineers
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BÖÇ	: Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeveler
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
ETABS	: Extended 3-Dimensional Analysis of Building System
FPS	: Friction Pendulum System
FVD	: Fluid Viscous Damper
ISO	: International Organization for Standardization
JT	: Joshua Tree
KÇE	: Kurşun Çekirdekli Elastomer tipi Yalıtım Birimi
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
MCEER	: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research
MVFS	: Morongo Valley Fire Station
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
NLRHA	: Nonlinear Response History Analysis/Analyses
RHA	: Response History Analysis/Analyses
SEI	: Structural Engineering Institute
SFRS	: Seismic Force Resisting System
ŞGDT	: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TBEC	: Turkish Building Earthquake Code
TS	: Türk Standardı
YSE	: Yüksek Sönümlü Elastomer tipi Yalıtım Birimi
ZTA	: Zaman Tanım Alanında Analiz
ZTADOA	: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz/Analizler



SEMBOLLER

A_p	: Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinde kurşun çekirdeğin alanı
A_r	: Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı
b	: Yapının en uzun plan boyu d 'ye dik doğrultudaki en kısa plan boyu
B	: Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı
B_{V+I}	: İçsel sönüm ile göz önüne alınan doğrultu için yapı birincil moduna karşılık gelen viskoz sönümün toplamından oluşan etkin sönüm için sayısal katsayı
B_L	: Kurşun çekirdeki çapı
C	: Sıvı viskoz sönümleyicide sönüm katsayısı
C_d	: Yerdeğiştirme büyütme faktörü
d	: Yapının en uzun plan boyu
D	: Yalıtım birimi için yerdeğiştirme değeri
D	: Dayanım Fazlalığı Katsayısı
$DD-1$	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu) 2475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyi
$DD-2$	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu) 475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyi
D_M	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme
D_{TM}	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
D_y	: Kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimi akma yerdeğiştirmesi
D_{5-95}	: Deprem anlamlı süresi
e	: Üstyapı ağırlık merkezi ile yalıtım sistemi rijitlik merkezi arasında ölçülen dış merkezlik ile deprem yüklemesine dik doğrultudaki plan boyutunun %5'i olarak hesaplanan ek dış merkezliğin toplamı
E_c	: Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü
E_v	: Elastomer yalıtım birimi düşey rijitlik modülü
F	: Yalıtım biriminde D yerdeğiştirmesine karşılık gelen yatay kuvvet

F	: Sıvı viskoz sönümleyicide eksenel kuvvet
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_y	: Etkin akma dayanımı
F_1	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
F_Q	: Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı
G_v	: Elastomer malzemenin kayma modülü
h_i	: Binanın i 'inci katının kat yüksekliği
H_N	: Bina Toplam Yüksekliği
I	: Bina Önem Katsayısı
k_e	: D yerdeğiştirmesine karşılık gelen rijitlik
k_v	: Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği
k_2	: Elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği
K	: Çapraz eleman eksenel rijitliği
K_{yatay}	: Kat yanal rijitliği
M_w	: Deprem moment magnitüdü
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
P	: Düşey yük ve deprem yükünün ortak etkisi altında meydana gelen en büyük düşey yük
P_{cr}	: Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
P'_{cr}	: Yatay yerdeğiştirme olduğu durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
P_{str}	: Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekildeğiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R_{jb}	: Joyner-Boore mesafesi
R_{rup}	: Fay kırığına en yakın mesafe
S	: Şekil katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	: 1.0 saniye için harita spektral ivme katsayısı
$S_{ae}(T)$	: %5 sönüm için yatay spektral ivme
t	: Elastomer katman kalınlığı
$T, T_p, T_{ps,m}$	: Binanın hakim doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu

T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_M	: En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu
T_r	: Toplam elastomer kalınlığı
T_{ID}	: Göz önüne alınan doğrultu için tasarım depremi yerdeğiştirmesi seviyesinde yapı temel titreşim modu etkin periyodu
T_{IM}	: Göz önüne alınan doğrultu için en büyük deprem yerdeğiştirmesi seviyesinde yapı temel titreşim modu etkin periyodu
v	: Sönümleyici uç noktaları arasındaki görelî hız
V	: Göz önüne alınan doğrultudaki taban kesme kuvveti
$(V_s)_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
W	: Binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığı
W_d	: Yalıtım biriminde bir yükleme döngüsünde tüketilen enerji miktarı
y	: Yalıtım sistemi rijitlik merkezi ile ilgili eleman arasındaki deprem yüklemesine dik doğrultudaki uzaklık
α	: Sıvı viskoz sönümleyicide hız üssü
β_e	: Etkin sönüm oranı
$\gamma_{c,st}$	: Basıncıtan meydana gelen açısal şekildeğiştirme
$\gamma_{r,st}$	: Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme
$\gamma_{s,st}$	: Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısal şekildeğiştirme
$\gamma_{s,E}$	: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme
Δ	: Görelî kat ötelemesi
Δ_s	: Yatay yüklemekten meydana gelen yatay yerdeğiştirme miktarı
ϵ_b	: Elastomer malzemenin kopma birim şekildeğiştirme değeri
θ_s	: Tasarım dönme açısı
λ	: Özellik değışim katsayısı
ξ	: Sönüm oranı
τ_{yp}	: Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Sabit yükler.....	24
Çizelge 3.2 : Hareketli yükler.....	24
Çizelge 3.3 : Kolon enkesit boyutları (cm×cm).	26
Çizelge 3.4 : Kat sismik ağırlıkları (kN).	27
Çizelge 3.5 : DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için yatay elastik tasarım spektrum parametreleri.	30
Çizelge 3.6 : Zaman tanım alanında analizler için seçilen deprem yer hareketleri ve karakteristikleri.	33
Çizelge 3.7 : Deprem yalıtımlı yapının zaman tanım alanında analizleri için kullanılan ölçek katsayıları.	35
Çizelge 3.8 : Ek sönümleyicili yapının zaman tanım alanında analizleri için kullanılan ölçek katsayıları.	37
Çizelge 3.9 : Elastomer malzemeye ait nominal malzeme özellikleri ile özellik değişim katsayıları.....	41
Çizelge 3.10 : Kurşun malzemeye ait nominal malzeme özellikleri ile özellik değişim katsayıları.....	41
Çizelge 3.11 : $1.4G + 1.6Q$ yük birleşimi altında deprem yalıtım birimlerinde elde edilen düşey kuvvet.	57
Çizelge 3.12 : Deprem yalıtım birimlerinde basınçtan meydana gelen açılmalarda şekil değiştirme.	57
Çizelge 3.13 : Deprem yalıtım birimlerinde depremsiz durumda oluşan toplam birim şekil değiştirme.	58
Çizelge 3.14 : ZTADOA sonucu elde edilen yalıtım birimi yer değiştirmesi.	59
Çizelge 3.15 : Yalıtım birimi yer değiştirmesi sınır değeri.	60
Çizelge 3.16 : Yalıtım birimi nihai yer değiştirmesi.	60
Çizelge 3.17 : Deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yer değiştirmeden meydana gelen birim şekil değiştirme.	60
Çizelge 3.18 : $1.2G + Q + E_d$ yük birleşimi altında deprem yalıtım birimlerinde elde edilen düşey kuvvet.	61
Çizelge 3.19 : Depremlili durumda tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı.	61
Çizelge 3.20 : Deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekil değiştirme.	61
Çizelge 3.21 : Deprem yalıtım birimlerinde depremlili durumda oluşan toplam birim şekil değiştirme.	61
Çizelge 3.22 : $2.0 \times P_{K1}$ değerleri.....	63
Çizelge 3.23 : Deprem yer hareketi etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü.	64
Çizelge 3.24 : Deprem yer hareketi etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekil değiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi.	64

Çizelge 3.25 : $1.1 \times P_{K2}$ değerleri.	64
Çizelge 3.26 : Sıvı viskoz sönümleyiciye ait nominal malzeme özellikleri ile özellik değişim katsayıları.	66
Çizelge 3.27 : Sıvı viskoz sönümleyici ön tasarımında elde edilen değerlerin özeti (X doğrultusu).	71
Çizelge 3.28 : Sıvı viskoz sönümleyici ön tasarımında elde edilen değerlerin özeti (Y doğrultusu).	72
Çizelge 3.29 : Ek sönümleyicili yapı için elde edilen rijitlik-orantılı doğrusal viskoz sönüm katsayıları.	72
Çizelge 3.30 : Ek sönümleyicili yapıda sıvı viskoz sönümleyici birimleri için elde edilen en büyük eksenel kuvvet değerleri (Üst sınır ve X doğrultusu).	84
Çizelge 3.31 : Ek sönümleyicili yapıda sıvı viskoz sönümleyici birimleri için elde edilen en büyük eksenel kuvvet değerleri (Üst sınır ve Y doğrultusu).	85
Çizelge 4.1 : Deprem yalıtımlı yapı için gerçekleştirilen analizlerin gruplandırılması.	88
Çizelge 4.2 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde 11 deprem kaydı çifti için yalıtım birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile yapılmış analizlere ait taban kesme kuvveti sonuçları.	89
Çizelge 4.3 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde 11 deprem kaydı çifti için yalıtım birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile yapılmış analizlere ait taban kesme kuvveti sonuçları.	90
Çizelge 4.4 : Deprem yalıtımlı yapı taban kesme kuvveti analiz özeti.	91
Çizelge 4.5 : Deprem yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	92
Çizelge 4.6 : Deprem yalıtımlı yapıda elde edilen kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	93
Çizelge 4.7 : Deprem yalıtımlı yapıda üstyapı kat kesme kuvvetlerinin %5 X doğrultusunda dışmerkezlik ve %5 Y doğrultusunda dış merkezlik durumları için kıyaslanması.	96
Çizelge 4.8 : Deprem yalıtımlı yapıda kuvvet artırma katsayıları.	96
Çizelge 4.9 : Deprem yalıtımlı yapıda elde edilen görel kat öteleme/kat yüksekliği değerleri.	99
Çizelge 4.10 : Deprem yalıtımlı yapıda görel kat öteleme artırma katsayıları ve nihai görel kat öteleme/kat yüksekliği değerleri.	99
Çizelge 4.11 : Deprem yalıtımlı yapıda kat ivmelerinin dağılımı.	101
Çizelge 4.12 : Deprem yalıtımlı yapıya ait enerji dengeleri.	103
Çizelge 4.13 : Ek sönümleyicili yapı için gerçekleştirilen analizlerin gruplandırılması.	105
Çizelge 4.14 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde 11 deprem kaydı çifti için sönümleyici birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile yapılmış analizlere ait taban kesme kuvveti sonuçları.	106
Çizelge 4.15 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde 11 deprem kaydı çifti için sönümleyici birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile yapılmış analizlere ait taban kesme kuvveti sonuçları.	107
Çizelge 4.16 : Ek sönümleyicili yapı taban kesme kuvveti analiz özeti.	108
Çizelge 4.17 : Ek sönümleyicili yapıda taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	110
Çizelge 4.18 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (Her iki doğrultu).	111

Çizelge 4.19 : Ek sönümleyici yapıda kat kesme kuvvetlerinin %5 X doğrultusunda dışmerkezlik ve %5 Y doğrultusunda dışmerkezlik durumları için karşılaştırılması.	113
Çizelge 4.20 : Ek sönümleyicili yapıda kuvvet artırma katsayıları.	113
Çizelge 4.21 : Ek sönümleyicili yapıda DD-2 yer hareketi düzeyi için elde edilen görel kat öteleme/kat yüksekliği değerleri.	115
Çizelge 4.22 : Ek sönümleyicili yapı için DD-2 yer hareketi düzeyinde elde edilen görel kat öteleme artırma katsayıları ve nihai görel kat öteleme/kat yüksekliği değerleri.....	116
Çizelge 4.23 : Ek sönümleyicili yapıda DD-1 yer hareketi düzeyi için elde edilen görel kat öteleme/kat yüksekliği değerleri.	117
Çizelge 4.24 : Ek sönümleyicili yapı için DD-1 yer hareketi düzeyinde elde edilen görel kat öteleme artırma katsayıları ve nihai görel kat öteleme/kat yüksekliği değerleri.....	117
Çizelge 4.25 : Ek sönümleyicili yapıda kat ivmelerinin dağılımı.	119
Çizelge 4.26 : Ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengeleri.	120
Çizelge 4.27 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	123
Çizelge 4.28 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait kat kesme kuvveti dağılımlarının karşılaştırılması.	125
Çizelge 4.29 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait görel kat öteleme/kat yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması.....	127
Çizelge 4.30 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapılara ait kat ivmelerinin karşılaştırılması (Alt sınır).....	129
Çizelge 4.31 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapılara ait kat ivmelerinin karşılaştırılması (Üst sınır).	130
Çizelge 4.32 : Deprem yalıtımlı yapı ile ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengelerinin karşılaştırılması (Üst sınır).....	132



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yapısal kontrol sistemlerinin sınıflandırılması (Saaed vd., 2015).	9
Şekil 2.2 : Tipik kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimi kesiti (Güngör vd., 2019).	14
Şekil 2.3 : Montajı tamamlanmış kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimi (Tchamo ve Zhou, 2018).	14
Şekil 2.4 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin çevrimsel yatay yükleme altında davranışı (Güngör vd., 2019).	15
Şekil 2.5 : Elastomer deprem yalıtım birimi kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi (TBDY, 2018).	15
Şekil 2.6 : Tipik sıvı viskoz sönümleyici kesiti (Ocak vd., 2023).	18
Şekil 2.7 : Montajı tamamlanmış sıvı viskoz sönümleyiciler (Taylor, 2022).	18
Şekil 2.8 : Sıvı viskoz sönümleyici kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi (Lin ve Chopra, 2002).	19
Şekil 2.9 : Sıvı viskoz sönümleyici kuvvet-hız eğrisi (Lin ve Chopra, 2002).	20
Şekil 3.1 : Yapı 3 boyutlu modeli.	22
Şekil 3.2 : İlk 3 kat planı.	23
Şekil 3.3 : Çatı katı planı.	23
Şekil 3.4 : A ve E eksenlerine ait taşıyıcı sistem planı.	26
Şekil 3.5 : B, C ve D eksenlerine ait taşıyıcı sistem planı.	26
Şekil 3.6 : 1 ve 7 eksenlerine ait taşıyıcı sistem planı.	27
Şekil 3.7 : 2, 3, 4, 5 ve 6 eksenlerine ait taşıyıcı sistem planı.	27
Şekil 3.8 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumu.	31
Şekil 3.9 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumu.	31
Şekil 3.10 : 11 deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökleri alınarak elde edilen bileşke yatay spektrumlar, ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları.	34
Şekil 3.11 : Ölçeklendirilmiş bileşke yatay spektrumlar, ölçeklendirilmiş ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları (Deprem yalıtımlı yapı).	35
Şekil 3.12 : Ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarına ait ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları (Deprem yalıtımlı yapı).	36
Şekil 3.13 : Ölçeklendirilmiş bileşke yatay spektrumlar, ölçeklendirilmiş ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları (Ek sönümleyicili yapı).	38
Şekil 3.14 : Ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarına ait ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları (Ek sönümleyicili yapı).	38

Şekil 3.15 : Deprem yalıtımlı yapı ön tasarım çevrimi.....	42
Şekil 3.16 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin düşey rijitliğinin modellenmesi (Alt sınır).	46
Şekil 3.17 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin karakteristik dayanım ve yanal rijitliğinin modellenmesi (Alt sınır).	46
Şekil 3.18 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin düşey rijitliğinin modellenmesi (Üst sınır).	47
Şekil 3.19 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin karakteristik dayanım ve yanal rijitliğinin modellenmesi (Üst sınır).	47
Şekil 3.20 : Deprem yalıtımlı yapı 3 boyutlu modeli.	48
Şekil 3.21 : Deprem yalıtım birimi kuvvet-yer değiştirme eğrisi.	48
Şekil 3.22 : Deprem yalıtımlı yapının ZTADOA’i için oluşturulan yükleme durumu örneği (Kocaeli Depremi ve tek doğrultu).	50
Şekil 3.23 : K1 (planda A1 konumunda bulunan) deprem yalıtım birimi zaman-yer değiştirme grafiği (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).	52
Şekil 3.24 : K12 (planda C4 konumunda bulunan) deprem yalıtım birimi zaman-yer değiştirme grafiği (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).	53
Şekil 3.25 : K1 deprem yalıtım birimi Landers MVFS Depremi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).	54
Şekil 3.26 : K12 deprem yalıtım birimi Kocaeli Depremi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).	55
Şekil 3.27 : Ek sönümleyicili yapı ön tasarım çevrimi.	69
Şekil 3.28 : Sıvı viskoz sönümleyici biriminin modellenmesi (Alt sınır).	74
Şekil 3.29 : Sıvı viskoz sönümleyici biriminin modellenmesi (Üst sınır).	75
Şekil 3.30 : Ek sönümleyicili yapı 3 boyutlu modeli.	76
Şekil 3.31 : Ek sönümleme birimlerinin planda yerleşimi.	76
Şekil 3.32 : Ek sönümleme birimlerinin B ve D eksenlerinde yapı yüksekliğince yerleşimi.	76
Şekil 3.33 : Ek sönümleme birimlerinin 2 ve 5 eksenlerinde yapı yüksekliğince yerleşimi.	77
Şekil 3.34 : Ek sönümleme birimi kuvvet-hız ilişkisi.	77
Şekil 3.35 : Ek sönümleme birimi kuvvet-yer değiştirme ilişkisi.	78
Şekil 3.36 : Ek sönümleyicili yapının ZTADOA’i için oluşturulan yükleme durumu örneği (Darfield Depremi ve tek doğrultu).	80
Şekil 3.37 : K1 (1. katta B2 ve B3 eksenleri arasında bulunan) ek sönümleme birimi Landers JT Depremi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).	82
Şekil 3.38 : K16 (4. katta D5 ve D6 eksenleri arasında bulunan) ek sönümleme birimi Manjil Depremi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).	82
Şekil 4.1 : Deprem yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	92
Şekil 4.2 : Deprem yalıtımlı yapıda kat kesme kuvvetlerinin 3 yöntem için kıyaslanması (X doğrultusu).	94
Şekil 4.3 : Deprem yalıtımlı yapıda kat kesme kuvvetlerinin 3 yöntem için kıyaslanması (Y doğrultusu).	94
Şekil 4.4 : Deprem yalıtımlı yapıda kat kesme kuvvetlerinin ek dışmerkezlik etkileri için karşılaştırılması (X doğrultusu).	96
Şekil 4.5 : Deprem yalıtımlı yapıda kat kesme kuvvetlerinin ek dışmerkezlik etkileri için karşılaştırılması (Y doğrultusu).	97
Şekil 4.6 : Deprem yalıtımlı yapıda görel kat ötelemelerinin kontrolü.	100

Şekil 4.7 : Deprem yalıtımlı yapıda kat ivmelerinin dağılımı.	101
Şekil 4.8 : Darfield Depremi için deprem yalıtımlı yapıya ait enerji dengeleri.	103
Şekil 4.9 : Tabas Depremi için deprem yalıtımlı yapıya ait enerji dengeleri.	103
Şekil 4.10 : Hector Mine - Hector Depremi için deprem yalıtımlı yapıya ait enerji dengeleri.....	104
Şekil 4.11 : Ek sönümleyicili yapıda taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	110
Şekil 4.12 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (Her iki doğrultu).	112
Şekil 4.13 : Ek sönümleyicili yapıda kat kesme kuvvetlerinin ek dışmerkezlilik etkileri için karşılaştırılması (X doğrultusu).	113
Şekil 4.14 : Ek sönümleyicili yapıda kat kesme kuvvetlerinin ek dışmerkezlilik etkileri için karşılaştırılması (Y doğrultusu).	114
Şekil 4.15 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen görel kat ötelemelerinin TBDY'ye göre kontrolü.....	116
Şekil 4.16 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen görel kat ötelemelerinin ASCE/SEI 7-22'ye göre kontrolü.	118
Şekil 4.17 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen görel kat ötelemelerinin ve sınır değerlerin karşılaştırılması.....	118
Şekil 4.18 : Ek sönümleyicili yapıda kat ivmelerinin dağılımı.	119
Şekil 4.19 : Hector Mine - Amboy Depremi için ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengeleri.....	121
Şekil 4.20 : Hector Mine - Hector Depremi için ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengeleri.....	121
Şekil 4.21 : Landers - Joshua Tree Depremi için ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengeleri.....	122
Şekil 4.22 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	124
Şekil 4.23 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait kat kesme kuvveti dağılımlarının karşılaştırılması (X doğrultusu).....	125
Şekil 4.24 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait kat kesme kuvveti dağılımlarının karşılaştırılması (Y doğrultusu).....	126
Şekil 4.25 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait görel kat ötelemesi/kat yüksekliği değerlerinin birbirleri ve sınır değerler ile karşılaştırılması (X doğrultusu).	128
Şekil 4.26 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait görel kat ötelemesi/kat yüksekliği değerlerinin birbirleri ve sınır değerler ile karşılaştırılması (Y doğrultusu).	128
Şekil 4.27 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapılara ait kat ivmelerinin karşılaştırılması (Alt sınır).	130
Şekil 4.28 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapılara ait kat ivmelerinin karşılaştırılması (Üst sınır).....	131
Şekil 4.29 : Deprem yalıtımlı yapı ile ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengelerinin karşılaştırılması (Üst sınır).....	132



DEPREM YALITIMLI VE EK SÖNÜMLEYİCİLİ OLARAK TASARLANAN İKİ YAPININ GENEL YAPI PARAMETRELERİ ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Yapı mühendisliğinin temel amacı güvenli ve ekonomik yapılar tasarlamaktır. Bunu gerçekleştirmeye çalışırken mühendisleri en çok zorlayan konuların başında yapıların deprem yer hareketlerine karşı güvenli bir şekilde tasarlanmaları gelmektedir.

Yapılar üzerinde son derece yıkıcı etkileri olabilen depremlere karşı temeli 18. yüzyılın sonlarında atılan modern yapı ve deprem mühendisliği disiplinleri son derece geçerli ve güncel yöntemler ile başarılı olsalar da kimi zaman güvenli ve ekonomik çözümler bulma konusunda zorlanılmakta ve yine bu türden çözümlerin optimizasyonu üzerine çalışmalar da devam etmektedir. Yapı taşıyıcı sistemlerinin yeterli dayanım, rijitlik ve süneklikte, uygun yapı malzemeleri ve tekniklerle güvenli ve ekonomik olarak tasarımı şeklinde ifade edilebilen geleneksel statik taşıyıcı sistemler tasarlama konseptini geliştiren ve sistemlere dinamik elemanların eklenmesi ile hayata geçirilen yapısal kontrol sistemleri depremlere karşı son derece etkin sistemler olarak bu alanda öne çıkmaktadır. Özellikle son 50 yılda önemli gelişmeler gösteren yapısal kontrol sistemlerinden en yaygın ve en çok çalışılmış olanlar pasif yapısal kontrol sistemleridir.

Temel olarak düşük yanal rijitliğe sahip özel elemanların yapıya eklenmesi ve böylece yapı periyodunun artırılarak depremin dinamik etkilerin azaltılması ilkesi ile çalışan deprem yalıtım sistemleri ilk tür pasif yapı kontrol sistemlerini oluşturur. Diğer tür sistemler ise tamamlayıcı sönümleme mekanizmaları ile donatılan yapıların deprem esnasında maruz kaldıkları yerdeğiştirme ve/veya hız özelliklerinden faydalanılarak yapıya aktarılan enerjinin yapı elemanlarından ziyade bu özel elemanlarda sönümlemesini sağlayan ek sönümleyicili sistemlerdir.

Bu tez, pasif kontrol sistemlerinden deprem yalıtımı kapsamında kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimi; ek sönümleme kapsamında ise sıvı viskoz sönümleyici içeren iki yapı sisteminin deprem yer hareketi altında tepkilerini taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, göreceli kat ötelemeleri, kat ivmeleri ve enerji dengeleri gibi genel yapı değişkenleri bakımından karşılaştırmalı olarak incelenmesini sunmaktadır. Yapılardaki temel kullanım amaçları ortak bir şekilde yapı sistemlerinin performansını artırmak olan bu farklı türdeki pasif kontrol sistemlerinin yapı davranışı üzerindeki etkileri çalışmada ortaya konmuştur. Yine özellikle ek sönümleme sistemlerinin yapılarda kullanımı ile ilgili bölgesel bir standart ve/veya kılavuz bulunmadığından tezde, ilgili yapının tasarımında kullanılan ASCE/SEI 7-22 Bölüm 18'in ülkemize uyarlanmasıyla karşılaşılabilecek güçlükler ve deprem yalıtımlı yapı tasarımı konusunda TBDY Bölüm 14 ile ASCE/SEI 7-22 Bölüm 17'nin uygun kısımlarda kıyaslarına yer verilmiştir. Tezin amacı farklı türden pasif kontrol sistemlerinin yapı dinamik davranışında ne tür değişikliklere yol açığının

karşılaştırmalı olarak belirlenmesi ve tezde ele alınan türden yapılarda hangi sistemin kullanımı daha efektiftir sorusunun cevaplanmasıdır.

Tez kapsamında 4 katlı ve 1350 m² plan alanına sahip Afet Planlama İstasyonu olarak kullanılması planlanan hipotetik bir yapı ele alınmıştır. Her iki doğrultuda 7.5 m eksen açıklığına sahip planda ve düşeyde düzensizlik içermeyen yapıda, moment aktaran betonarme çerçeveler taşıyıcı sistem olarak seçilmiştir. TS 500 ve TBDY kurallarına uygun olarak boyutlandırılması gerçekleştirilen yapıda çatıda yer alacak helikopter pisti ve diğer fonksiyonel gereklilikler nedeniyle yüksek hareketli yük dikkate alınmıştır. Deprem tasarım parametreleri TBDY'ye uygun seçilmiştir. Yapı ETABS v21.1.0 yapısal analiz ve tasarım programı ile modellenmiştir.

Deprem tehlikesi TBDY'ye uygun şekilde belirlenen yapının klasik yöntemlerle tasarlanmış üstyapıya sahip, aynı üstyapı ile beraber kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimlerine sahip deprem yalıtımlı ve yine aynı üstyapıya sahip sıvı viskoz sönümleyiciler içeren ek sönümleyicili 3 durumunun zaman tanım alanında (ZTA) analizleri gerçekleştirilmiştir. Burada ek dışmerkezliğin incelenmesi adına gerçekleştirilen analizler de dahil olmak üzere deprem yalıtımlı yapının 176, ek sönümleyicili yapının 176 adet analizi yapılmış; bu analizlerde kullanılan 11 deprem kaydı takımı TBDY'de belirtilen kurallara uygun olarak seçilmiş ve basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir. Modellenen iki tür yapıda da ilgili standartlar izin verdiği biçimde doğrusal olmayan modellemeler pasif kontrol sistemleri birimleri ile sınırlı tutulmuştur. Deprem yalıtımlı yapıda elastomer yapı birimlerinin birim şekildeğiştirme sınırları ile düşey kararlılıkları; ek sönümleyicili yapıda ise sıvı viskoz sönümleyicilerin boyutları kontrol edilmiştir. Her iki tür sistem için de sınır analizleri gerçekleştirilmiştir.

Üç farklı durum için tasarlanarak 400'e yakın zaman tanım alanında analizi gerçekleştirilen yapıya ait sonuçlar incelendiğinde; deprem yalıtımlı yapı için elde edilen taban kesme kuvvetinin, klasik yöntemlerle tasarlanmış üstyapıya sahip yapıya kıyasla %36 daha az olduğu belirlenmiştir. Ek sönümleyicili yapıda ise taban kesme kuvvetindeki azalış %21 mertebelerindedir. Kat kesme kuvvetlerinin yapı yüksekliğince dağılımı bakımından ise ek sönümleyici yapı ile ankastre yapının benzerlik göstererek ters üçgen biçiminde bir dağılıma sahip olduğu, deprem yalıtımlı yapının ise daha üniform bir dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Yine her ne kadar deprem yalıtımlı yapıda taban kesme kuvveti değeri ek sönümleyicili yapıya kıyasla daha az elde edilmiş olsa da kat kesme kuvvetleri ek sönümleyicili yapıda daha düşük elde edilmiştir. Her iki pasif kontrol sistemine sahip yapıda da görel kat ötelemesi değerleri klasik yöntemlerle tasarlanmış yapıya kıyasla önemli oranda azalmıştır. Özellikle deprem yalıtım sistemi, görel kat ötelemelerinin en yüksek değerlerine ulaştığı katta %50 oranında bir azalış sağlamıştır.

Hem deprem yalıtımlı hem de ek sönümleyicili yapıda deprem esnasında oluşması beklenen kat ivmeleri klasik yapıya kıyasla daha düşük elde edilmiştir. Tüm katlara ait ortalamalar göz önüne alındığında, ek sönümleyicili yapıda ivme azalışı her iki sınır durum için de %20 mertebelerinde iken deprem yalıtımlı yapıda üst sınır analizinde %55, alt sınır analizinde ise %8 mertebelerindedir. Her iki yapı için enerji dengeleri incelendiğinde ise çıkarılan sonuç deprem yalıtımlı yapının ek sönümleyicili yapıya kıyasla beklenildiği üzere daha az deprem enerjisi girdisine maruz kaldığıdır. Deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapı arasındaki bu enerji girdisi farkının %23 dolaylarında olduğu belirlenmiştir. Yine genel yapı parametreleri sonuçları açısından

ek dışmerkezliğin sonuçları önemli oranda artırıcı bir etkiye sahip olabildiği elde edilen sonuçlardandır.

Analizler ile elde edilen sonuçlar üzerinden pasif kontrol sistemleri tasarlanırken yararlanılan standartlar karşılaştırılmış ve farklılıklar incelenmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan yapılar için TBDY bölüm 14'te verilen Etkin Deprem Yüğü Yöntemi'ne ait taban kesme kuvveti sonuçları Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler (ZTADOA)'dan elde edilen sonuçlardan kayda değer miktarda farklı elde edilmiştir. Bu nedenle daha ayrıntılı bir analiz yöntemi olan zaman tanım alanında analizin kullanımının, örneğin bu yöntem sonucu daha yüksek taban kesme kuvveti değerlerinin elde edilmesi gibi bazı durumlarda daha güvenli sonuçlar verebildiği çıkarımı yapılmıştır. Aynı durumun ASCE/SEI 7-22 kapsamında incelenen ek sönümleyicili yapı için de geçerli olduğu görülmüştür.

Tezde ele alınan türden az katlı, düzenli ve simetrik bir taşıyıcı sistemine sahip yapılarda; deprem yer hareketine karşı dinamik tepkilerin azaltılarak yapı performansının iyileştirilmesinde deprem yalıtımının son derece etkin bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Ek sönümleme sistemlerinin etkinliğinin ise üstyapı taşıyıcı sisteminin rijitliğine bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir. Tezde ele alınan türden görece rijit bir üstyapıya sahip yapılarda ek sönümleme sistemlerinin etkinliğinin sınırlı düzeyde kaldığı, bu türden tamamlayıcı sönümleme sistemlerinin görece elastik bir üstyapıya sahip yapılarda kullanımının daha verimli olabileceği anlaşılmıştır.



COMPARISON OF TWO STRUCTURES DESIGNED AS SEISMICALLY ISOLATED AND WITH SUPPLEMENTARY DAMPING SYSTEM IN TERMS OF GLOBAL STRUCTURAL RESPONSE PARAMETERS

SUMMARY

Civil engineering is one of the most important engineering disciplines that easily makes it possible to meet the need for shelter, which has been one of the most basic problems of humanity since its existence. The main purpose of structural engineering, the sub-branch of this discipline that shapes civilization and contributes to the development of societies with advanced building materials and construction techniques, is to design safe and economical structures. While trying to achieve this, one of the most challenging issues for engineers is the safe design of structures against earthquake ground motions.

Although modern structural and earthquake engineering disciplines, whose foundations were laid at the end of the 18th century, are successful with valid and up-to-date methods against earthquakes which can have extremely destructive effects on structures, they sometimes have difficulty finding safe and economical solutions. Again, studies on the optimization of such solutions also continue. Structural control systems, which improve the concept of designing traditional static seismic force-resisting systems by adding dynamic elements to the systems, stand out in this field as highly effective systems against earthquakes. The most common and most studied structural control systems, which have shown significant developments especially in the last 50 years, are passive structural control systems.

Seismic isolation systems, which basically work on the principle of integrating special elements with low lateral stiffness into the structure thus increasing the building period and reducing the dynamic effects of the earthquake, constitute the first type of passive structural control systems. Other types of systems are systems with additional dampers that enable the energy transferred to the structure to be dissipated in these special elements instead of the structural elements by taking advantage of the displacement and/or velocity characteristics of the structures during earthquakes.

This thesis presents a comparative study of the responses of two building systems under strong ground motion in terms of general structural parameters such as base shears, story shears, interstory drifts, floor accelerations and energy equilibriums, one containing lead rubber bearing type isolation unit within the scope of seismic isolation from passive control systems and the other containing fluid viscous dampers within the scope of supplementary damping. The effects of these different types of passive control systems on the structural behavior, the main purposes of which are to improve the performance of building systems in a common way, have been shown in the study. Again, since there is no regional standart and/or guidelines for the use of additional damping systems in buildings, the thesis covers the problems that may be encountered in adapting ASCE/SEI 7-22 Section 8, which is used in the design of the structure in thesis, to our country. In addition, the comparison of TBEC (Turkish Building

Earthquake Code) Chapter 14 and ASCE/SEI 7-22 Chapter 17 on seismically isolated structure design have been included in the appropriate sections. The aim of the thesis is to determine what kind of changes different types of passive control systems cause in the dynamic behavior of structures comparatively and to answer the question of which system is more effective in the type of structures discussed in the thesis.

Within the scope of the thesis, a hypothetical building planned to be used as a Disaster Planning Station with 4 floors and a plan area of 1350 m² was considered. The seismic force-resisting system of the superstructure, which has an axis span of 7.5 m in both directions and does not include any irregularities in plan or vertical, is reinforced concrete moment frames. In the structure, which was dimensioned in accordance with TS 500 and TBEC rules, high live load was taken into account due to the helipad on the roof and to meet other functional requirements. The structures, whose seismic design parameters were selected in accordance with TBEC, were modeled with the ETABS v21.1.0 structural analysis and design program.

Response history analyses (RHA) were carried out for 3 cases: one is designed with conventional methods case, the other one is seismically isolated case with inclusion of lead-core elastomer type isolation units, and the last one is additional damped case with liquid viscous dampers. All cases have the same superstructure seismic force-resisting system designed for the first case. Here, 176 analyses of the seismically isolated structure and 176 analyses of the structure with supplementary damping were carried out, including the analyses performed to examine additional (accidental) eccentricity, and the set of 11 ground motion records used in these analyses were selected in accordance with the rules specified in TBEC and were scaled with amplitude scaling method. For both types of structures modeled, nonlinear modeling has been limited to passive control system units as the relevant standards allow. In the seismically isolated structure, the shear strain limits and vertical stability of the lead rubber bearing units have been checked; in the structure with supplementary damping, the dimensions of the fluid viscous dampers have been checked. Bounding analyses have been performed on both of the systems.

When the results of the structure are examined, which was designed for three different cases and analyzed nearly for 400 nonlinear response history (NLRHA) cases, it was determined that the base shear obtained for the seismically isolated structure was 36% less compared to the conventional structure. In the structure with supplementary damping, the decrease in base shear is around 21%. In terms of the distribution of story shear forces over the height of the structure, it was found that the structure with additional damping and the conventional structure have a similar distribution in the form of an inverted triangle, while the seismically isolated structure has a more uniform distribution. Again, although the base shear was obtained less in the seismically isolated structure compared to the structure with additional damping, the story shear forces were obtained lower in the structure with additional damping. It has been observed that in both structures with passive control systems, interstory drifts which is another important engineering demand parameter decreased substantially compared to the structure designed conventionally. In particular, the seismic isolation system provided a 50% decrease in the interstory drifts at the story which has the highest values.

The floor accelerations expected to occur during an earthquake in both the seismically isolated structure and structure with supplementary damping were obtained lower compared to the classical structure. Considering the averages of all floors, the

acceleration decrease in the structure with additional damping is in the order of 20% for both bound cases, while in the seismically isolated structure it is around 55% in the upper bound analysis and 8% in the lower bound analysis. When the energy balances for both structures are examined, the conclusion is that the seismically isolated structure is exposed to less earthquake energy input, as expected, compared to the structure with additional damping. It has been determined that this energy input difference between seismically isolated structure and additionally damped structure is about 23%. Again, it is one of the conclusions that accidental (additional) eccentricity can have a significant amplifying effect in terms of general structural parameters results.

Based on the results obtained through analysis, the standards used when designing passive control systems have also been compared and the differences were investigated. For the structures examined within the scope of the study, the base shear results of the Effective Earthquake Load Method given in TBDY chapter 14 have been obtained remarkably different from the results obtained from Nonlinear Response History Analysis. Considering this, it has been concluded that the use of nonlinear response analysis, which is a more detailed analysis method, can provide safer results in some cases, such as obtaining higher base shear values as a result of this method. It has been found out that the same situation is also valid for the structure with supplementary damping examined within the scope of ASCE/SEI 7-22.

In conclusion, in low-rise buildings with a regular and symmetrical seismic force-resisting system of the type discussed in the thesis; it has been shown that seismic isolation is a highly effective method in improving structural performance by reducing dynamic responses to earthquake ground motion. It has also been determined that the effectiveness of supplemental damping systems varies depending on the stiffness of the superstructure seismic force-resisting system. Regarding this, it has been understood that the effectiveness of supplementary damping systems remains limited in structures with a relatively stiff superstructure discussed in the thesis, and that the use of such supplementary damping systems in structures with a relatively elastic superstructure may be more efficient.



1. GİRİŞ

İnsanlığın, varoluşundan itibaren en temel ihtiyaçlarından biri barınma olmuştur. Tarih öncesi çağlarda mağaralarda barınma ile başlayan ve ahşaptan yapılan en basit barakalar ile devam eden bu ihtiyacın karşılanması günümüzde son derece gelişmiş yapı malzemeleri ve inşaat teknikleri ile kolaylıkla sağlanmaktadır. Yine insanlık tarihinin bu ihtiyaç çerçevesinde ortaya çıkan en eski mühendislik dallarından biri olan inşaat mühendisliğinin yapı mühendisliği alt dalının temel amacı çeşitli türden dış yüklemelere karşı yeterli güvenlik ve ekonomik taşıyıcı sistemler tasarlamaktır. Bu konuda yapı mühendislerini en çok zorlayan yüklemelerin başında deprem yer hareketleri gelmektedir.

Yapılar üzerinde son derece yıkıcı etkileri olabilen depremlere karşı modern yapı mühendisliğinin doğuşundan itibaren son derece geçerli ve ispatlanmış yöntemler bulunmuş ve uygulanmakta olsa da bu konu güvenli ve ekonomik çözümler bulma konusunda zaman zaman mühendisleri zorlamakta ve yine problemin çözümünün optimizasyonu konusunda çalışmalar devam etmektedir. Yapı taşıyıcı sistemlerinin yeterli dayanım, rijitlik ve süneklikte, uygun yapı malzemeleri ve kanıtlanmış yöntemlerle güvenli ve ekonomik tasarımı olarak genellenebilecek geleneksel statik yapı taşıyıcı sistemleri tasarlama konseptinden farklı olarak bu sistemlere dinamik elemanların eklenmesi ile deprem performansının geliştirilmesine yönelik yöntemler de son yüzyılda özellikle de son 50 yılda önemli gelişmeler göstermiştir. Bu konseptlerin başında yapısal kontrol sistemleri gelmektedir. Pasif, aktif ve yarı-aktif olarak sınıflandırılan bu yapısal kontrol sistemlerinden en yaygın ve en çok çalışılmış olanı pasif yapısal kontrol sistemleridir. Temel olarak iki gruba ayrılan bu pasif kontrol sistemlerinden deprem yalıtımı, yapıların klasik yapı elemanlarından daha düşük rijitliğe sahip elemanlarla donatılarak periyodunun uzatılması ve böylelikle dinamik etkilerin azaltılması prensibine dayanır. Diğer grup olan ek sönümleyici sistemler ise yapıların yerdeğiştirme ve/veya hız özelliklerinden yararlanarak deprem tarafından yapıya aktarılan enerjinin yapı elemanlarından ziyade bu elemanlar tarafından sönümlenerek yapıdan uzaklaştırılmasını ve böylelikle yine depremin etkilerinin

azaltılmasını hedefler. Bu tez, bahsedilen bu farklı tür pasif kontrol sistemlerinden ikisinin düzenli ve standart bir konfigürasyona sahip klasik bir betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapıda oluşturduğu değişiklikleri ve performans iyileşmesini yapı mühendisliği açısından önemli ve genelgeçer parametreler üzerinden kıyaslamalı olarak incelemeye odaklanmaktadır.

1.1 Literatür İncelemesi

Tarih boyu toplumları etkileyen en büyük felaketlerden biri depremler olmuştur. Günümüzde birçok alanda önlemler alınarak depremlerin yıkıcı etkileri azaltılmaya ve mümkün olan durumlarda tamamen giderilmeye çalışılmaktadır. Bu etkilerin giderilmeye çalışıldığı en temel alanlardan biri de yapı mühendisliğidir. Yapı mühendisliğinde depreme karşı dayanıklı yapılar yapılmasında modern inşaat mühendisliğinin doğuşundan beri süregelen geleneksel yöntemlere ek olarak son yarım yüzyılda pasif kontrol sistemlerine olan ilgi artmıştır. Görece kısa bir tarihe sahip olan bu deprem yalıtımı ve ek sönümlleme türü sistemler ile ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Yeni pasif kontrol sistemleri geliştirilmesinden uygulama yöntemlerinin değiştirilmesine, ilgili sistemlerin yapı davranışına olan etkilerinin daha iyi anlaşılmasından optimize edilmelerine uzanan tüm bu çalışmalar akademik ve teknik açıdan ele alınmıştır. Aşağıda bu çalışmalardan bazılarının temel sonuçlarına ve deprem yalıtımı ile ek sönümlleme türü sistemlerin gelişimine genel bir bakış sunulmuştur.

Housner vd. (1997) yapısal kontrolün geçmiş, şimdi ve geleceğini inceledikleri çalışmada, makalenin yayınlandığı tarihe kadar bu sistemlerle ilgili oluşan bilgi birikimini özetler. 1994 yılında Kaliforniya Northridge’de ve 1995 yılında Japonya Kobe’de gerçekleşen ve modern deprem mühendisliğinin dönüm noktalarını oluşturan bu depremlerin ardından yapısal kontrol sistemlerine olan ilginin arttığını belirttikleri çalışmada, 100 yıldan daha önce Japonya’da John Milne isimli maden mühendisliği profesörünün ahşap küçük bir yapıda denediği sistemin bu sistemlerin miladı olarak sayılabileceğini belirtir. John Milne kazıkların üzerinde yer alan dökme demirden plakaların üzerine yerleştirdiği bilyelerle ilk defa yapının deprem yer hareketinden yalıtılabileceğini göstermiştir.

Christopoulos ve Filiatrault (2006, Bölüm 1 ; Housner, 1984) ek sönüm ve sismik yalıtım prensiplerini ele aldıkları kitaplarında Milne’in yönteminin modern sismik

izolasyonun temelini oluşturdıklarını söylemekle birlikte genel olarak bu sistemlerin gelişiminin 19. yüzyılda İngiliz bilim insanlarının temellerini attıkları deprem mühendisliğinin gelişimi ile bağlantılı olduğunu belirtir (Christopoulos ve Filiatrault, 2006'da atıfta bulunulduğu gibi). Yine ilgili bölümde kauçuk yalıtım sistemlerinin ilk defa 1969 yılında Yugoslavya'nın Üsküp şehrinde 3 katlı betonarme bir ilkokulda kullanıldığından bahseder.

Yapıların deprem yalıtımına dair konsept ve mevcut gelişmelerin özetlendiği bir diğer çalışma Ismail (2018), her ne kadar 1960'lara kadar 100'e yakın deprem yalıtımı sistemi tasarlansa da bunlardan hemen hemen hiçbirinin kayda değer biçimde kullanılmadığını açıklar. Günümüzde kullanılan kauçuk yalıtım birimlerinin ise yatayda güçlü yer hareketi altında yanal olarak hareket edebilecek kadar esnek, yapı ağırlığını taşıyabilecek kadar da düşey doğrultuda rijit olduklarını ve bu nedenle deprem yalıtımının pratik bir gerçekliğe dönüştürebildiği belirtilir. Çalışmada ayrıca yapısal kontrol sistemlerinin gelişiminde yalnızca elastomer yalıtım birimlerinin gelişiminin etkili olmadığı; yapıların performansını ve tasarım parametrelerini belirlemede güvenilir analiz programlarının gelişmesinin, gerçek yer hareketini farklı yapılar üzerinde simüle etmeyi mümkün kılan sarsma masalarının kullanımının ve deprem bilimcilerin belirli bir bölgedeki yer hareketlerini tahmin etmedeki becerilerinin gelişmesinin de etkili olduğunu savunur. Yine yaygın olarak kullanılan deprem yalıtımı sistemlerinin avantaj ve dezavantajları ilgili çalışmada tablo halinde özetlenmiştir.

İlave sönümleme sistemlerinin ilk gelişiminin deprem yalıtımı sistemlerinden daha yakın bir zamanda olduğunu ifade eden Christopoulos ve Filiatrault (2006, Bölüm 1), bu konuda yine enerji konseptine dayanan çalışmalarından ötürü Housner (1956)'ya atıfta bulunur. Yapılarda sönümü artırmak için ayrı elemanlar kullanma kavramı ilk defa Japonya'da Muto (1969) tarafından önerilmiştir ve 1970'lerde de Yeni Zelanda'da (Kelly vd., 1972 ; Skinner vd., 1975) bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Christopoulos ve Filiatrault, 2006'da atıfta bulunulduğu gibi). İlave sönüm ile ilgili bu ilk çalışmalar enerji yitiminin histeretik akma elemanları ile başarıldığı birçok çeşit metalik sönümleyicinin geliştirilmesine neden olmuştur. Metalik sönümleyicilerin yapısal sistemlerde kullanıldığı ilk örneklerden biri South Rangitikei Viyadüğü'dür. 1981 yılında gerçekleştirilen uygulamada deprem yalıtımı bulunan köprüde sönümü artırarak yapısal performansı iyileştirmek için burulmalı metalik sönümleyicilerden

yararlanılmıştır. Yine Yeni Zelanda ve Kanada’da 1970 ve 1980’lerde sürtünmeli sönümleyiciler kullanılmıştır.

Domenico vd. (2019) sıvı viskoz sönümleyicilerin 80’li ve 90’lı yıllara dayanan ilk çalışmalarından bahseder. Sıvı viskoz türü sönümleyiciler ile ilgili çalışmalar temel olarak Buffalo Üniversitesi’nde gerçekleştirilmiş ve ilk uygulaması 1995 yılında Kaliforniya Sacramento’da yer alan Pacific Bell North Area Operations Center isimli üç katlı yeni bir yapıda hayata geçirilmiştir.

Deprem yalıtımı ve ek sönümleyici sistemlerinin gelişimine en büyük katkılardan bazıları MCEER tarafından yapılmıştır. Roussis vd. (2002) 1999 Düzce Depremi esnasında inşası devam eden 2.3 km uzunluğundaki Bolu Viyadüğü’nün etkisinde deprem yalıtım sisteminin davranışını inceler ve viyadüğün AASHTO’ya uygun tasarlanırsa bile hasara maruz kalabileceğini ifade eder. Roussis ve Constantinou (2005) etkinliği çeyrek ölçekli bir çelik çerçevede gösterilmiş, deprem esnasında kalkması-kısıtlanmış sürtünmeli sarkaç tipi bir deprem yalıtım birimini açıklarken Warn ve Whittaker (2007) deprem yalıtımlı bir köprü yapısının sismik uyarıma maruz kaldığında gösterdiği performansı inceler. Karakteristik dayanım ve ikincil (elastik-ötesi) rijitlik türünden parametrelerin değiştirildiği yirmi farklı yalıtım sisteminin dikkate alındığı çalışmada bu sistemlerin etkinlikleri gösterilmiştir. McVitty ve Constantinou (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada pasif kontrol sistemlerinin tasarımında büyük bir adım olan özellik değiştirme çarpanlarının (property modification factor) temel prensipleri kullanımları açıklanmıştır. Buna göre özellik değiştirme çarpanları, özellikleri temel inşaat mühendisliği malzemeleri kadar belirli olmayan ve henüz standartlaşmamış deprem yalıtımı ve sönümleyici türünden yeni yapı davranış kontrol elemanlarının yapılar üzerindeki etkilerinin incelenmesinde, sınır analizi (bounding analysis) kavramının kullanılması önerilmiştir ve bu yöntem TBDY de dahil olmak üzere dünya çapındaki ilgili yapı ve deprem standartlarında hala geçerliliğini korumaktadır. Yine MCEER tarafından literatüre katılan bazı yeni deprem yalıtımı sistemleri Helisel Çelik Yay Yalıtım Birimi (Constantinou vd., 1990), Küresel Sürtünmeli Sarkaç Tipi Yalıtım birimi (Al-Hussaini vd., 1994) ve Beşli Sürtünmeli Sarkaç Tipi Yalıtım Birimi’dir (Lee ve Constantinou, 2015).

Yapılara ek sönümleyiciler ilave edilmesi ile ilgili ‘sigorta konsepti’ni ortaya atan Vargas ve Bruneau (2006) deprem kaynaklı yapısal hasarın azaltılarak yapısal performansın geliştirilmesi açısından pasif enerji cihazları incelemiş ve Burkulması

Önlenmiş Çapraz ve Kayma Panelleri türünden metalik sönümleyicilerin olumlu etkilerini zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile göstermiştir.

Pekcan vd. (1999) ek enerji sönümleme cihazları içeren yapıların tasarım ve güçlendirme metodolojilerini ayrıntıları ile ele almıştır. Alternatif bir elasto-plastik bir analiz yaklaşımının da tanıtıldığı çalışmada 9 katlı esnek çelik bir yapının güçlendirme performansı 2 farklı konfigürasyonla değerlendirilmiştir. Sıvı viskoz sönümleyicilerin yapılara makaslı-kriko biçiminde eklenerek küçük görelî kat ötelemelerine ve hızlara sahip olan yapılarda bile kullanılabileceğini ifade eden Sigaher-Boyle ve Constantinou (2004) bu tür sönümleyicilerin daha rijit yapılarda ve özellikle dar yapı alanına sahip sistemlerde dahi etkin olarak kullanılabileceğini teorik ve deneysel olarak ispat etmiş ve bu türden bir uygulamanın gerçekleştirildiği Kıbrıs'taki bir yapıyı örnek olarak açıklamıştır.

1.2 Amaç ve Kapsam

Literatür incelemesinde görüldüğü üzere yapı sistemlerini depremlerin yıkıcı etkilerine karşı koruma amacıyla modern yapı mühendisliğinde önemli bir yer tutan pasif yapısal kontrol sistemleri ile özellikle sismik aktivitenin yüksek olduğu bölgelerde yoğunlukla ilgilenilmiştir. Ortaya çıkışları sırasında daha çok teorinin pratiğe dökülmesi ile ilgilenilen deprem yalıtımı ve ek sönümleyici sistemlerin davranışları ve yapı sistemlerine etkileri yaygın sistemler için günümüzde genel olarak bilinmektedir. Deprem yalıtım sistemleri üstyapıya kıyasla daha düşük bir yanıl rijitliğe sahip olmaları ve böylece yapı periyodunu artırarak yapıya aktarılan ivme ve yerdeğıştirmeleri azaltmaları, buna ek olarak sönümleme mekanizmaları içermeleri durumunda da yine dinamik tepkileri indirgemeleri yönleriyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle deprem yalıtımı sistemlerinin dünya çapında uygulamada en çok kullanılanı kurşun çekirdekli elastomer içeren yalıtım sistemlerinin davranışlarına yönelik güncel çalışmalar bu cihazların çekme davranışının iyileştirilmesi, burulmaya karşı güçlendirilmesi ve en ideal şekilde kullanımlarına yönelmiştir.

Deprem yalıtım birimlerine kıyasla daha kısa bir geçmişe sahip olmasına rağmen ek sönümleyiciler ile ilgili çalışmalar da bu cihazların davranışlarını ve yapı performansını artırıcı etkilerini ortaya koymuştur. Özellikle üretim ve uygulamalarındaki standartlaşma ve doğaları gereği malzeme özelliklerindeki

sapmaların az olması nedeniyle düşük özellik değiştirme faktörlerine (property modification factor) sahip olmaları sıvı viskoz sönümleyicileri önemli yapı kontrol sistemlerinden biri yapmıştır. Yapılarda deprem hareketi esnasında oluşan hızlardan yararlanarak geleneksel olarak tasarlanmış klasik bir yapıda içsel sönüm mekanizmaları tarafından yapıda hasara neden olarak ortaya çıkan enerji yitimini, viskoz bir sıvının bir orifisten geçerek dışarı ısı yayması şeklinde hasarı önleyici bir duruma çeviren sıvı viskoz sönümleyiciler ile ilgili çalışmalar da bu cihazların güçlendirme amaçlı yapılara eklenmesi ile yine yapıların yumuşak kat ve burulma davranışlarının önlenmesi ve yapı performansını iyileştirmek için optimal kullanımlarının belirlenmesi türünden çalışmalara yönelmiştir.

Her ne kadar yapılardaki kullanım amaçları ortak olarak yapı sistemlerinin performanslarını artırmak olsa da yapıların güçlü yer hareketine tepkilerini taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat ivmeleri ve enerji dengeleri açısından farklı şekilde değiştiren pasif kontrol sistemlerinin bu genel yapısal parametreler üzerinden kıyaslanması literatürde doğrudan yer almamaktadır. Yapı davranışının zaman tanım alanında analizler yardımıyla ele alındığı bu tezde deprem yalıtımı sistemlerinden kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinin, tamamlayıcı sönümleme sistemlerinden ise sıvı viskoz sönümleyicilerin üstte bahsedilen genel yapı tepkileri açısından bir karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Yine ek sönümleme sistemlerine ait bölgesel bir standart bulunmadığından kullanılan ilgili standardın bölgeye uyarlanmasında karşılaşılabilecek problemler ile bölgesel standartta yer alan deprem yalıtımı bölümünün yine tezde kullanılan diğer standartlarla bir kıyası da uygun kısımlarda sunulmuştur. Bu çalışmada farklı türden pasif kontrol sistemlerinin yapı dinamik davranışında ne tür değişiklikler gerçekleştirdiğinin ve bunların yapı performansını nasıl etkilediğinin; yine çıkan sonuçlara uygun olarak benzer yapılarda, tezde ele alınan yapısal sistemlerden hangisinin kullanılmasının daha efektif olduğunun anlaşılması amaçlanmıştır.

2. DEPREM YALITIMI VE EK SÖNÜMLEME

Giriş bölümünde literatür araştırması ile mevcut durumu özetlenen deprem yalıtımı ve ek sönümleme sistemleri ve birimleri bu bölümde detaylandırılmıştır. Buna göre takip eden alt bölümlerde öncelikle yapısal kontrol sistemlerinin sınıflandırılmasına yer verilmiştir. Devamında deprem yalıtımı kapsamında kurşun çekirdekli elastomer deprem yalıtım birimlerinin, ek sönümleme kapsamında ise sıvı viskoz sönümleyici tipi ek sönümleme birimlerinin temel prensipleri açıklanmıştır. Tez kapsamında bu pasif kontrol birimlerinin davranışlarından çok bu birimler kullanılarak oluşturulan pasif kontrol sistemlerini içeren yapıların deprem yer hareketi altında genel yapı parametreleri üzerinden karşılaştırılmalarına odaklanıldığından burada kısaca bu birimler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Yapısal kontrol birimlerinin davranışlarına yönelik kapsamlı inceleme için kaynaklar bölümünde yer alan ilgili çalışmalar incelenebilir.

2.1 Yapısal Kontrol Sistemleri

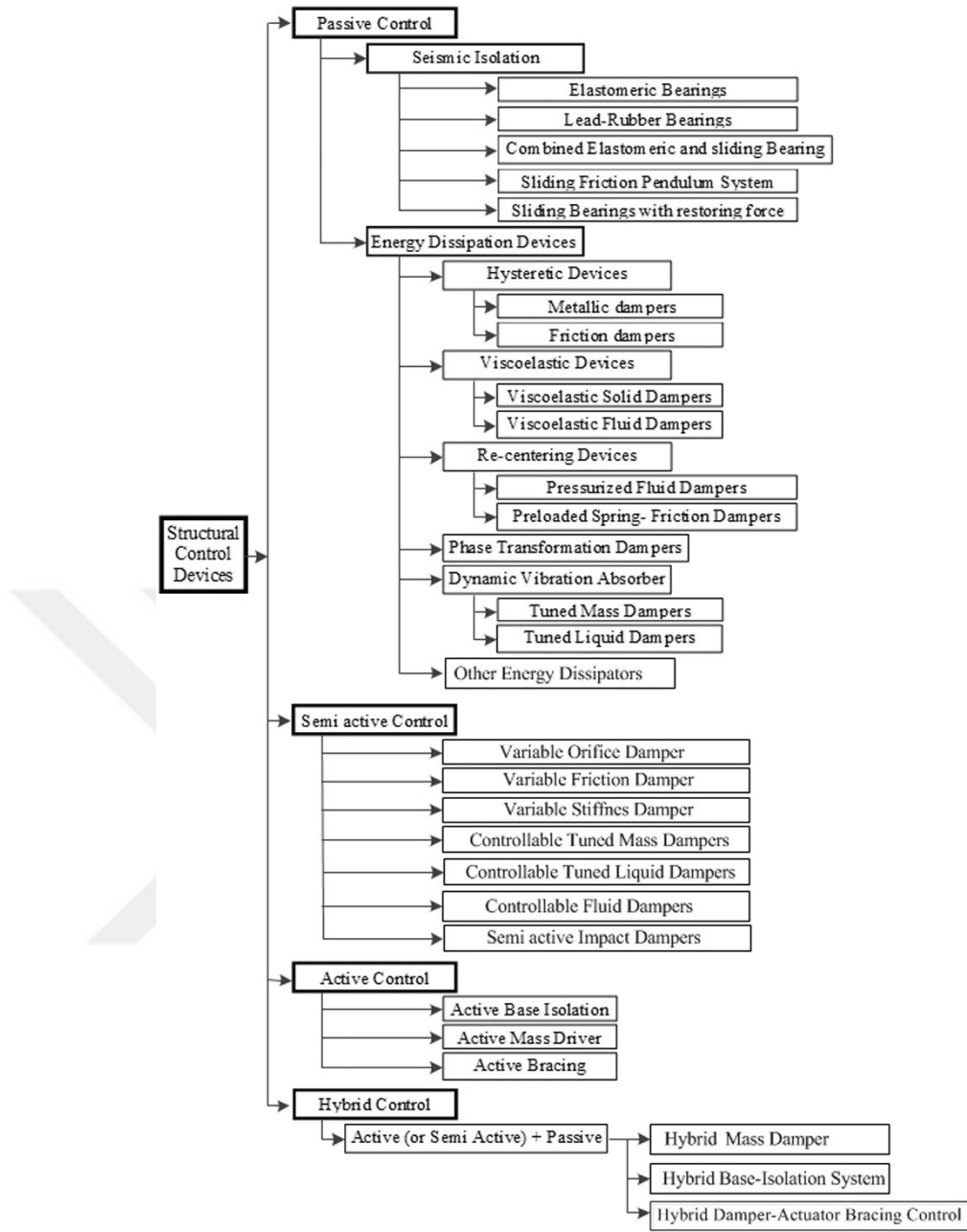
Modern yapı ve deprem mühendisliği disiplinlerinin temel amacı yapıları, üzerlerinde sürekli mevcut olan düşey yüklere ek olarak deprem ve rüzgar gibi etkilerin oluşturduğu yanal yüklere karşı güvenli ve ekonomik şekilde tasarlamaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için bahsedilen bu etkilere karşı belirli yaklaşımlar geliştirilmiştir ve bu yaklaşımlar günümüzde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Söz konusu etki deprem olduğunda ise temel yaklaşım; orta büyüklükte depremler için yapıları elastik sınırları çevresinde zorlayarak büyük yapısal hasarı önleyecek, büyük depremler için ise yapıda deprem enerjisini kararlı bir şekilde sönümleyerek can güvenliğini sağlayacak biçimde hasarı karşılayan bölgeler içerecek biçimde yapı sistemlerinin boyutlandırılmasıdır. Saaed vd. (2015)'te belirtildiği üzere geleneksel taşıyıcı sistem tasarımı olarak adlandırılabilir bu yöntemle yapıda göçme önlenmiş olmakla beraber onarılamaz bir hasar alımı da önceden kabul edilmiş durumdadır.

Üstte açıklanan bu yöntemeye uygun tasarlanan geleneksel yapılar he ne kadar güvenlik konusunda başarılı olsalarda ikincil ekonomik etkiler açısından hala gelişime açıktır. Örneğin deprem sonrası yapıların fonksiyonlarını devam ettirmeleri ve/veya içerilerinde bulunan yapısal olmayan ama değerli ekipmanları korumak amacıyla üstte belirli kurallara tabi olmak koşuluyla kabul edilebilir olduğu belirtilen hasarın önlenmesi geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Fakat bu yaklaşımda ise yapıların büyük deprem yer hareketleri sırasında elastik bölgede zorlanmasını sağlamak için taşıyıcı sistem elemanlarının enkesitlerinin büyümesi ve böylelikle yapı maliyetinin artması söz konusudur (Saaed vd., 2015). Bu durum aynı zamanda artan boyutlarla beraber yapının daha fazla deprem yüküne maruz kalmasına yol açmaktadır. Yine sismik aktivitenin çok büyük olduğu durumlarda boyutlardaki bu artışlar yapı fonksiyonunu da etkileyebilmekte ve malzemenin sönüm miktarının sınırlı olması da bu yaklaşımın bazı durumlarda etkinliğinin sınırlı olmasına neden olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen tüm bu sınırlamaları aşarak yapıları daha yüksek performansa ekonomik şekilde sahip olacak biçimde tasarlamak için mühendisler tarafından alışlagelmiş inşaat malzemelerinin dışında birtakım malzemeler geliştirilmiş ve bunların yapılara dahil edilmeleri ile yapısal kontrol sistemleri ortaya çıkmıştır. Christopoulos ve Filiatrault (2006) yapısal kontrol sistemlerini, inşaat yapım maliyetini makul düzeyde tutarak sismik performansı artırmak için kullanılan yenilikçi depreme-dayanıklı (earthquake-resistant) sistemler şeklinde tanımlar. Bu yapısal sistemlerin amacı, deprem yalıtım sistemleri ile ana yapı elemanlarının enerji almasını engellemek ve/veya deprem sırasında yapıya aktarılan enerjiyi ek sönümleme mekanizmaları ile sönümleyerek yapıdan uzaklaştırmaktır.

Yapısal kontrol sistemlerinin sınıflandırılması literatürde birçok farklı yaklaşımla ele alınmaktadır. Tezin bu bölümünde gerçekleştirilen sınıflandırmada ise Saaed vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı inceleme esas alınmıştır. Yine uygun yerlerde belirtilen kaynaklarda yer alan bilgilerden yararlanılmıştır.

Yapısal kontrol sistemleri temel olarak 3 ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar pasif kontrol sistemleri, yarı-aktif kontrol sistemleri ve aktif kontrol sistemleridir. Yine bu sistemlerden aktif veya yarı-aktif sistemlerin pasif sistemlerle beraber kullanıldığı hibrit sistemler de bulunmaktadır. Sıralananlar ile sınırlı olmamakla beraber kapsamlı bir sınıflandırma Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Yapısal kontrol sistemlerinin sınıflandırılması (Saaed vd., 2015).

Şekil 2.1’de gösterildiği üzere pasif kontrol sistemleri de deprem yalıtımı ve enerji sönmüleme olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır. Her bir alt grup içerisinde farklı malzemeler ve/veya farklı çalışma prensiplerine sahip kontrol cihazları bulunmaktadır. Tez kapsamında ilgilenilmediğinden aşağıda aktif ve yarı-aktif kontrol sistemleri ile ilgili genel bilgi verilmiştir. Çalışma kapsamında ilgilenilen pasif kontrol sistemlerinden deprem yalıtımı kapsamında kurşun çekirdekli deprem yalıtım birimi ile tamamlayıcı sönmüleme kapsamında sıvı viskoz sönmüleyici ise özel olarak ele alınmıştır.

2.2 Aktif Yapısal Kontrol Sistemleri

Yapıların dinamik etkilere karşı davranışlarını iyileştirme amaçlı geliştirilen yapısal kontrol sistemlerinden biri olan aktif sistemler, pasif ve yarı-aktif sistemlerden farklı olarak yapı davranışını aktüatör(ler) ile etkileyebilen sistemlerdir. İlk olarak Yao (1972) tarafından önerilen aktif kontrol sistemleri yapı dinamiğinde oluşan değişiklikleri algılamayı sağlayan sensörler, bu değişikliklere uygun tepkilerin hesaplanmasını mümkün kılan bilgisayar sistemleri ve algoritmalar ile olumsuz dinamik etkileri kaldırmak için yapıya otomatik bir kuvvet etkitmeyi sağlayan aktüatörlerden oluşmaktadır (Christopoulos ve Filiatrault, 2006’da atıfta bulunulduğu gibi). Temel olarak bu sistemlerde; sensörler ile dinamik yükler karşısında yapının davranışı belirlenmektedir. Sonrasında kontrol algoritmaları kullanılarak ilgili dinamik etkinin yapıdaki etkisini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak için gerekli müdahaleler kararlaştırılmaktadır. Son aşamada ise aktif kontrol sisteminin elemanları ile yapıya bu karşı tepki uygulanmaktadır. Tüm bu işlemler sistem tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Saaed vd. (2015) aktif yapısal kontrol sistemlerini aşağıdaki gibi 4 temel gruba ayırmıştır:

- Aktif kütle sönümleyici (AMD)
- Aktif tendon sistemleri
- Aktif çapraz sistemleri
- Darbe üreten sistemler (Pulse generation systems)

Cheng vd. (2008)’de belirtildiği üzere aktif kontrol sistemleri; geliştirilmiş kontrol verimliliği, yer hareketine uyum sağlama, yapısal güvenlik veya konfor türünden kontrol hedeflerinin seçilebilmesine imkan verme ve geniş bir frekans aralığında kullanılarak farklı türden titreşim mekanizmalarına uygulanabilme avantajlarına sahiptir. Bu avantajlarının yanında aktif kontrol sistemlerinin en büyük dezavantajı ise şiddetli doğal afetler esnasında temini garanti edilemeyen önemli miktarda enerjiye ihtiyaç duymasıdır. Yine bu sistemler sensörler ve kontrol ekipmanları gibi gelişmiş ekipmanlar ile oluşturulduğundan karışık sistemlerdir ve yapıya enerji ekleme ve çıkarma türünden önemli dinamik etkilerde bulunduklarından bazen yapılarda istenmeyen ve hatta kararsız durumlara yol açabilmektedirler (Christenson, 2001).

2.3 Yarı-aktif yapısal kontrol sistemleri

Pasif yapısal kontrol sistemlerinin doğal bir uzantısı olan yarı-aktif yapısal kontrol sistemleri sıklıkla ‘kontrol edilebilir veya akıllı sönümleyiciler’ (controllable or intelligent dampers) olarak adlandırılmaktadır (Saaed vd., 2015). Girdiyi algılamaya yarayan sensörler, ölçümü işleyerek aktüatöre kontrol sinyali ileten bir kontrol bilgisayar, kontrol aktüatörleri ve pasif sönümleme cihazlarından oluşturulan bu sistemler sönümleyici davranışını düzenleyerek yapısal performansı artırır. Kolay şekilde üretilme, güvenli şekilde çalışabilme ve pasif sistemlerden daha iyi davranış gösterme avantajlarına sahip olan bu sistemler yine de pasif sönümleyicilerin kendi sınırlarına tabidir. Aktif kontrol sistemlerinde bulunan doğrudan yapıya kuvvet uygulama mekanizmalarına sahip olmadıklarından bu sistemler çok daha az miktarlarda enerjiye ihtiyaç duymaktadır ve bu enerjinin dinamik yükleme esnasında sağlanamaması aktif sistemlerde görülebilecek türden kararsızlık durumlarına yol açmamaktadır. Yarı-aktif yapısal kontrol sistemlerinde sensörler tarafından algılanılan dinamik etkilere aktüatörler, pasif cihazların özelliklerini algoritmalar yardımıyla kontrol ederek müdahale etmekte ve aktif sistemlerden farklı olarak yapıya doğrudan kuvvet uygulamamaktadır.

Yarı-aktif yapısal kontrol sistemlerinden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir Cheng vd. (2008):

- Yarı-aktif ayarlı kütle sönümleyici
- Yarı-aktif ayarlı sıvı sönümleyici
- Yarı-aktif sürtünme tipi sönümleyiciler
- Yarı-aktif titreşim yutucular (vibration absorber)
- Yarı-aktif rijitlik kontrol cihazları
- Elektroeolojik sönümleyiciler (ER)
- Manyetoreolojik sönümleyiciler (MR)
- Yarı-aktif sıvı viskoz sönümleyici

2.4 Pasif yapısal kontrol sistemleri

Önceki alt bölümlerde açıklanan aktif ve yarı-aktif sistemlerden farklı olarak pasif yapısal kontrol sistemleri herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan çalışan ve bir aktüatör ya da bilgisayara bağlı olmayan sistemlerdir. Bu nedenle pasif yapısal kontrol sistemleri olarak adlandırılırlar ve yapısal kontrol bağlamında ortaya çıkan ilk grubu oluştururlar. Bu sistemler dinamik etkiler esnasında değiştirilemeyen özelliklere sahiptir ve belirli dinamik etmenlere karşı etkinlikleri sınırlı olabilmektedir. Her ne kadar sabit özelliklere sahip olsalar da pasif kontrol sistemleri, sismik girdilerin de belirli frekanslar ile sınırlı olması nedeniyle etkin, güvenli ve ekonomik çözümler sunmaktadırlar (Christopoulos ve Filiatrault, 2006). Yine bu sistemler aktif ile yarı-aktif sistemlere kıyasla çok daha geniş ölçüde uygulama alanı bulmuş ve son derede ayrıntılı biçimde çalışılmıştır. Pasif yapısal kontrol sistemleri doğaları gereği karardlıdır, üstte bahsedildiği gibi herhangi bir dış güç kaynağına veya yapısal ölçüme ihtiyaç duymaz ve tasarım ve imalatı diğer sistemlere kıyasla çok daha kolaydır (Christenson, 2001). Temel olarak bu sistemler deprem yalıtımı ve ek sönümleme olarak iki grupta incelenmektedir.

2.4.1 Deprem yalıtımı

İlk grubu oluşturan deprem yalıtımı konsepti yapıya (genellikle yapı tabanında eklenen) düşük yanal rijitlik ve yeterli düşey rijitliğe sahip özel malzemelerin eklenmesi ile yapı titreşim periyodunun deprem hakim periyodundan uzaklaştırılarak ivme çekiminin azaltılmasına dayanır. İsminden de anlaşıldığı üzere deprem yalıtım sistemi yapıya aktarılan enerjinin sınırlandırılmasını sağlar. Yapı periyodundaki artışla beraber ortaya çıkan artan yerdeğiştirme değerleri ise deprem yalıtım sistemleri ya da birimlerine eklenen ek sönümleme mekanizmaları ile azaltılmaktadır. NEHRP (2015, bölüm 15)'te deprem yalıtımı; yapıya, elastik ötesi hareket ve yerdeğiştirmenin büyük kısmının tek bir seviyede (yalıtım seviyesi) yoğunlaştığı ve dolayısıyla yalıtım arayüzü üzerinde kalan yapının korunduğu mühendislik-ürünü (engineered) bir yumuşak katın eklenmesine benzetilmiştir.

Deprem yalıtım sistemlerinde temel amaç yapı hakim titreşim periyodunu tipik depremlere ait hakim periyottan uzaklaştırmak olduğundan ve yüksek yapılar (high-rise) doğaları gereği bu deprem periyotlarından hâlihazırda uzak olduğundan, bu sistemler daha çok az-katlı (low-rise) veya orta-yükseklikteki (mid-rise) yapılarda

etkili olmaktadır. Bu noktada yumuşak zeminlerde deprem hakim periyotları arttığından yine bu tür zeminlerde periyot artışının getirdiği ivme ve dolayısıyla kuvvet azalışından alınan verim azalmaktadır. Ayrıca deprem yalıtım sisteminin uygulanacağı yapıların etraflarında yanal yerdeğiştirmeye izin verecek mesafeler bulunması da bu sistemlerin kullanım sınırlarındandır.

Deprem yalıtım sistemlerinde birçok farklı deprem yalıtım birimi kullanılmaktadır. İlk modern yalıtım birimleri düşük yanal rijitliğe sahip kauçuk malzemeden üretilmiştir. Devamında bu yalıtım birimlerine kurşun çekirdekler eklenmesi ile sönüm mekanizması da içeren birimler elde edilmiş, yüksek olarak doğal sönüme sahip olan kauçuk malzemeler ve yine teflon malzemeler de deprem yalıtım sistemlerini oluşturan elemanlar arasında yerini almıştır. Yine mevcut deprem yalıtıcılarına sürekli yeni türler eklenmeye devam etmektedir. Saaed vd. (2015) tarafından sıralanan bazı deprem yalıtım birimleri şunlardır:

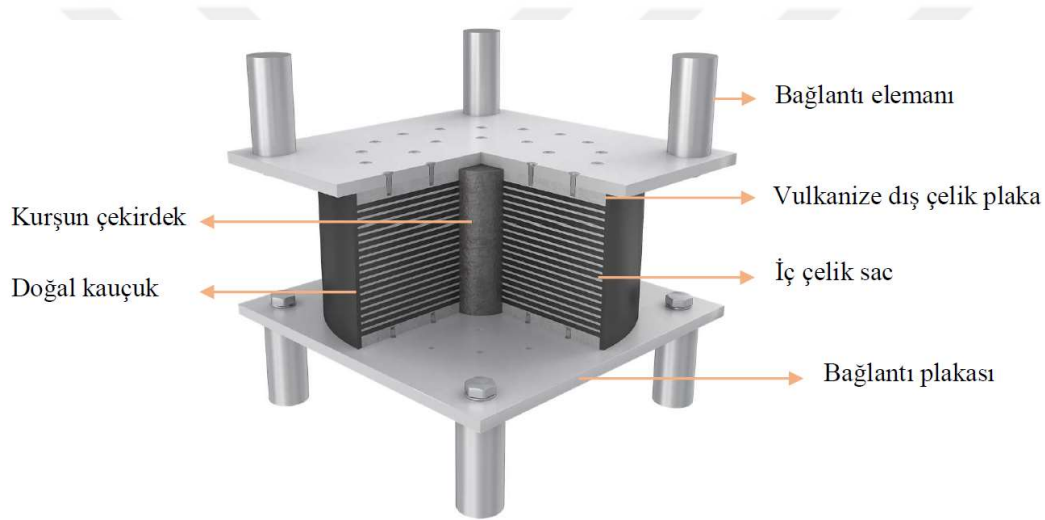
- Elastomer deprem yalıtım birimi
- Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimi (KÇE)
- Yüksek sönümlü elastomer tipi deprem yalıtım birimi (YSE)
- Düz yüzeyli sürtünmeli tipi deprem yalıtım birimi
- Eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimleri (FPS)
- Teflon mafsallı paslanmaz çelik deprem yalıtım birimleri
- Manşonlu kazık deprem yalıtım birimleri

Sıralanan bu deprem yalıtım birimlerinden kurşun çekirdekli elastomer, yüksek sönümlü elastomer ve eğri yüzeyli sürtünmeli tip için TBDY (2018) bölüm 14'te tasarım ve uygulama kuralları yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında tasarlanan deprem yalıtımlı yapıda ise kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimleri göz önüne alınmıştır.

2.4.1.1 Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimi

Deprem yalıtım sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan deprem yalıtım birimlerinden biri kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimidir. Bu yalıtım birimi doğal kauçuk veya neopren elastomer katmanların arasına çelik plakaların belirli aralıklarla birleştirilmeleri ile elde edilmektedir. Burada elastomer

malzeme düşük yanal rijitliği ile yapı periyodunun artırılarak yapıya aktarılan ivmenin azalmasını sağlarken çelik plakalar ise düşey yükler altında yalıtım biriminin kararlılığını korumasını sağlar. Yine dairesel enkesite sahip kurşun malzemeler bu yalıtım birimlerinin ortasında yer alan boşluklara yerleştirilmektedir. Kurşun malzeme şekil değiştirme esnasında ısı yayarak enerjinin sönümlenmesini sağlamaktadır. Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri yapı sistemlerine üst ve alt bağlantı plakaları yardımıyla montaj edilmektedir. Aşağıda Şekil 2.1’de tipik bir kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimi kesiti (Güngör vd., 2019), Şekil 2.2’de ise montajı gerçekleştirilmiş deprem yalıtım biriminin yapıdaki görünümü (Tchamo ve Zhou, 2018) verilmiştir. Yine Şekil 3.3’te çevrimsel yatay yükleme altında test edilen bir kurşun çekirdekli elastomerin davranışı görülmektedir (Güngör vd., 2019).



Şekil 2.2 : Tipik kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimi kesiti (Güngör vd., 2019).

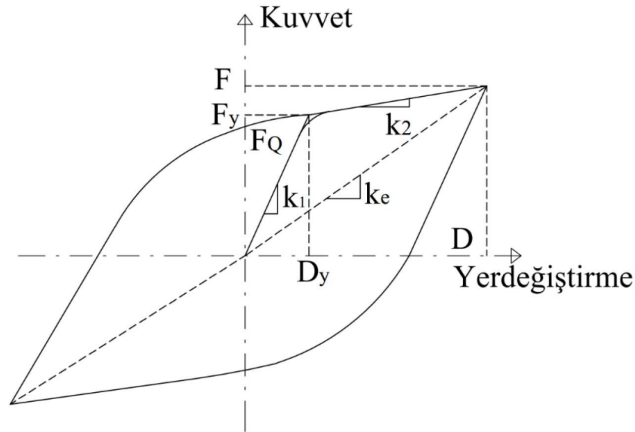


Şekil 2.3 : Montajı tamamlanmış kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimi (Tchamo ve Zhou, 2018).



Şekil 2.4 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin çevrimsel yatay yükleme altında davranışı (Güngör vd., 2019).

Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimlerinin yanal dinamik etkiler altında davranışı TBDY (2018) EK 14A'da verilen idealleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme (yükleme döngüsü) eğrileri ile belirlenebilmektedir. Bu eğrileri oluşturabilmek için gerekli girdiler ise elastomer ve kurşun malzemelerin malzeme özellikleri ile geometrik özellikleridir. TBDY (2018)'de elastomer yalıtım birimleri için verilen eğri Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5 : Elastomer deprem yalıtım birimi kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi (TBDY, 2018).

Tezde 3.3.2 bölümünde yer alan ön tasarım aşamasında kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin elde edilişi sayısal değerler ile birlikte verilmektedir. Bahsedilen bu bölümde kullanılan denklemler aşağıda özetlenmektedir. Burada yalnızca kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin eldesinde kullanılan ifadeler yer verilmekte olup doğrudan yer almayan ifadeler için yine TBDY (2018) EK 14A'ya başvurulmuştur. Denklemlerde yer alan terimlerin tanımları ise tezin semboller kısmında verilmektedir.

Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimlerinin karakteristik dayanımı F_Q denklem (2.1) ile belirlenmektedir.

$$F_Q \cong F_y = A_p \tau_{yp} \quad (2.1)$$

Yalıtım biriminin başlangıç rijitliği k_1 için TBDY (2018) kurşun çekirdeğin elastik rijitliğinin kullanılacağını belirtir. İkincil (elastik ötesi) rijitlik için ise denklem (2.2) kullanılmaktadır.

$$k_2 = G_v(A_r/T_r) \quad (2.2)$$

Yine kurşun çekirdekli elastomer yalıtım biriminin etkin rijitlik ve etkin sönüm oranı sırasıyla denklem (2.3) ve denklem (2.4) ile tanımlanmaktadır.

$$k_e = \frac{F}{D} \quad (2.3)$$

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] \quad (2.4)$$

Son olarak TBDY (2018) tarafından elastomer yalıtım birimlerinin düşey rijitliği denklem (2.5) ile tanımlanmaktadır.

$$k_v = \frac{E_v A_r}{T_r} \quad (2.5)$$

2.4.2 Ek sönümleme

Pasif kontrol sistemlerinden bir diğeri ek sönümleme ya da diğeri adıyla tamamlayıcı sönümleme sistemleridir. ‘Mekanik sönümleyiciler’ olarak isimlendirilen ve enerji tüketme özelliğine sahip olan cihazların yapılara dahil edilmesi ile oluşturulan ek sönümleme sistemleri, ana taşıyıcı sistemin hareketi ile etkinleşen ve deprem yer hareketi esnasında yapı dinamik tepkisinin azaltılmasını sağlayan sistemlerdir (Christopoulos ve Filiatrault, 2006). Bu ek sönümleme sistemleri sönümleyicilerin bağlantı noktaları arasındaki görelî hıza bağımlı olarak hareket ederek deprem enerjisini yapıdan uzaklaştırabileceği gibi bağlantı noktaları arasındaki görelî yerdeğiştirmeye bağımlı olarak hareket ederek de enerji uzaklaştırabilir. Yine ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD) gibi doğrudan hareket ile etkinlik gösteren ek sönümleme sistemleri de bulunmaktadır. Bu sistemlerin enerji sönümlemesi yapı ana taşıyıcı sisteminde oluşacak enerji sönümleme talebini azaltarak yapı performansını artıracaktır.

Her ne kadar bu sistemler yapıya gelen enerjinin genellikle büyük kısmını sönümleseler de; burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ) gibi sınırlı sayıda sistemin dışında kalan ek sönümleme sistemlerinin deprem yüklerini karşılamada ana (birincil) sistemler olarak kullanılmasına yönetmelikler tarafından izin verilmemektedir (NEHRP, 2015, bölüm 16). Bunun yerine ek sönümleme sistemleri ana taşıyıcı sistemi destekleyerek yapının deprem performansını iyileştirmek için kullanılırlar. Yine ek sönümleme sistemlerinden yüksek verim alabilmek amacıyla her bir yapının özelliğine ve deprem tehlikesinin büyüklüğüne göre etkinlikleri değişim gösteren farklı ek sönümleme sistemlerinden faydalanmak makul ve yaygın bir yaklaşımdır.

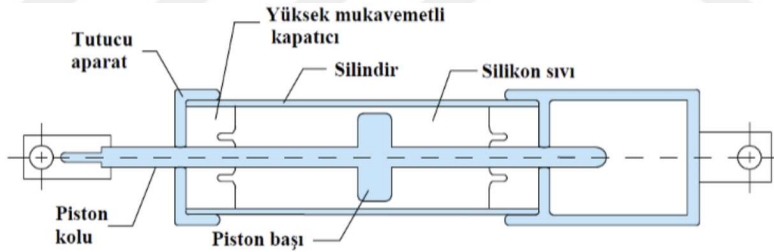
Deprem yalıtım birimlerine benzer şekilde çok sayıda farklı sönümleyici birimleri ek sönümleme sistemlerinde kullanılmaktadır. Yapılardaki sönümü artırmak için kullanılan ve ana taşıyıcı sistemden ayrı olarak yapılara entegre edilen ilk sönümleyiciler histeretik akma elemanları olan metalik sönümleyicilerdir (Christopoulos ve Filiatrault, 2006). Sonraları bu sönümleyicilere sürtünme tipi, viskoz ve visko-elastik gibi yeni türler eklenmiştir. Yine mevcut sönümleyici cihazlara sürekli yenileri dahil olmaya devam etmektedir. Saaed vd. (2015)'te verilen mevcut bazı sönümleyici tipleri şunlardır:

- Metalik sönümleyiciler
- Sürtünme tipi sönümleyiciler
- Visko-elastik katı sönümleyici
- Visko-elastik sıvı sönümleyici
- Sıvı viskoz sönümleyici (FVD)
- Ayarlı kütle sönümleyici (TMD)
- Ayarlı sıvı sönümleyici (TLD)

Burada sıralanan sönümleyici tiplerinden tez kapsamında incelenen ek sönümleyicili yapının tasarımında sıvı viskoz sönümleyiciler (FVD) ele alınmıştır. Sönümleyicilerin ve ek sönümleme sistemlerinin tasarımı ile ilgili henüz ülkemizde bir standart bulunmadığından ek sönümleyicili yapının tasarımları ASCE/SEI 7-22'de verilen kurallara göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

2.4.2.1 Sıvı viskoz sönümleyici

Üst bölümde bahsedildiği üzere uygulamada yapıya ek sönümleme kazandırılması amacıyla kullanılan birçok farklı sönümleyici birimi bulunmaktadır. Bu ek sönümleme cihazlarından uygulama kolaylığı bakımından yaygın olarak kullanılanlardan biri de sıvı viskoz sönümleyicilerdir. Temel olarak bu sönümleyiciler silindir biçimli bir kap, bu kabın içerisinde tutulan ve yüksek viskoziteye sahip özel bir sıvı, bu sıvıyı paslanmaz çelikten pistonlar ve sönümleyici birimini yapı sistemine birleştiren çelik yapı elemanlarından oluşmaktadır. Bu sönümleyici birimlerinde enerjinin sönümlemesi yüksek viskoziteye sahip sıvının, pistonların sıkıştırılmasıyla küçük orifislerden geçmesi sırasında mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi şeklinde gerçekleşir. Sıvı viskoz sönümleyiciler çelik elemanlara bir uçtan taban plakaları ile birleştirilirken diğer uçtan montaj kolaylığı sağlamak açısından küresel mesnetlerle birleştirilmektedir. Sönümleyicilerin bağlı olduğu çelik elemanlar ile yapı taşıyıcı sisteminde ise geleneksel birleşim yöntemleri kullanılmaktadır. Aşağıda Şekil 2.6’da tipik bir sıvı viskoz sönümleyiciye ait kesit (Ocak vd., 2023), Şekil 2.7’de ise montajı gerçekleştirilmiş sıvı viskoz sönümleyicilerin yapıdaki görünümü (Taylor, 2022) verilmiştir.



Şekil 2.6 : Tipik sıvı viskoz sönümleyici kesiti (Ocak vd., 2023).



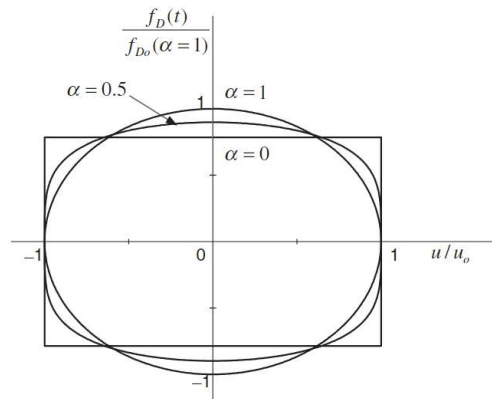
Şekil 2.7 : Montajı tamamlanmış sıvı viskoz sönümleyiciler (Taylor, 2022).

Sıvı viskoz sönümleyici veya diğer türden ek sönümleme birimlerinin dinamik etkiler altında davranışına dair ülkemizde herhangi bir standart bulunmamaktadır. Yine tez kapsamında ek sönümleme sistemi ile ek sönümleyicili yapının tasarımında başvurulmuş ASCE/SEI 7-22’de ise yaklaşım, doğrudan her tür ek sönümleyiciye ait davranışa dair kurallar tanımlamaktansa bu cihazlar için genel kuralların verilmesidir. Bu nedenle ASCE/SEI 7-22’de sıvı viskoz sönümleyicilerin davranışları ile ilgili hız-yerdeğiştirme ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkileri, TBDY (2018) yardımıyla kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için gerçekleştirilenin aksine doğrudan elde edilememektedir. Bu yaklaşımın her farklı tür ek sönümleyicinin davranışının farklı parametreler üzerinden belirlendiği göz önünde bulundurulduğunda makul bir yaklaşım olduğu görülmektedir. Yine bu cihazların azımsanamayacak miktarda türü aynı ürünlerin farklı üreticiler tarafından üretilmesi durumunda bile farklı özellikler gösterebilmektedir (NEHRP, 2015, bölüm 16). Tüm bunlar göz önüne alınarak tez çalışması kapsamında sıvı viskoz sönümleyicilerin yanal dinamik etkiler altında davranışları literatürde yer alan çalışmalar ile ele alınmıştır.

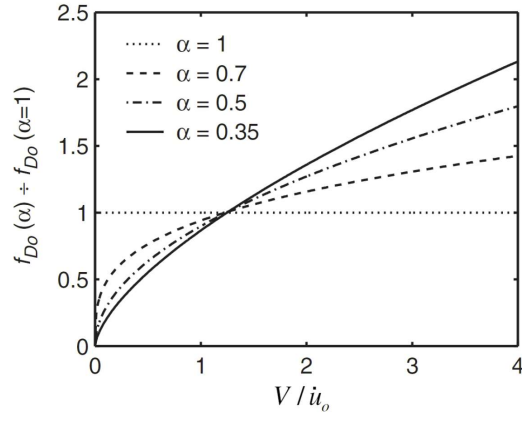
NEHRP, (2015) sıvı viskoz sönümleyicilerin davranışlarının basitçe, idealleştirilmiş denklem (2.6) ile ele alınabileceğini belirtmektedir. Burada sgn hızın yönüne göre -1, 0 veya +1 değerleri alan işaret fonksiyonu (signum function) ifade etmektedir ve böylelikle kuvvetin yönünü de belirlemektedir (Lin ve Chopra, 2002).

$$F = C|v|^{\alpha} \text{sgn}(v) \quad (2.6)$$

Buna göre farklı hız üssü değerleri için sıvı viskoz sönümleyicilere ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri Şekil 2.8’de, kuvvet-hız eğrileri ise Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



Şekil 2.8 : Sıvı viskoz sönümleyici kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi (Lin ve Chopra, 2002).



Şekil 2.9 : Sıvı viskoz sönümleyici kuvvet-hız eğrisi (Lin ve Chopra, 2002).

Yukarıda teorik olarak verilen kuvvet-yerdeğiştirme ve kuvvet-hız eğrilerinin tezde ele alınan ek sönümleyicili yapı özelinde elde edilen biçimle 3.4.2 bölümünde ek sönümleyicili yapının ön tasarım aşamasında yer verilmiştir.

3. DEPREM YALITIMI VE EK SÖNÜMLEME

Mevcut durumu ve teorik arka planı üst bölümlerde verilen yapı pasif kontrol sistemlerinin etkilerini karşılaştırmalı değerlendirmeyi hedefleyen çalışmada bu bölümde çalışmanın yöntemi açıklanmıştır. Karşılaştırması gerçekleştirilen yapılardan ankastre yapı düşey yükler altında önboyutlandırılmış ve deprem yalıtımlı yapı ile ilave sönümleyici yapıda bu taşıyıcı sistem kullanılmıştır. Yine deprem yalıtımı için yalıtım birimleri kurşun çekirdekli kauçuk tipi, ilave sönümleme için seçilen sönümleyici birimleri ise sıvı viskoz sönümleyici tipi seçilmiştir. Deprem yalıtımlı yapı ve ilave sönümleyicili yapıda genel yapı parametreleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler (ZTADOA) sonucu elde edilmiştir. Tüm analizlerde CSI ETABS v21.1.0 yapısal analiz ve tasarım programı kullanılmıştır (ETABS, 2023).

Takip eden alt bölümlerde öncelikle her 3 tür yapıya ait yapı genel bilgileri ve düşey yükler verilmiştir. Sonrasında yapının bulunduğu konum ve zemin sınıfı dikkate alınarak elde edilen yatay elastik tasarım spektrumu elde edilmiş ve gerçekleştirilen analizlerde kullanılan deprem yer hareketlerinin seçimi ve ölçeklendirilmesi açıklanmıştır. Son kısımda ise sırasıyla deprem yalıtımlı ve ilave sönümleyicili yapılarda kullanılan malzemelerin özellikleri ve sınır değerleri ile ön tasarım yöntemleri; sonrasında ise modelleme ve analiz yöntemleri ile stabilite kontrollerine yer verilmiştir.

3.1 Yapı Bilgisi

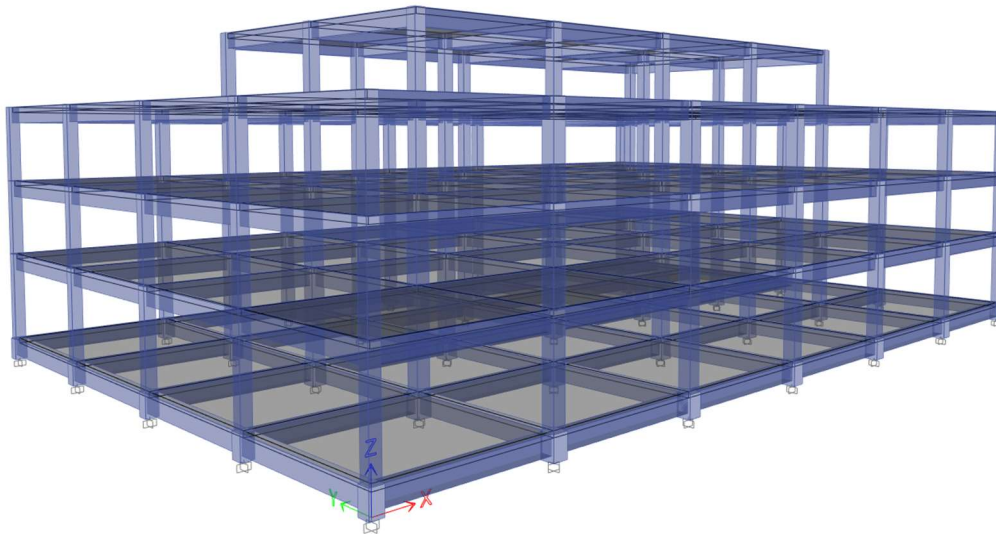
Modelleme ve analizleri gerçekleştirilen yapının genel tasvirine, yapıya etkiyen düşey yüklere ve taşıyıcı sistem ile ilgili detaylara aşağıdaki alt bölümlerde yer verilmiştir.

3.1.1 Yapı genel bilgisi

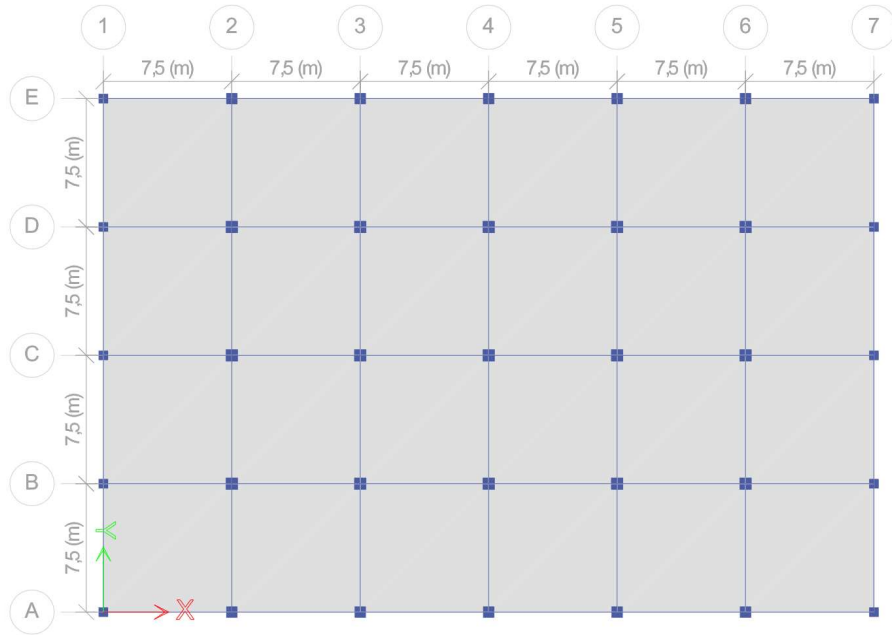
Tez çalışmasında ele alınan hipotetik yapının Afet Planlama İstasyonu olarak kullanılacağı göz önüne alınmış ve mimari planı buna uygun olarak belirlenmiştir. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapı 4 katlı olup en üst kat geniş ve merkeze

yerleştirilmiş bir çatı katına sahiptir. Yapı birinci katı veri depolama aygıtları ve elektronik bileşenler ile diğeri mimari ve mekanik sistemleri içereceğinden 4.2 m yüksekliğe, diğerkatlar ise 3.6 m yüksekliğe sahiptir. Kolaylık sağlaması açısından uzun plan boyu doğrultusu X, kısa plan boyu doğrultusu ise Y ile isimlendirilmiştir. Yapı plan konfigürasyonu her iki doğrultuda düzenli ve simetriktir olup plan boyutları X doğrultusunda 45 m, Y doğrultusunda ise 30 m'dir. Alanı diğerkat alanlarının üçte birine eşit olan çatı katında ise boyutlar X doğrultusunda 30 m, Y doğrultusunda ise 15 m'dir. Normal katlarda 1350 m², çatı katında ise 450 m² alana sahip yapıda eksen açıklıkları her iki doğrultuda da 7.5 m'dir.

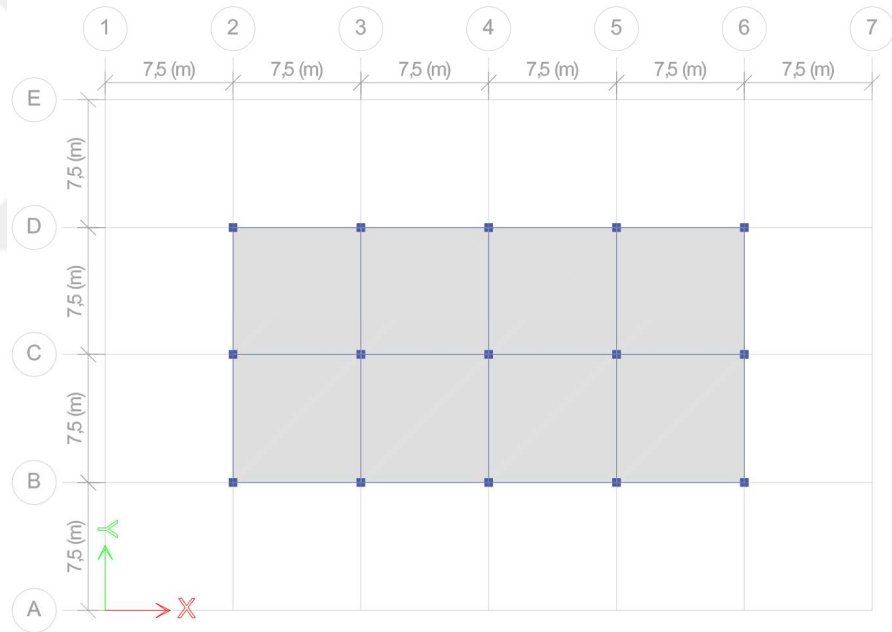
Her ne kadar yapı genel parametreleri ile ilgilenildiğinden döşeme ve temel tasarımı gerçekleştirilmemiş olsa da kirişli döşeme plağının kalınlığı TS 500 bölüm 11.4'te belirtilen minimum sınırlar ve yine TS 500 bölüm 13.2'te belirtilen eğilme elemanlarında sehim hesabı gerektirmeyen yükseklik/açıklık oranları kullanılarak belirlenmiştir. Burada bölüm 11.4 için TS 500 denklem 11.1 ile elde edilen 187.5 mm ve 80 mm değerleri yerine sehim hesabı gerektirmeyen ve TS 500 çizelge 13.1 ile elde edilen 250 mm değeri belirleyici olmuştur. Bu sonuca uygun olarak yapıda bulunan tüm döşemeler aynı tutulmuş ve iki doğrultuda çalışan 25 cm plak döşeme olarak modellenmiştir. Zeminin taşıma gücünün yeterli olduğu varsayımıyla ve sonuçlarda doğrudan ilgilenilmediğinden yapının temel sisteminin tekil temellerden teşkil edildiği kabul edilmiştir. Tez kapsamındaki tüm analizlerde kullanılan ve ayrıntıları açıklanan yapının 3 boyutlu modeli Şekil 3.1'de, ilk 3 kata ait plan Şekil 3.2'de ve çatı katına ait plan Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.1 : Yapı 3 boyutlu modeli.



Şekil 3.2 : İlk 3 kat planı.



Şekil 3.3 : Çatı katı planı.

Yapı birinci katı zemin seviyesinin hemen üzerindedir. Birinci katın hemen altında esas amacı deprem yalıtımlı yapıda yalıtım birimlerinin kolay montajını sağlamak olan ve inşaat sırasında kolaylık sağlamak ve bakım personeli için açıklık oluşturmak amacıyla tesis edilen 1 metrelik bir boşluk (meskûn olmayan, sürünerek erişilebilen alan) bırakılmıştır.

Tek tip döşeme seçimine benzer şekilde yapıdaki kirişlerin boyutları da standart tutulmuştur. Buna göre kirişlerin boyutlandırılmasında TBDY 7.4.1’de ve TS 500

7.3'te verilen enkesit koşullarına uyulmuş ve yine TS 500 bölüm 13.2'te belirtilen eğilme elemanlarında sehim hesabı gerektirmeyen yükseklik/açıklık oranları dikkate alınmıştır. Kiriş genişliği minimum değer olan 25 cm olarak seçilmiştir. Kiriş yüksekliğinin belirlenmesinde ise sehim hesabı gerektirmeme koşulu gereği elde edilen 625 mm'ye karşın TBDY 7.4.1'den 750 mm değeri minimum değer olarak elde edilmiştir ve kiriş yüksekliği 75 cm olarak belirlenmiştir. Burada yine deprem yalıtımlı yapıda hem deprem yalıtım birimleri tarafından aktarılan büyük P-Δ etkilerini hem de kesme kuvvetlerini karşılamak amacıyla en alt kat kirişlerinin genişlikleri 45 cm'ye çıkarılmıştır.

Buraya kadar yapıda bahsedilmeyen tek taşıyıcı sistem elemanı olan kolonların boyutlarına ve yapı üzerindeki yerleşimlerine, yapı düşey yüklerinin açıklandığı ve bu değerlerin kullanılarak boyutlandırmanın tamamlandığı bir sonraki alt bölümde yer verilmiştir.

3.1.2 Yapı düşey statik yükleri

Modellenen yapıya ait düşey statik yüklerin belirlenmesinde TS 498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri standardından yararlanılmıştır. Afet Planlama İstasyonu olarak kullanılması planlanan yapıda helikopter pisti ve diğer fonksiyonel gereklilikleri karşılamak için yüksek hareketli yük dikkate alınmıştır. Kolon önboyutlandırması ve yapı sismik ağırlığının belirlenmesinde kullanılan ve yapı modelinde yer alan düşey statik yükler sabit ve hareketli yükler olarak ayrılmış ve aşağıda Çizelge 3.1 ile Çizelge 3.2'de verilmiştir. Gerekli durumlarda TS ISO 9194'te yer alan malzeme birim ağırlıkları kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 : Sabit yükler.

Yük tipi	Birim ağırlık / Birim alan başına yük / Çizgisel yük
Betonarme taşıyıcı sistem elemanları	25.00 kN/m ³
Kaplama yükleri	2.00 kN/m ² (Tüm döşemelerde)
Mekanik tesisat + asma tavan yükleri	0.50 kN/m ² (Tüm döşemelerde)
Bölme duvarlar	7.00 kN/m (2. kat, 3. kat ve 4. kat) 8.50 kN/m (1. kat)
Çatı katı mekanik ekipman yükü	2.50 kN/m ² (Tüm çatı katı döşemelerinde)
Parapet yükü	0.25 kN/m (Kiriş uzunluğunca)

Çizelge 3.2 : Hareketli yükler.

Yük tipi	Birim alan başına yük
Normal kat hareketli yükü	5.00 kN/m ² (Tüm döşemelerde)
Çatı katı hareketli yükü	2.50 kN/m ² (Tüm çatı katı döşemelerinde)

3.1.3 Kolon boyutlandırması

Taşıyıcı sistem elemanlarından döşeme ve kiriş boyutları ile sabit ve hareketli yükleri belirlenen yapıda kolon boyutlandırılması bu bölümde gerçekleştirilmiştir. TS 500 7.4.1’de yer alan denklem 7.7 ile belirlenen kolon boyutları daha sonrasında TBDY 7.3.1’de yer alan enkesit koşullarına uygun olarak kontrol edilmiştir. Burada farklı yük alanına sahip tüm kolon tipleri belirlenmiş ve her biri üzerindeki artırılmış (tasarım) eksenel kuvvetleri elde edilmiştir. Bu yüklere uygun olarak nihai kolon boyutları belirlenmiştir.

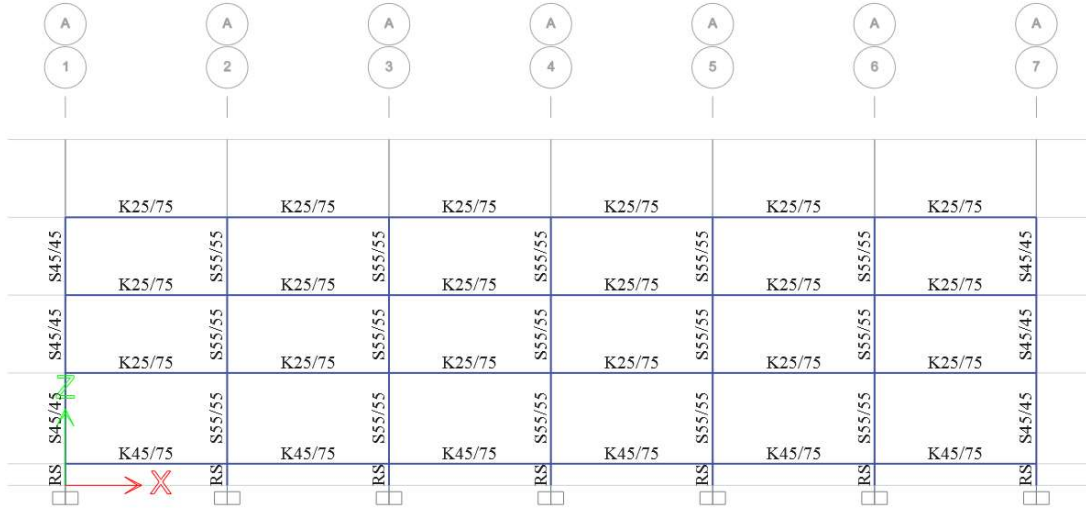
En genel haliyle gerçekleştirilen kolon boyutlandırmasında deprem yalıtımlı yapıda gerçekleşebileceği öngörülen bazı elverişsiz durumlar için bu aşamada bazı farklılıklar gerçekleştirilmiştir. Bunlardan ilki betonarme çerçeve kolonlarında deprem etkisinin oluşturduğu eksenel kuvvetlerin (overturning forces) ve kaldırma kuvvetlerinin (uplift) deprem yalıtım birimlerinde yığılmasını engellemek için alt katlarda kolonların boyutlarının düşey statik yükler için gerekli olandan daha fazla artırılması ve iç kolonların boyutlarının çevre kolonların boyutlarından daha fazla artırılmasıdır. Yine ikinci farklılık ise deprem yalıtım birimlerinin üst plakalarından kirişlere uzanan kolon kısımlarının $P-\Delta$ etkilerinin oluşturduğu yüksek momentlere direnebilmeleri için her iki doğrultuda rijitleştirilmesidir. Ayrıca taşıyıcı sistemin burulma direncinin artırılması için çevre kolonlarının boyutları da artırılmıştır.

Kolon enkesitleri belirlenirken katlar arası geçişlerde yük aktarımında problem olmaması ve düşey düzensizlikler oluşmamasına dikkat edilmiştir. Buna göre düşeyde aynı doğrultuda bulunan herhangi iki ardışık kolonun herhangi bir doğrultudaki enkesit uzunluğu diğerinden 10 cm’den fazla olmayacak şekilde seçilmiştir. Kat rijitliklerinin her iki ekseninde yakın değerlere sahip olmasını sağlayan kare enkesitlere sahip kolonlar basitliği sağlamak için yapı boyunca mümkün oldukça az tipte seçilmeye çalışılmıştır. Yapı taşıyıcı sistemini oluşturan kolonların yerleşimi Çizelge 3.3’te verilmiştir. Yapı her iki doğrultuda da simetrik olduğundan çizelgede yalnızca tek simetrik kısma ait değerler yer almaktadır.

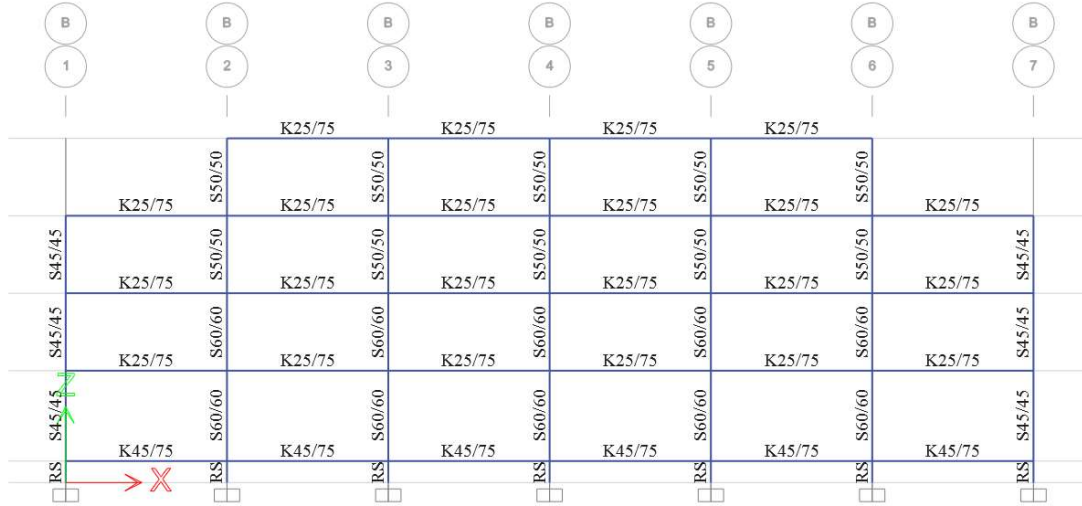
Benzer şekilde Çizelge 3.3’te özetlenen kolon boyutlandırması ve yerleşimi X doğrultusunda A (E) ve B (D ve C) eksenleri için sırasıyla Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te verilmiştir. Burada B ve D eksenleri ile aynı taşıyıcı sisteme sahip C ekseni için ayrı bir şekle yer verilmemiştir.

Çizelge 3.3 : Kolon enkesit boyutları (cm×cm).

Kat	Plan Konumu											
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
4. Kat	-	-	-	-	-	55x55	55x55	55x55	-	55x55	55x55	55x55
3. Kat	50x50	60x60	60x60	60x60	50x50	55x55	55x55	55x55	50x50	55x55	55x55	55x55
2. Kat	50x50	60x60	60x60	60x60	50x50	65x65	65x65	65x65	50x50	65x65	65x65	65x65
1. Kat	50x50	60x60	60x60	60x60	50x50	65x65	65x65	65x65	50x50	65x65	65x65	65x65



Şekil 3.4 : A ve E eksenlerine ait taşıyıcı sistem planı.



Şekil 3.5 : B, C ve D eksenlerine ait taşıyıcı sistem planı.

Yapı taşıyıcı sisteminin Y doğrultusundaki 1 (7) ve 2 (6), 3 (5) ile 4 eksenleri için görünümü sırasıyla Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de görülmektedir. Burada 2, 3, 4, 5 ve 6 eksenlerinin tümüne ait taşıyıcı sistem şeması aynıdır.



Şekil 3.6 : 1 ve 7 eksenlerine ait taşıyıcı sistem planı.



Şekil 3.7 : 2, 3, 4, 5 ve 6 eksenlerine ait taşıyıcı sistem planı.

Düşey statik yükleri ve taşıyıcı sistemi üst kısımda açıklanan yapının deprem hesaplarında kullanılacak kat sismik ağırlıkları Çizelge 3.4'te özetlenmiştir. Kat sismik ağırlıkları doğrudan ETABS programından ve yapı daha çok bir işyerine benzetilebileceğinden hareketli yük kütle katılım katsayısı $n = 0.3$ girilerek elde edilmiştir.

Çizelge 3.4 : Kat sismik ağırlıkları (kN).

Kat	Bileşke Sabit Yük	Bileşke Hareketli Yük	Toplam Kat Sismik Ağırlığı
Çatı	6028	1020	6334
4. kat	17668	6525	19626
3. kat	17405	6525	19363
2. kat	17562	6525	19520
1. kat	19394	6525	21352
Toplam	78058	27120	86194

3.2 Yapı Deprem Tasarım Parametreleri

Bir önceki alt bölümde yapı genel bilgisi ve taşıyıcı sisteminin ayrıntıları verilen yapının deprem tasarımı ile ilgili bilgilere bu bölümde yer verilmiştir. Takip eden alt bölümlerde sırasıyla kullanım amacı Afet Planlama İstasyonu olan yapı ile ilgili sismik tasarım kriterlerine, yapının bulunduğu konum ve yerel zemin sınıfı kullanılarak elde edilen yatay elastik tasarım spektrumuna ve son olarak da zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak deprem yer hareketlerinin seçimi ve ölçeklendirilmesine yer verilmiştir.

3.2.1 Deprem tasarım kriterleri

Taşıyıcı sistemi yukarıdaki bölümde açıklanan yapının sismik tasarım kriterleri TBDY bölüm 3'e göre belirlenmiştir (TBDY, 2018). Buna kullanım amacı Afet Planlama İstasyonu olan yapının Bina Kullanım Sınıfı $BKS = 1$ ve Bina Önem Katsayısı $I = 1.5$ 'tir. Bu değerler TBDY tablo 3.1'den elde edilmiştir. İstanbul ili Sarıyer ilçesinde İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'nde inşa edileceği kabul edilen hipotetik yapı 41.105° enlem ve 29.108° boylamında yer almaktadır. Yine yapının bulunduğu konumdaki yerel zemin sınıfı Şeşetyan vd. (2020, s. 33) tarafından Sarıyer ilçesi için özel hazırlanan rapordan ZC olarak belirlenmiştir. Yapı konumu ve yerel zemin sınıfı bilgileri Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'nda girilerek DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı $S_{DS} = 0.866$ olarak elde edilmiştir. Bu $S_{DS} = 0.866$ değeri ve $BKS = 1$ değeri kullanılarak TBDY tablo 3.2 yardımıyla bina Deprem Tasarım Sınıfı $DTS = 1a$ olarak bulunmuştur.

TBDY 3.3.1.2 gereği bina tabanı temel üst kotu olarak ve buna bağlı olarak bina yüksekliği $H_N = 16$ m olarak belirlenmiştir. Yine $DTS = 1a$ ve $H_N = 16$ m için TBDY tablo 3.3 yardımıyla Bina Yükseklik Sınıfı $BYS = 6$ olarak elde edilir.

Deprem Tasarım Sınıfı $1a$ olarak belirlenen yapı için TBDY tablo 3.4 incelendiğinde yönetmeliğin ankastre temelli olarak tasarlanacak yapıda beklediği performans hedefi DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde Normal Performans Hedefi'dir. Bu performans hedefinin sağlandığını göstermek için uygulanacak tasarım yaklaşımı ise Dayanıma Göre Tasarım'dır ve yapının bu tasarım yaklaşımına göre ilgili deprem yer hareketi düzeyinde Kontrollü Hasar performansını gerçekleştirmesinin beklenildiği gösterilmelidir.

TBDY’de deprem yalıtımlı binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları üstyapı ile yalıtım sistemi ve altyapı olarak 2 ayrı kısımda ele alınmıştır. TBDY tablo 3.5’e göre $DTS = 1a$ olan ve yeni yapılacak deprem yalıtımlı bir binada üstyapı için beklenen performans hedefi ankastre temelli yapıdan farklı olarak İleri Performans Hedefi’dir ve bu performans hedefinin sağlandığını göstermek için üstyapıda ve altyapıda uygulanacak tasarım yaklaşımı DGT; yalıtım sisteminde uygulanacak tasarım yaklaşımı ise Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım ŞGDT’dir. Yine her ikisinde yapının ilgili deprem yer hareketi düzeylerinde (üstyapı için DD-2, yalıtım sistemi ve altyapı için DD-1) Kesintisiz Kullanım performans hedefini sağladığı gösterilmelidir.

Ek sönümleyici yapı ile ilgili TBDY’de herhangi bir kural yer almadığından ilave sönümleyicili yapının tasarımında ankastre yapı ile benzer deprem tasarım kriterleri olduğu kabulü yapılmıştır. Yine bu yapının tasarımında analiz sonuçlarının kıyaslanmasında etkili olduğu düşünülen ve TBDY’de yer almayan diğer kriterlerde ASCE/SEI 7-22’den yararlanılmıştır.

TBDY tablo 4.1’e uygun olarak ankastre temelli yapının Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R , A11 ile belirtilen deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalarda kullanılan 8; Dayanım Fazlalığı Katsayısı D ise 2.5’tir. Deprem yalıtımlı yapıda ise TBDY (2018) 14.3.4’e uygun olarak alt ve üstyapılar sınırlı süneklik düzeyine göre tasarlanabilmektedir ve bununla uyumlu olarak $DTS = 1a$ olan yapı için verilen KK performans hedefinde TBDY (2018) 14.9.2’ye uygun olarak R değeri 1.2’ye eşittir. Aynı performans hedefi için verilen D değeri yine 1.2 olarak verilmektedir. Ek sönümleyicili yapıda ise özel bir düzenleme bulunmadığından ankastre yapı için verilen aynı R ve D değerlerine sahiptir.

Deprem hesap yöntemini ve taşıyıcı sistem davranış katsayısını değiştirebilen ve deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiğini göstermek üzere ek modelleme ihtiyacı doğurabilen planda ve düşeyde düzensizlik durumlarından herhangi biri, basit ve simetrik bir plana ve eş veya yakın yükseklikte katlara sahip olan ve tezde ele alınan yapılarda bulunmamaktadır.

3.2.2 Deprem tehlikesinin belirlenmesi

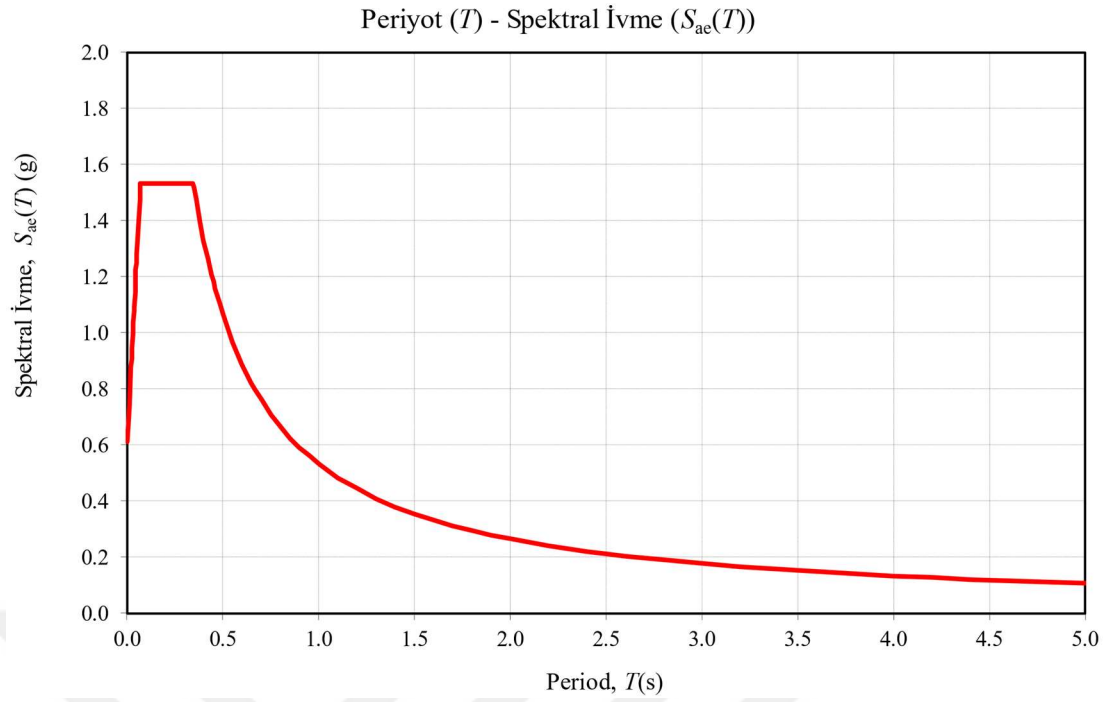
Parametrik çalışması gerçekleştirilen yapının sahaya özel deprem tehlike tehlikesi analizine ihtiyaç duymadığı kabul edilerek deprem tehlikesi TBDY bölüm 2.3'e uygun olarak belirlenmiştir. TBDY 2.1.2'nin yönlendirmesi ve yapıya ait 41.105° enlem ve 29.108° boylamları ile ZC yerel zemin sınıfının Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'nda girdi olarak kullanılması sonucunda standart deprem yer hareketi spektrumları elde edilmiştir. İlgili yapıda TBDY 14.3.3'te belirtildiği üzere tasarımda göz önüne alınmak üzere hem DD-1 hem de DD-2 deprem yer hareketi düzeyine ait yatay elastik tasarım spektrumları oluşturulmuştur. Düşey deprem etkisi yine yönetmeliğe uygun olarak 4.4.3.2 maddesi gereği yaklaşık olarak ele alındığından düşey spektrum ile ilgilenilmemiştir.

Yukarıda belirtilen şekilde her iki deprem yer hareketi düzeyi için elde edilen ve yatay elastik tasarım spektrumlarının oluşturulmasında kullanılan parametreler Çizelge 3.5'te özetlenmiştir. Burada S_S kısa periyot harita spektral ivme katsayısını, S_1 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısını, F_S ve F_1 yerel zemin etki katsayılarını ve T_A ve T_B yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotlarını göstermektedir. Yine S_S ve S_1 değerlerinin sırasıyla F_S ve F_1 değerleri ile ayrı ayrı çarpımlarından elde edilen S_{DS} ve S_{D1} de ilgili periyotlar için tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir. Son olarak T_L ise yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu değeridir ve 6 s'dir.

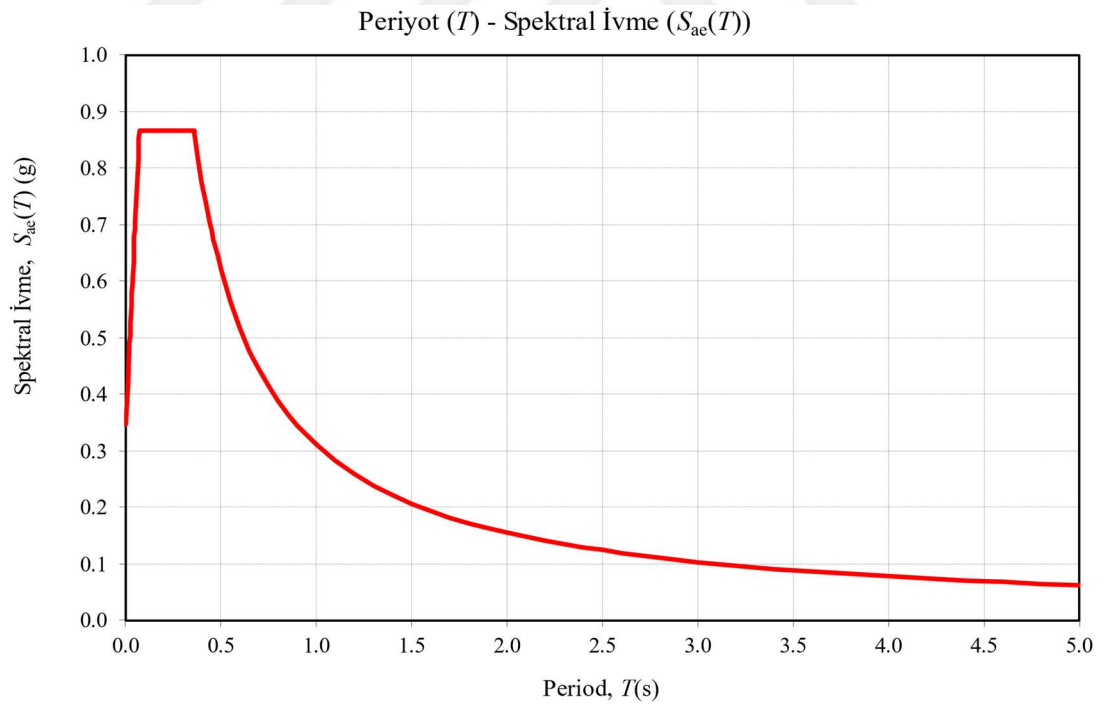
Çizelge 3.5 : DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için yatay elastik tasarım spektrum parametreleri.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-1	DD-2
Parametre	Değer	
S_S	1.278	0.713
S_1	0.355	0.207
F_S	1.200	1.215
F_1	1.500	1.500
S_{DS}	1.534	0.866
S_{D1}	0.532	0.310
T_A (s)	0.069	0.072
T_B (s)	0.347	0.358
T_L (s)	6	6

Çizelge 3.5'te özetlenen değerler kullanılarak TBDY 2.3.4.1'de yer alan ifadeler yardımıyla elde edilen yatay elastik tasarım spektrumları DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumu.



Şekil 3.9 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumu.

3.2.3 Deprem yer hareketi seçimi ve ölçeklendirilmesi

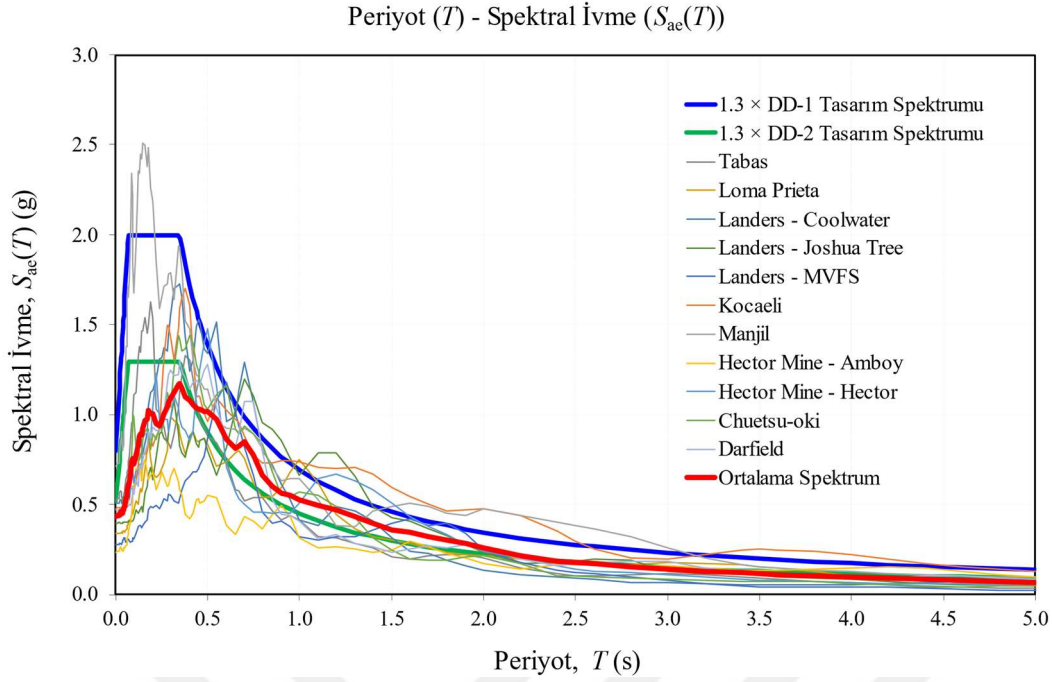
Deprem yalıtımlı ve ilave sönümleyici olarak tasarlanan yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde (ZTADOTA) kullanılacak deprem yer hareketlerinin tanımlanmasına bu alt bölümde yer verilmiştir. TBDY bölüm 5.7'ye göre gerçekleştirilecek analizlerde kullanılmak üzere deprem yer hareketleri kayıtları yine TBDY 2.5.1'de yer alan kurallara uygun olarak seçilmiştir. Aşağıda bu deprem yer hareketleri kayıtlarının seçiminde dikkate alınan kriterler verilmiştir. Kriterlerin belirlenmesinde Boğaziçi Üniversitesi (2019)'da İstanbul ili için verilen senaryo depremi göz önüne alınmış ve yine NEHRP (2015, bölüm 3)'te verilen yaklaşım benimsenmiştir. Seçilen depremlerde, deprem süresi (duration) ise ortalama sayılabilecek bir aralık ile sınırlandırılmış ve böylelikle analiz süresinin makul düzeyde tutulması sağlanmıştır.

- Kaynak mekanizması : Doğrultu atımlı
- Deprem büyüklüğü $M_w : \geq 6.8$ (7.5)
- Fay uzaklıkları R_{jb} ve $R_{rup} : 0 - 50$ km (~30 km)
- Yerel zemin koşulları $(V_s)_{30} : 250 - 800$ m/s (ZC)
- Deprem süresi $D_{5-95} : 30 - 50$ s
- Ölçekleme periyot aralığı $T : 0.17 - 3.22$ s
- Ölçek katsayısı : 0.5 - 3.0

Yukarıda belirtilen hususlara dikkat edilerek seçilen deprem yer hareketleri ve bu yer hareketlerine ait deprem ivme kayıtlarının özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Yine her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak elde edilen bileşke yatay spektrumları ve DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait tasarım spektrumları Şekil 3.10'da kıyaslamalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Zaman tanım alanında analizler için seçilen deprem yer hareketleri ve karakteristikleri.

Numara	RSN	Deprem Adı	Yıl	İstasyon Adı	Büyüklik (M_w)	R_{jb} (km)	R_{rup} (km)	Kaynak Mekanizması	$(V_s)_{30}$ (m/s)	D_{5-95} (s)
1	139	Tabas	1978	Dayhook	7.35	0	13.94	Ters fay	472	11.3
2	787	Loma Prieta	1989	Palo Alto - SLAC Lab	6.93	30.62	30.86	Ters oblik fay	425	12.7
3	848	Landers	1992	Coolwater	7.28	19.74	19.74	Doğrultu atımlı fay	353	10.6
4	864	Landers	1992	Joshua Tree	7.28	11.03	11.03	Doğrultu atımlı fay	379	27.1
5	881	Landers	1992	Morongo Valley Fire Station	7.28	17.36	17.36	Doğrultu atımlı fay	396	31.9
6	1158	Kocaeli	1999	Duzce	7.51	13.60	15.37	Doğrultu atımlı fay	282	11.8
7	1633	Manjil	1990	Abbar	7.37	12.55	12.55	Doğrultu atımlı fay	724	29.1
8	1762	Hector Mine	1999	Amboy	7.13	41.81	43.05	Doğrultu atımlı fay	383	26.7
9	1787	Hector Mine	1999	Hector	7.13	10.35	11.66	Doğrultu atımlı fay	726	11.7
10	4864	Chuetsu-oki	2007	Yoitamachi Yoita Nagaoka	6.8	4.69	16.10	Ters fay	655	15.8
11	6923	Darfield	2010	Kaiapoi North School	7.0	30.53	30.53	Doğrultu atımlı fay	255	20.1



Şekil 3.10 : 11 deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökleri alınarak elde edilen bileşke yatay spektrumlar, ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları.

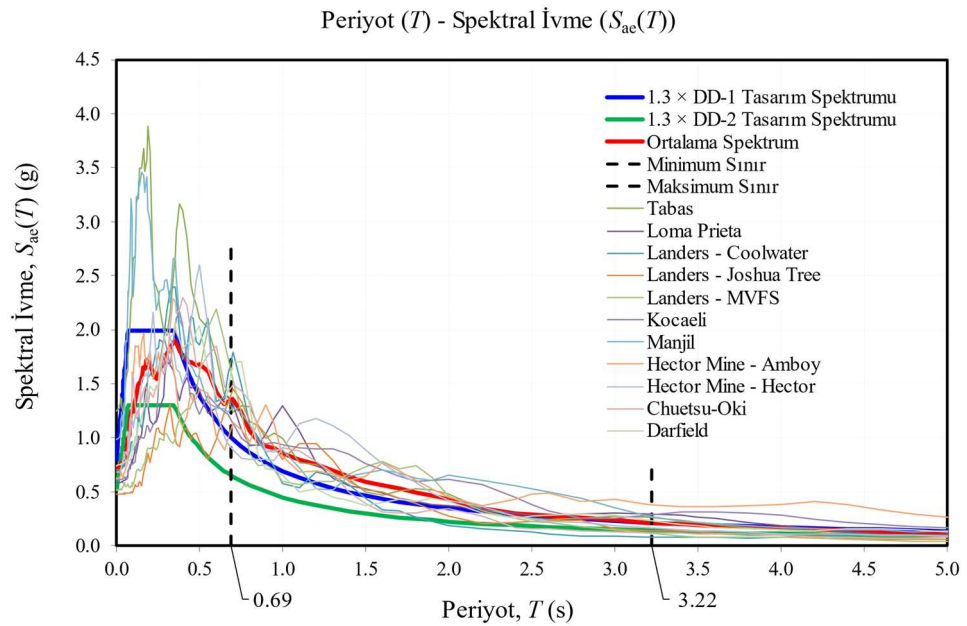
Yukarıda karakteristikleri özetlenen deprem yer hareketlerinin deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili olarak modellenen yapıların zaman tanım alanında analizlerinde kullanılmak üzere uygun yöntemlerle ölçeklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Temel olarak izin verilen basit ölçeklendirme ve spektral uyum yöntemlerinden tez kapsamında basit ölçeklendirme yöntemi seçilmiş ve uygulanmıştır. TBDY 2.5.2’de ayrıntıları verilen yönteme göre seçilen 11 adet deprem kaydına ait spektrumların ortalamasının belirli periyotlar arasındaki genliklerinin, tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3’ten daha küçük olmaması kuralına deprem yer hareketleri ölçeklendirilmiştir. TBDY 2.5.2’de ankastre yapılar için verilen $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ değeri yine aynı maddenin yönlendirmesi ile deprem yalıtımlı yapı için TBDY 14.14.4.2 gereği $0.5T_M$ ve $1.25T_M$ olarak belirlenmiştir. Yine burada bahsedilen genliğe ait minimum periyot sınır değeri, deprem yalıtımlı yapının üst sınır değerleri ile; maksimum periyot sınır değeri ise deprem yalıtımlı yapının alt sınır değerleri ile yönetmeliğe uygun şekilde hesaplanmıştır. Buna göre deprem yalıtımlı yapıda ölçeklendirmede dikkate alınan genlik aralığı 0.69 s ($0.5 \times T_M = 0.5 \times 1.38 = 0.69\text{ s}$) ile 3.22 s ($1.25 \times T_M = 1.25 \times 2.57 = 3.22\text{ s}$) olarak elde edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen kurala uygun şekilde ölçeklenen deprem yer hareketlerine ait ölçek katsayıları her iki deprem yer hareketi düzeyi için Çizelge 3.7’de verilmiştir.

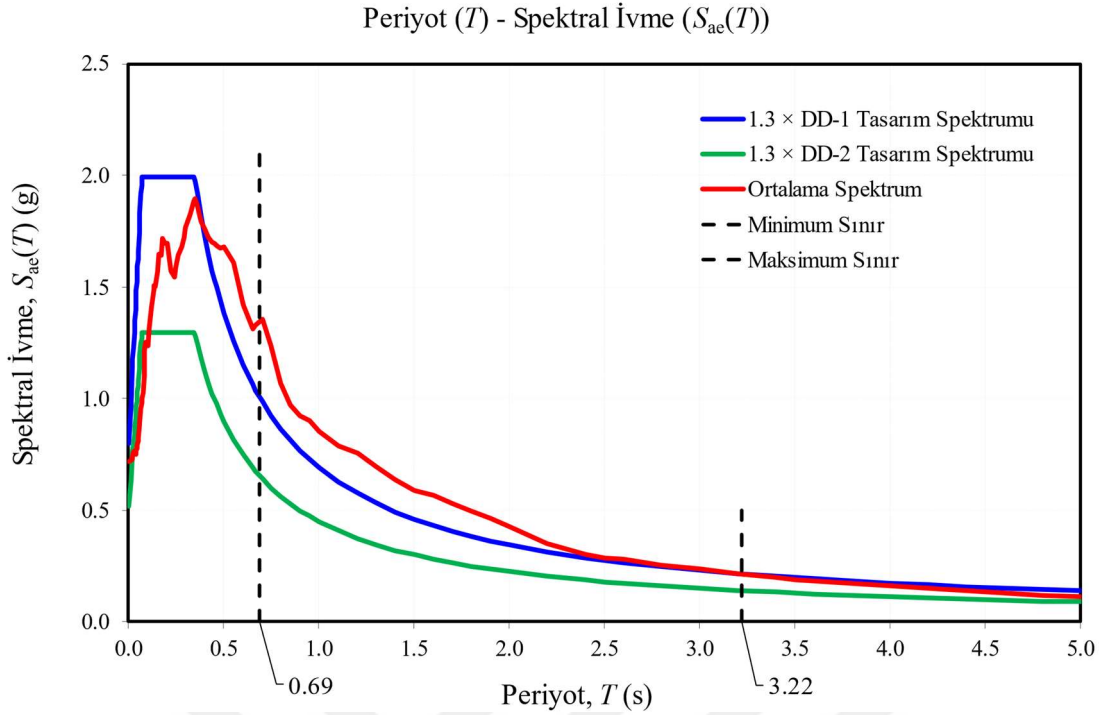
Burada makul bir yaklaşımla ölçeklendirme işlemi DD-1 yer hareketi düzeyi için gerçekleştirilmiş, DD-2 yer hareketi düzeyine ait ölçek katsayıları ise bu değerleri $2/3$ değeri ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Ölçek katsayılarının ilgili deprem kayıtlarına ait her iki yatay bileşene uygulanması ve her iki yatay bileşene ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak elde edilen bileşke yatay spektrumlar, bunların ortalaması alınarak elde ortalama spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Ölçeklendirme öncesi ve sonrasına ait ortalama yatay bileşke yatay spektrumları ile her iki deprem yer hareketi düzeyine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları yine Şekil 3.12’de yer almaktadır.

Çizelge 3.7 : Deprem yalıtımlı yapının zaman tanım alanında analizleri için kullanılan ölçek katsayıları.

Numara	Ölçek Katsayısı	
	DD-1	DD-2
1	2.375	1.550
2	1.725	1.125
3	1.400	0.925
4	1.200	0.800
5	1.850	1.200
6	1.275	0.825
7	1.375	0.900
8	2.625	1.700
9	1.750	1.150
10	1.600	1.050
11	1.600	1.050



Şekil 3.11 : Ölçeklendirilmiş bileşke yatay spektrumlar, ölçeklendirilmiş ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları (Deprem yalıtımlı yapı).



Şekil 3.12 : Ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarına ait ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları (Deprem yalıtımlı yapı).

Deprem yalıtımlı yapı için yukarıda özetlenen deprem kayıtlarının basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmesi işlemi ek sönümleyicili yapı için de benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. TBDY’de ek sönümleyicili yapılara ait zaman tanım analizlerinde kullanılmak üzere seçilen deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi işleminin hangi aralıkta yapılması gerektiğine dair herhangi bir ifade bulunmadığından tezde ele alınan ek sönümleyicili yapı için bu aralık ASCE/SEI 7-22’ye uygun olarak belirlenmiştir. Bu noktada ASCE/SEI 7-16 bölüm 18.7’de alternatif prosedürler olarak verilen ‘Tepki Spektrumu’ veya ‘Eşdeğer Yanal Yük’ yöntemlerinden biri ile belirlenen periyotlar kullanılarak $0.2T_{1D}$ ve $1.25T_{1M}$ sınırlarına sahip olan bu aralığın ASCE/SEI 7-22’de daha basit bir şekilde elde edilecek şekilde güncellendiğini belirtmekte fayda vardır. Burada T_{1D} ve T_{1M} periyotları sırası ile yukarıda belirtilen yöntemlerden biri kullanılarak tasarım depremi göz önüne alınarak elde edilen etkin periyot ve en büyük deprem göz önüne alınarak elde edilen etkin periyodu göstermektedir.

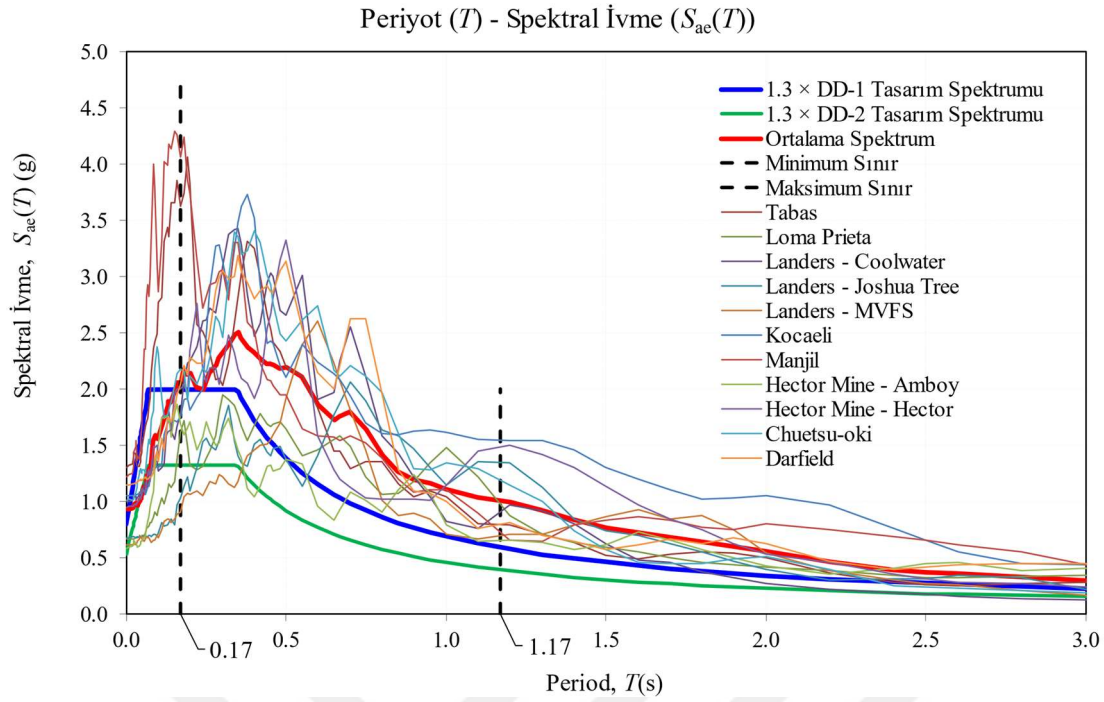
ASCE/SEI 7-22’de ilgili periyot aralığı bölüm 18.2.2.2’nin yönlendirmesi ile bölüm 16.2.3.1 kullanılarak belirlenmektedir. Bu noktada ek sönümleyicili yapılar için kullanılması gereken periyot aralığı en küçük birinci-mod periyodunun %20’si ($0.2T_{p,min}$) ile en büyük birinci-mod periyodunun 1.5 katı ($1.5T_{p,maks}$) olarak verilmiştir. Standart yapılar için verilen bu değerler TBDY bölüm 2.5.2.1 ile de uyumludur. Buna

göre ek sönümleyicili yapının zaman tanım alanında analizlerinde kullanılacak ve bu bölümün üst kısımlarında karakteristikleri verilen deprem yer hareketlerinin ölçeklendirilmesinde kullanılacak periyot aralığı 0.17 s ($0.2 \times T_{p,\min} = 0.2 \times 0.88 = 0.17 \text{ s}$) ile 1.37 s ($1.50 \times T_{p,\max} = 1.50 \times 0.91 = 1.37 \text{ s}$) olarak elde edilmiştir. Burada NEHRP (2015)'te uygulaması gösterilen yaklaşımla yapıya ek sönümleyiciler eklemenin yapı doğal titreşim periyodunda kayda değer bir değişiklik gerçekleştirmediği kabul edilmiş, böylelikle malzemenin maksimum ve minimum sınır değerleri ile deprem tehlikesi seviyesi bu aralığın belirlenmesinde etkili olmamıştır. Yapının en büyük birinci-mod periyodu Y doğrultusunda 0.91 s , en küçük birinci-mod periyodu X doğrultusunda 0.88 s 'dir.

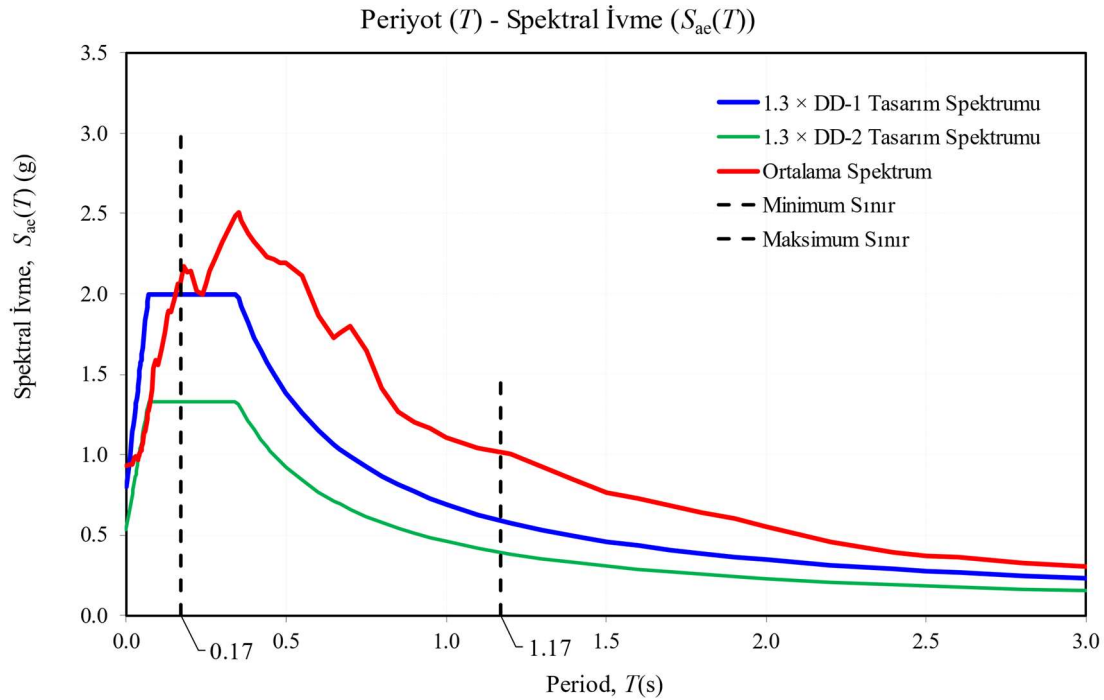
Deprem yalıtımlı yapı için verilen biçime benzer şekilde, ek sönümleyicili için ölçeklendirilen deprem yer hareketlerine ait ölçek katsayıları her iki deprem yer hareketi düzeyi için Çizelge 3.8'de verilmiştir. Yine deprem yalıtımlı yapıda kullanılan yaklaşımla ve ASCE/SEI 7-22 bölüm 18.2.2.2'de verildiği üzere DD-2 yer hareketi düzeyine ait ölçek katsayıları, DD-1 deprem yer hareketi düzeyine ait ölçek katsayılarının $2/3$ değeri ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Her bir ölçek katsayısının ilgili deprem kayıtlarının her iki yatay bileşenine uygulanarak bunların kareleri toplamının karekökleri alınması yöntemiyle bulunan her bir depreme ait bileşke yatay spektrumlar, bunlar kullanılarak elde edilen ortalama yatay spektrum ve her iki deprem yer hareketi düzeyine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Ölçeklendirmeden önce ve ölçeklendirmeden sonra elde edilen ortalama yatay spektrumun her iki tasarım ivme spektrumu ile kıyaslaması ise Şekil 3.14'te verilmiştir.

Çizelge 3.8 : Ek sönümleyicili yapının zaman tanım alanında analizleri için kullanılan ölçek katsayıları.

Numara	Ölçek Katsayısı	
	DD-1	DD-2
1	2.500	1.675
2	1.975	1.325
3	1.975	1.325
4	1.725	1.150
5	2.225	1.500
6	2.200	1.475
7	1.700	1.150
8	2.500	1.675
9	2.250	1.500
10	2.350	1.575
11	2.450	1.650



Şekil 3.13 : Ölçeklendirilmiş bileşke yatay spektrumlar, ölçeklendirilmiş ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları (Ek sönümleyicili yapı).



Şekil 3.14 : Ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarına ait ortalama yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları (Ek sönümleyicili yapı).

3.3 Deprem Yalıtımlı Yapı

Ek sönümleyicili yapı ile kıyaslaması gerçekleştirilecek deprem yalıtımlı yapının modelleme ve analizi ile ilgili bilgiler bu bölümde ele alınmıştır. Takip eden alt bölümlerde öncelikle kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimini oluşturan malzemelere ait nominal değerler ile özellik değişim katsayıları açıklanmıştır. Devamında zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmeden önce deprem yalıtım sisteminin TBDY 14.14.2’de açıklanan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi’ne göre bir ön tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu ön tasarım sonucunda deprem etkileri karşısında beklenen performansı göstermesi makul görünen deprem yalıtım birimi boyutları kullanılarak yapının modellenme yönteminin açıklandığı bir sonraki bölümde yine Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz (ZTADOA)’ların gerçekleştirilme metodlarına da yer verilmiştir. Zaman tanım alanında analiz sonuçları elde edilen ve bu tezin 4. bölümünde Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile kıyası sunulan yapının deprem yalıtım sistemine ait kontroller ise bu bölümün son kısmında yer almaktadır.

3.3.1 Malzeme özellikleri

Deprem yalıtım sistemini oluşturan 35 adet kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım birimi isminden anlaşılacağı üzere 2 tür malzeme içermektedir. Bu malzemelerden ilki deprem yalıtım sisteminin temel işlevi olan yapıya deprem yer hareketi tarafından aktarılan ivmeyi azaltma görevini sağlayan elastomer malzemedir. Bu görevi düşük yanal rijitliğe sahip olması ile başaran elastomer malzemenin deprem yalıtım sistemi açısından en önemli ve optimize seçilmesi gereken özelliği G_v , kayma modülüdür. Elastomer kısmı oluşturan malzemenin içeriğinden genel olarak patentli teknolojiler olan vulkanizasyon tekniğine kadar birçok faktöre bağlı olarak değişen kayma modülü için Constantinou vd. (2011) dinamik testler ile elde edilen bazı ortalama değerler önermektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi üreticiden üreticiye büyük farklılıklar gösterebilen bu malzeme için tez kapsamında Constantinou vd. (2011)’de G_v kayma modülü için verilen 10.3 MPa (1.5 ksi) ile 12.1 MPa (1.75 ksi) değerlerinin ortalaması alınarak 11.0 MPa değeri seçilmiştir.

Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin yapı tasarımı açısından önemli bir diğer özelliği ise τ_{yp} , kurşun malzemenin kayma akma gerilmesidir. Deprem yalıtım biriminin deprem esnasında gerçekleştirdiği yanal hareketleri sırasında şekil değiştirerek ısı yoluyla histeretik enerji tüketmesini sağlayan ve böylelikle bu tip

yalıtım biriminin sönümlleme işlevinin temelini oluşturan kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi değeri de elastomer kısma benzer şekilde üreticiye bağlı olarak değişmektedir. Burada yine makul bir yaklaşımla elastomer malzemeye ait özelliğın belirlendiğı Constantinou vd. (2011)'den yararlanılmıştır. Buna göre τ_{yp} , kayma akma gerilmesi değeri 0.45 MPa (65 psi) ile 0.86 MPa (125 psi) değeriinin ortalaması alınarak 0.65 MPa olarak seçilmiştir.

Deprem yalıtım birimlerini oluşturan, geleneksel malzemelerden farklı olarak henüz standartlaşmamış olan ve bu nedenle malzeme özellikleri büyük değişiklikler gösterebilen elastomer ve kurşun türünden malzemelerin 'Modelleme ve Analiz Yöntemi' bölümünde detayları açıklanan şekilde sınır analizleri gerçekleştirilmektedir. Malzemelerin özelliklerindeki değişimleri göz önünde bulundurarak güvenli tarafta kalan tasarımlar yapmayı mümkün kılan sınır analizi için her bir malzemeye ait 'Özellik Değişim Katsayıları'nın (property modification factor) bu bölümde verilmesi uygun görülmüştür. Özellik değişim katsayılarının bu şekilde kullanımı, belirli bir etkinin deprem yalıtım birimi üzerinde bir etkisi olup olmadığını ve kayda değer bir etki varsa bunun bir λ katsayısı ile analiz ve tasarımdaki etkisinin dikkate alınması ile gerçekleştirilir.

Malzeme özelliklerine benzer şekilde özellik değişim katsayıları da genel anlamda üreticiye bağlıdır. Fakat burada ilgili yönetmelik ve standartlar güvenli bir yaklaşımla bu katsayıların minimum ve maksimum değerlerini sınırlamaktadır. Bu dokümanlarda yer alan koşullara uygun dinamik testlerle aksi gösterilmediğı takdirde sınırlar korunmaktadır. Tezde ele alınan yapı için belirli bir üreticiye ait deprem yalıtım birimi göz önüne alınmadığından ve malzeme özellikleri literatürden seçildiğinden bu noktada özellik değişim katsayıları için TBDY 14.12.1'de verilen değerler kullanılmıştır. TBDY Tablo 14.2'de yaşlanma ve çevresel etkiler (λ_{ae}), yükleme hızı ve ısınma etkileri (λ_{deney}) ve üretimdeki değişiklikler (λ_{spek}) için üç farklı tür olarak verilen bu katsayıların yine TBDY 14.9 ve 14.10 ile verilen denklemlerde yerine konulmasıyla tezde ele alınan yapı için değerleri üst paragraflarda seçilen malzeme özellikleri ile birlikte λ_{alt} ve $\lambda_{\text{üst}}$ değerleri elde edilmiştir. Özellik değişim katsayıları ve bu katsayılar ile çarpılarak yapının modellemesinde kullanılacak yalıtım birimi malzeme parametreleri elastomer malzeme için Çizelge 3.9'da, kurşun malzeme için ise Çizelge 3.10'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.9 : Elastomer malzemeye ait nominal malzeme özellikleri ile özellik değişim katsayıları.

Malzeme Özelliği / Özellik Değişim Katsayısı	Sembol	Değer	
		Alt Sınır	Üst Sınır
Özellik Değişim Katsayısı (Yaşlanma ve Çevresel Etkiler)	λ_{ae}	1.00	1.30
Özellik Değişim Katsayısı (Yüklemeye Hızı ve Isınma)	λ_{deney}	0.90	1.30
Özellik Değişim Katsayısı (Üretimdeki Değişkenlikler)	λ_{spek}	0.85	1.15
Özellik Değişim Katsayısı (Toplam)	$\lambda_{alt} / \lambda_{üst}$	0.77	1.83
Elastomer Malzeme Kayma Modülü	G_v	0.50 MPa	1.19 MPa

Çizelge 3.10 : Kurşun malzemeye ait nominal malzeme özellikleri ile özellik değişim katsayıları.

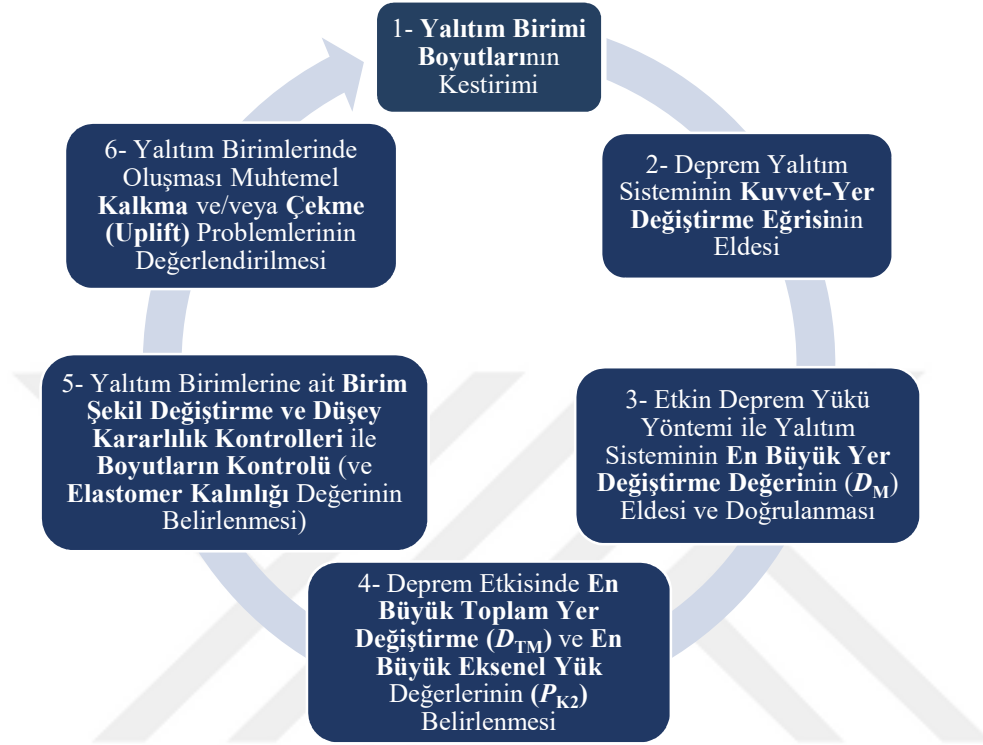
Malzeme Özelliği / Özellik Değişim Katsayısı	Sembol	Değer	
		Alt Sınır	Üst Sınır
Özellik Değişim Katsayısı (Yaşlanma ve Çevresel Etkiler)	λ_{ae}	1.00	1.10
Özellik Değişim Katsayısı (Yüklemeye Hızı ve Isınma)	λ_{deney}	0.70	1.30
Özellik Değişim Katsayısı (Üretimdeki Değişkenlikler)	λ_{spek}	0.85	1.15
Özellik Değişim Katsayısı (Toplam)	$\lambda_{alt} / \lambda_{üst}$	0.60	1.61
Kurşun Malzeme Kayma Akma Gerilmesi	τ_{yp}	6.55 MPa	17.68 MPa

3.3.2 Ön tasarım

4. ve 5. bölümde ek sönümleyicili yapı ile genel yapı parametreleri üzerinden kıyası gerçekleştirilen deprem yalıtımlı yapının ön tasarımı bu alt bölümde açıklanmıştır. Her ne kadar esas sonuçlar ZTADOA sonucu elde edilecek olsa da yalıtım sisteminin boyutlandırılmasının optimizasyonu için gerçekleştirilen ön tasarım aşaması aynı zamanda ZTADOA sonuçlarının değerlendirilmesinde ve sınırlandırılmasında kullanılmaktadır. Ön tasarım aşaması deprem yalıtım birimlerinin tipi ve boyutuna bağlı olarak deprem yalıtım sisteminin etkin periyot ve etkin sönüm türünden özelliklerinin belirlenmesini gerektirmektedir (NEHRP, 2015). Yalıtım birimlerinin boyutları taşıdıkları düşey yüke ve yaptıkları en büyük yerdeğiştirme değerine; bu yerdeğiştirme değeri ise yapının bulunduğu bölgedeki deprem yer hareketlerine ve yine etkin periyot ile etkin sönüm değerine bağlı değişmektedir. Buradan ön tasarım işleminin tekrarlamalı (iteratif) bir süreç olduğu görülmektedir.

Tez kapsamında incelenen deprem yalıtımlı yapı için gerçekleştirilen ön tasarım Constantinou vd. (2011)'de yer alan örneklerde uygulanan ve deprem yalıtım birimlerinin birim şekil değiştirme ve düşey kararlılık özelliklerinin kontrolüne dayanan bir yöntemle gerçekleştirilmiştir. Deprem yalıtım birimlerinin boyutlandırılmasında kritik olan yukarıda belirtilen kontrollerin sağlandığı en küçük yalıtım birimi boyutları yalıtım sistemi için uygun bulunmuştur. NEHRP (2015)'de özetlenen yöntemle göre deprem yalıtım birimlerinin ön boyutlandırılması aşaması Şekil 3.15'te verilen çevrimde özetlenmiştir. Birim şekil değiştirme ve düşey kararlılık

özelliklerinin kontrolünde alt sınır özellikleri ve DD-1 deprem yer hareketi düzeyi en elverişsiz sonuçları verdiğiinden aşağıda gösterilen hesaplar DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15 : Deprem yalıtımlı yapı ön tasarım çevrimi.

Tekrarlamalı bir süreç olduğu belirtilen ön tasarım aşaması için aşağıdaki adımlarda yer alan değerler son tekrara ait sonuçlar olup nihai değerler olarak zaman tanım alanında analizlerde kullanılmıştır.

- İlk adımda deprem yalıtım biriminin yapısal tasarım açısından gerekli olan boyutları için değerler tahmin edilmiştir. Belirlenen ilk değer $F_{Q,toplam} / W = \% 5.3$ değerini 35 adet deprem yalıtım birimi için sağlayacak şekilde $B_L = 16$ cm değeridir. Yine bu değer kullanılarak $B = 88$ cm ve $T_r = 28$ cm olarak belirlenmiştir. Burada Constantinou vd. (2011)'de belirtildiği üzere $F_{Q,toplam} / W$ değerinin %5'ten büyük olması koşulu sağlanmış; sonrasında ise $3B_L \leq B \leq 6B_L$ ile $T_r \geq B_L$ ifadelerinden yararlanılmıştır.
- İkinci adımda malzeme özellikleri ve boyutları belirlenen deprem yalıtım birimlerinin tamamının oluşturduğu sistemin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi TBDY EK 14A yardımıyla oluşturulmuştur. Tüm yalıtım sistemine ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi beraber çalışan tüm tekil deprem yalıtım birimlerine (35

adet) ait kuvvet-yerdeğiştirme değerlerinin toplanması ile elde edilir. Burada akma yerdeğiştirmesi $D_y = 1.5$ cm olarak seçilmiştir.

- Kuvvet-yerdeğiştirme özellikleri belirlenen deprem yalıtım sistemi için ‘Etkin Deprem Yükü Yöntemi’ ile hesap yapılmıştır. En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için yalıtım sistemi yatay yerdeğiştirmesi $D_M = 28.9$ cm olarak belirlenmiştir. Hesaba başlarken kabul edilen D_M değeri ile tekrarlama sonucunda elde edilen değer aynı olduğunda bu adıma ait tekrarlama bitirilmiştir.
- Bu aşamada deprem yalıtım birimlerine ait birim şekil değiştirme ve düşey kararlılık kontrolleri gerçekleştirilerek yukarıda belirlenen boyutların uygunluğu doğrulanmıştır. Bu kontrollerin sağlanması güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla en yüksek düşey yüke maruz kalacak deprem yalıtım biriminin aynı zamanda en yüksek yanal yerdeğiştirmeye de maruz kalacağı kabulü yapılmıştır. Kontrollerde, bir önceki aşamada elde edilen $D_M = 28.9$ cm yatay yer değiştirme değeri TBDY denklem 14.34 kullanılarak ve en köşede yer alan yalıtım birimi için 1.21 katsayısı ile çarpılarak $DTM = 35.0$ cm ($DTM = 1.21 \times 28.9 = 1.21 \times 28.9 = 35.0$ cm) olarak hesapta göz önüne alınmıştır. En yüksek eksenel yüke maruz kalacak iç kısımda kalan deprem yalıtım birimine etkiyen maksimum düşey yük ise TBDY denklem 14.2 yardımıyla elde edilmiştir. İlgili yalıtım birimi için $G = 3525$ kN ve $Q = 1225$ kN değerleri yapının ETABS modelinden doğrudan elde edilmiştir. İlgili yk birleşiminde yer alan E deprem etkisi ise düşey deprem için TBDY 4.4.2.1 ve 4.4.3.2’ye uygun olarak $0.3E_d^{(Z)} = 0.31 G (E_d^{(Z)} \approx (2/3) SDS G = (2/3) \times 1.534 G = 1.02 G)$ olarak alınmıştır. Yatay deprem için ise makul bir yaklaşımla etkin deprem yükü yöntemi sonucunda elde edilen kesme kuvveti değeri ETABS modeline TBDY 4.7.2.3’e uygun olarak ters üçgen biçiminde dağıtılarak etki ettirilmiş ve bu yükleme sonucu elde edilen yatay deprem kaynaklı eksenel yük değeri bulunmuştur. Bu değer 595 kN değerine eşittir ve böylelikle $1.2G+Q+E$ yk birleşiminden elde edilen değer $PK2 = 7150$ kN ($1.51 \times 3525 + 1225 + 595 = 7150$ kN) olur.
- şt adımda toplam yerdeğiştirme (35.0 cm) ve toplam düşey yükün (7150 kN) en elveriğsiz kombinasyonu elde edilmiştir. Son adımda bu değerler kullanılarak iki farklı kontrol gerçekleştirilmiş ve ön tasarım

sonuçlandırılmıştır. Öncelikle TBDY denklem 14.26 ve ilgili diğer bağıntılar kullanılarak en büyük elastomer katman kalınlığı $t = 10$ mm olarak belirlenmiştir. Diğer kontrolde ise $\gamma_{s,E}$ değeri 1.03 TBDY denklem 14.19 ile verilen 2.0 sınıрыla kontrol edilerek uygunluğu gösterilmiştir. Burada Constantinou vd. (2011)'de t değeri için mümkün olan üretilebilir aralığı 7 mm (0.25 inç) ile 19 mm (0.75 inç) olarak vermiştir.

Yine ön tasarım aşamasında deprem yalıtım birimlerinde oluşabilecek potansiyel kalkma ve/veya çekme problemlerinin değerlendirilmesinde fayda vardır (NEHRP, 2015). TBDY denklem 14.3 ile verilen yük birleşimi kullanılarak elde edilen değer minimum düşey yük değeri $P_{K3} = 1485$ kN ($0.59 \times 3525 - 595 = 7150$ kN) olup yine basınç kuvveti olduğu görülmektedir. Bu nedenle deprem yalıtım birimlerine herhangi kalkma ve/veya çekme problemi olması beklenmemektedir.

3.3.3 Modelleme ve analiz yöntemi

Önceki bölümlerde üstyapı taşıyıcı sistem özellikleri verilen ve deprem yalıtım sistemi özellikleri belirlenen deprem yalıtımlı yapının modellenmesi ve analizine ait bilgiler bu alt bölümde ele alınmıştır.

3.3.3.1 Modelleme

Deprem yalıtımlı yapının modellenmesi TBDY (2018) Bölüm 14'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Burada TBDY 14.3.8'in izin verdiği şekilde tüm yapı modelinde yalnızca deprem yalıtım birimleri (deprem yalıtım sistemi) doğrusal olmayan davranışı için modellenmiş; üstyapı ise doğrusal elastik olarak modellenmiştir. Aşağıda ilk paragrafta üstyapının modellenmesi, takip eden kısımda ise deprem yalıtım sisteminin modellenmesi açıklanmıştır.

Gerçekleştirilen tüm analizlerde üstyapı taşıyıcı sistemi ve düşey statik yükleri aynı şekilde modellenmiştir. ETABS v21.1.0 yapısal analiz ve tasarım programı ile gerçekleştirilen modellemede TBDY (2018) 4.5'de belirtilen kurallar uygulanmıştır. Buna göre bina taşıyıcı sistemi, kiriş ve kolonlar çerçeve (çubuk) sonlu elemanları olacak biçimde üç boyutlu olarak modellenmiştir. Üstyapı taşıyıcı sisteminde TBDY (2018)'de belirtildiği üzere A2 ve A3 türü düzensizlikler bulunmadığından ve düzlem içi önemli şekildeğiştirmelerin meydana gelmeyeceği beklendiğinden planda düzenli yapıda döşemeler rijit diyafram olarak modellenerek hesaplar sadeleştirilmiştir. Yine

yapı kütleleri TBDY 4.5.9'a uygun olarak modellenmiştir ve burada hareketli yük kütle katılım katsayısı iş yerleri için verilen $n = 0.30$ olarak seçilmiştir.

Deprem yalıtımlı yapıda yalıtım sistemi, üstyapının hemen altında yer alan 1 m'lik rijitleştirilmiş katın altına yerleştirilen 35 adet kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım biriminden oluşmaktadır. TBDY (2018) 14.3.5'e uygun olarak yalıtım sisteminin rijitlik merkezi ile üstyapı kütle merkezinin yalıtım arayüzündeki düşey izdüşümü birbirine yakın bulunmakta ve simetri nedeniyle üst üst düşmektedir. Deprem yalıtımlı yapıda üstyapıyı oluşturan taşıyıcı sistem elemanlarına ait etkin kesit rijitlikleri TBDY (2018) 14.3.9'a uygun olarak yine yönetmelikte yer alan Tablo 13.1'den alınmıştır.

Analizleri gerçekleştirebilmek için deprem yalıtımlı yapının 2 adet modeli oluşturulmuştur. Bu iki modelden ilki deprem yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri kullanılarak oluşturulurken diğeri deprem yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Böylelikle yalıtım sisteminin alt ve üst sınırlarına ait kuvvet-yer değiştirme davranışı TBDY (2018)'e uygun olarak 2 farklı model ile temsil edilmiştir.

Deprem yalıtım birimleri ETABS yapısal analiz ve tasarım programında 'link' elemanlar kullanılarak modellenmiştir. TBDY EK 14A yardımıyla karakteristik dayanımı F_Q ; başlangıç (elastik) rijitliği k_1 ve ikincil (elastik ötesi) rijitliği k_2 belirlenen deprem yalıtımı birimini modellerken ETABS programında girişi yapılan veriler Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de alt sınır için; Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da üst sınır için gösterilmiştir. Yine burada deprem yalıtım birimlerine etkileyen eksenel yükün büyüklüğünde belirleyici olan düşey rijitlik k_v değeri de yer almaktadır. Bu karakteristik dayanım, düşey rijitlik ve yanal rijitlik değerlerini kullanarak oluşturulan deprem yalıtımlı yapı modeli yapı sisteminin genel davranışını inceleme açısından yeterli bulunmaktadır. NEHRP (2015) daha karmaşık konfigürasyona veya özelliklere sahip deprem yalıtım birimlerinin davranışlarını temsil etmek, büyük yer değiştirmelerde rijitleşme etkilerini yakalamak, hıza bağımlı etkileri daha açık bir şekilde modellemek veya kalkma/çekme etkilerini modellemek için daha sofistike modellerin gerekli olabileceğini belirtmektedir. Tez kapsamında deprem yalıtım birimlerinden çok deprem yalıtımlı yapının genel davranışı ile ilgilenildiğinden üstte bahsedilen modelleme yeterli görülmüştür.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB-LB

Direction: U1

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Linear Properties

Effective Stiffness: 1474840 kN/m

Effective Damping: 0 kN-s/m

OK Cancel

Şekil 3.16 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin düşey rijitliğinin modellenmesi (Alt sınır).

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LRB-LB

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness: 1044 kN/m

Effective Damping: 0 kN-s/m

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.25 m

Nonlinear Properties

Stiffness: 9817 kN/m

Yield Strength: 147.25 kN

Post Yield Stiffness Ratio: 0.106

OK Cancel

Şekil 3.17 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin karakteristik dayanım ve yanal rijitliğinin modellenmesi (Alt sınır).

Identification	
Property Name	LRB-UB
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No

Linear Properties	
Effective Stiffness	2370545 kN/m
Effective Damping	0 kN-s/m

OK Cancel

Şekil 3.18 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin düşey rijitliğinin modellenmesi (Üst sınır).

Identification	
Property Name	LRB-UB
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	2500 kN/m
Effective Damping	0 kN-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.25 m

Nonlinear Properties	
Stiffness	26197 kN/m
Yield Strength	392.95 kN
Post Yield Stiffness Ratio	0.095

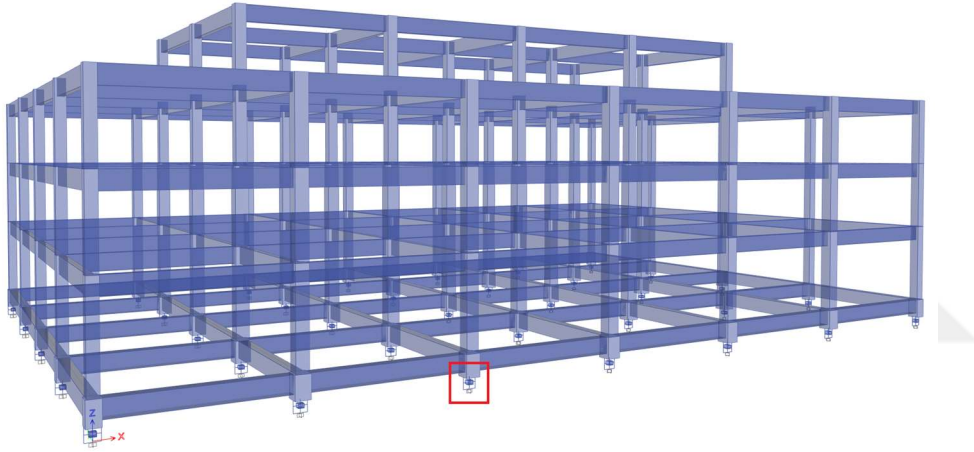
OK Cancel

Şekil 3.19 : Kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminin karakteristik dayanım ve yanal rijitliğinin modellenmesi (Üst sınır).

Deprem yalıtım birimlerinin ETABS programında doğrusal olmayan davranışı modellenirken program aynı zamanda doğrusal özellikleri de sormaktadır. Burada NEHRP (2015) tarafından önerildiği üzere etkin rijitlik için ikincil (elastik ötesi) rijitlik k_2 ve etkin sönüm için 0 değerleri veri olarak girilmiştir. ZTADOA sonuçlarını doğrudan etkilemeyen bu veriler Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Analizleri'nde kullanılmaktadır. Bu analizlerden elde edilen sonuçları ZTADOA sonuçlarının tutarlılığın kontrolünde dolaylı olarak kullanılmıştır. Yine yalıtım birimlerini

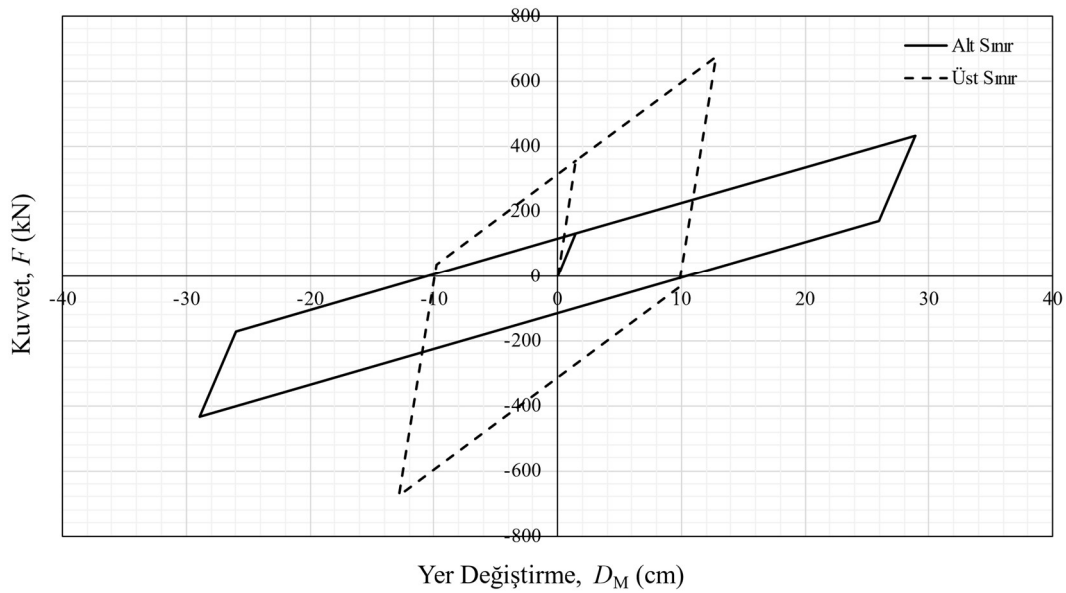
modellerken link elemanın kütlesi ve yüksekliği ile dönel rijitliği ve burulma rijitliği Sarlis ve Constantinou (2010)’a uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Üstte gösterilen girdiler dışındaki bu parametreler için değerler yaklaşık olarak girilmiştir ve ilgili parametrelerin genel yapı tepkisi açısından sonuçlara etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.

Yukarıda açıklanan şekilde modellenen deprem yalıtımlı yapıya ait 3 boyutlu ETABS modeli Şekil 3.20’de verilmiştir. Şekilde her bir rijitleştirilmiş 1. kat kolonunun altında bulunan deprem yalıtım birimleri görülmektedir. Burada betonarme çerçeve sisteminin daha net bir şekilde görünebilmesi için döşemelerin görüntüleri kaldırılmıştır. Şekil 3.21’de ise modellenen deprem yalıtım birimlerine ait kuvvet-yer değiştirme eğrisi alt sınır ve üst sınır için birlikte verilmiştir.



Şekil 3.20 : Deprem yalıtımlı yapı 3 boyutlu modeli.

Deprem Yalıtım Birimi - Kuvvet-Yer Değiştirme Eğrisi



Şekil 3.21 : Deprem yalıtım birimi kuvvet-yer değiştirme eğrisi.

Yukarıda açıklandığı şekilde modellenen deprem yalıtımlı yapının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizleri (ZTADOA) sonraki bölümde açıklandığı üzere TBDY (2018) 14.4.4'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3.3.3.2 Analiz

Üst bölümde modelleme yöntemi açıklanan deprem yalıtımlı yapının deprem etkisi altında analizi TBDY (2018) 14.14.4'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlgili maddede deprem yalıtımlı yapıların zaman tanım alanında analizinin yine standart yapılar için düzenlenen bölüm olan TBDY (2018) 5.7'e göre uygulanacağı belirtilmiş, deprem yalıtımlı yapıların analizinde söz konusu olan farklılıklar açıklanmıştır. Burada yine tez kapsamında ele alınan düzenli ve simetrik yapının, yönetmeliğin 14.14.2'de açıklanan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre analiz edilmesinin de mümkün olduğu belirtmekte fayda vardır. Buna göre TBDY (2018) 14.14.1.1'de sıralanan koşulların tamamı tezde incelenen deprem yalıtımlı yapı tarafından sağlanmaktadır ve böylelikle yapının Etkin Deprem Yüğü Yöntemi veya Mod Birleştirme Yöntemi ile analiz edilmesine izin verilmektedir. Tez kapsamında izlenen analiz yöntemi ise yapının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz (ZTADOA) Yöntemi'dir ve karşılaştırmalar gerçekleştirilirken yine Etkin Deprem Yüğü Yöntemi'nden de yararlanılmıştır.

TBDY (2018) 5.7'ye göre gerçekleştirilen ZTADOA deprem yer hareketi etkisi altında yapı taşıyıcı sisteminin hareket denklemini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile rijitlik matrisindeki değişimleri göz önüne alarak adım adım doğrudan integrasyonunu ifade eder. Bu analizlerde kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi TBDY (2018) 2.5'e uygun biçimde gerçekleştirilmiş ve tez kapsamında 3.2.3 bölümünde açıklanmıştır.

Analizler gerçekleştirilirken birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin asal eksenleri doğrultusunda (X ve Y) etki ettirilmiş, sonrasında ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek (Y ve X) hesap tekrarlanmıştır.

Deprem yalıtımlı yapının analizinde oluşturulan hareket denkleminde bulunan sönüm matrisine doğrusal olmayan davranışa ilişkin enerji tüketimi doğrudan girmektedir. Burada doğrusal olmayan davranışa ilişkin enerji tüketimi deprem yalıtım birimlerinin histeretik hareketleri sırasında ortaya çıkmaktadır ve analiz esnasında önceki bölümde tanımlandığı üzere iki-doğrulu kuvvet-yer değiştirme eğrisinden faydalanılarak

denklem takımında göz önüne alınmaktadır. Doğrusal elastik olarak çalışan ve tez kapsamında doğrusal olarak modellenen üstyapı taşıyıcı sisteminin ve yapısal olmayan elemanların oluşturduğu dinamik enerji kaybı ise sönüm matrisine modelleme esnasında modal sönüm (içsel sönüm) ile göz önüne alınmıştır. Doğrusal sönümün bu şekilde değerlendirilmesinde Sarlis ve Constantinou (2010)'dan yararlanılmıştır ve önerilen biçimde doğrusal sönüm sıfır olarak alınmıştır. İlgili kaynakta doğrudan integrasyon yöntemi kullanıldığı durumlarda gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için doğrusal sönümün bu şekilde göz önüne alınmasının uygun olduğu, böylelikle 'sönüm sızıntısı'nın (damping leakage) önüne geçildiği belirtilmiştir. Ayrıntıları Sarlis ve Constantinou (2010)'da verilen bu durum uygun modelleme gerçekleştirilmediği takdirde deprem yalıtım birimlerinin yer değiştirme değerlerinin daha düşük elde edilmesine yol açabilmektedir.

Yapının zaman tanım alanında analizi için oluşturulan yükleme durumu Şekil 3.22'de örnek olarak Kocaeli Depremi ve tek doğrultu için verilmiştir. Her bir deprem için belirlenen ölçek katsayıları tezde Bölüm 3.2.3'de yer almaktadır ve bu katsayılar kullanılarak her bir deprem ve doğrultu için yükleme durumları oluşturulmuştur. Ayrıca deprem yalıtımlı yapının analizi üst bölümlerde açıklandığı üzere yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt ve üst sınır değerleri için ayrı ayrı gerçekleştirileceğinden her iki sınır duruma ait iki farklı analiz modeli kullanılmıştır.

Load Case Data

General

Load Case Name: Kocaeli_XY

Load Case Type/Subtype: Time History

Nonlinear Direct Integration: [X]

Mass Source: KutleKaynagi

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	RSN1158_KOCAELI...	12500
Acceleration	U2	RSN1158_KOCAELI...	12500

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: None

Number of Output Time Steps: 5437

Output Time Step Size: 0.005 sec

Damping: Mass: 0; Stiff: 0; Modal: Yes

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor

Nonlinear Parameters: Default - Iterative Only

OK Cancel

Şekil 3.22 : Deprem yalıtımlı yapının ZTADOA'ı için oluşturulan yükleme durumu örneği (Kocaeli Depremi ve tek doğrultu).

TBDY (2018) 14.14.4.4'e uygun biçimde ZTADOA hem DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde hem de deprem kayıtlarının yapıya iki farklı durumda etkimesi durumları için gerçekleştirilmiştir. Tezin 4. bölümünde incelenen sonuçlar ilgili deprem yer hareketi seviyesinde ve ilgili doğrultuda her bir deprem kaydı için bulunan en büyük değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Yine TBDY (2018) 14.14.4.5'e uygun biçimde yalıtım birimi yer değiştirmeleri, her bir zaman adımında elde edilen ve birbirine dik doğrultudaki değerlerin vektörel bileşkesi şeklinde elde edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen deprem yalıtımlı yapı modellerine ek olarak detayları tezin 4. bölümünde açıklandığı üzere, yapıda ek dışmerkezlik etkisini göz önüne almak amacıyla, her iki doğrultuda kat kütlelerinin ilgili doğrultularda deprem yüklemesine dik doğrultudaki plan boyutunun %5'i kadar kaydırıldığı modeller oluşturulmuştur. İlgili modellerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yine 4. bölümde yer almaktadır.

3.3.4 Birim şekildeğiştirme ve düşey kararlılık kontrolleri

Tezde bölüm 3.3.2'de ön tasarımı ve bölüm 3.3.3'de modelleme ve analiz yöntemi açıklanan deprem yalıtımlı yapının Zaman Tanım Alanında Analizleri gerçekleştirilmiştir. Tezin 4. bölümünde ilgili sonuçların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmeden önce bu alt bölümde deprem yalıtım birimlerinin ve üstyapı taşıyıcı sisteminin boyutlandırılmasında ve dolayısıyla analiz sonuçlarında etkili olan stabilite kontrollerine yer verilmiştir. Buna göre takip eden alt bölümlerde öncelikle ZTADOA'ı doğrulamak amacıyla deprem yalıtım birimlerinin kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin doğrulanması sonrasında ise sırasıyla birim şekildeğiştirme sınırları ile düşey kararlılık kontrolleri yer almaktadır.

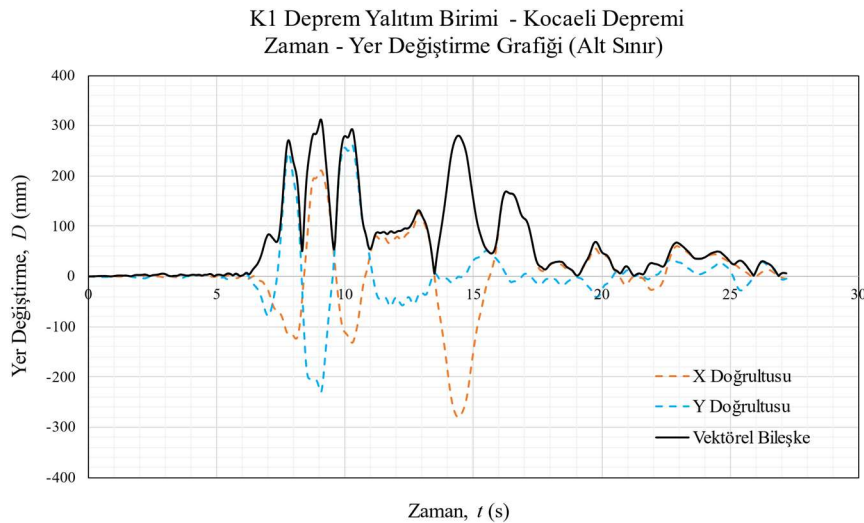
3.3.4.1 Kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri

Bu alt bölümde ZTADOA sonucu deprem yalıtım birimleri için elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Her ne kadar tez kapsamında esas amaç deprem yalıtımlı yapının deprem yer hareketine karşı genel tepkilerinin incelenmesi olsa da hem stabilite kontrollerinde kullanılacak kuvvet ve yer değiştirme türünden yalıtım birimi değişkenlerinin elde edilmesi hem de yapı modelinin doğrulanmasının gerçekleştirilmesi bakımından bu sonuçların eldesi gerekmektedir. Yine NEHRP (2015) ZTADOA'ın gerçekleştirilebilmesi için modelleme esnasında birçok veri

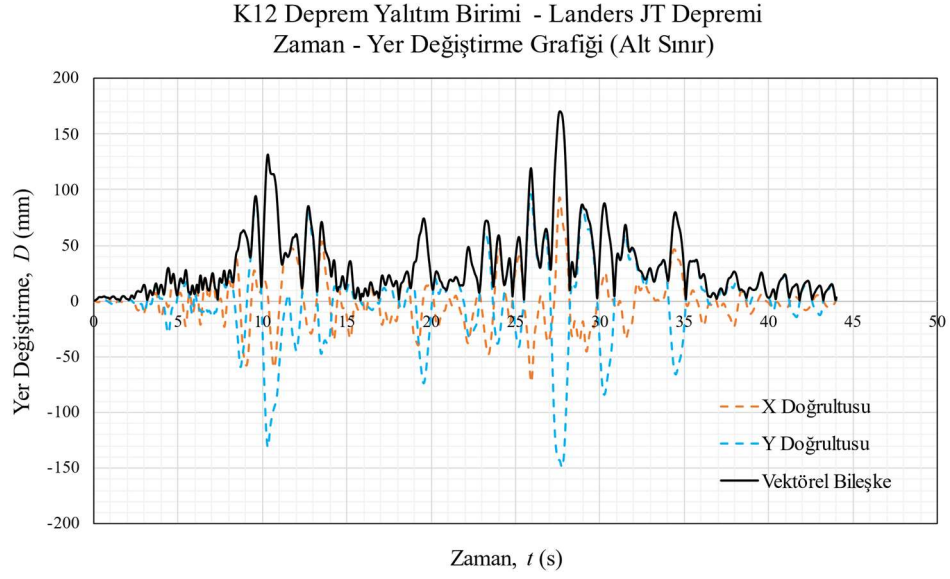
girdisi yapıldığından doğrulama kontrollerinin yapılmasının önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Analizler sonucu 35 adet deprem yalıtım biriminde hem her iki deprem yer hareketi düzeyi (DD-1 ve DD-2) hem de her iki sınır durum (alt sınır ve üst sınır) için kuvvet ve yer değiştirme değerleri her bir hesap adımı için elde edilmiştir. Yine her bir deprem yer hareketi düzeyi ve sınır duruma ek olarak sonuçlar doğal olarak deprem kayıtlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu alt bölümde sonuçların tutarlılığının kontrolü ve modellemenin doğrulanması amacıyla rastgele seçilmiş birkaç yer hareketi ve sınır durum için yer değiştirme değerleri ile zaman-yer değiştirme eğrileri verilmiştir.

Örneğin Şekil 3.23'te DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için ölçeklendirilmiş Kocaeli Depremi'ne ait kayıtların etki ettirildiği ve deprem yalıtım birimi parametrelerinin alt sınır değerlerinin modellendiği durumda K1 (1. kat A1 kolonunun altında bulunan) deprem yalıtım birimine ait zaman-yer değiştirme grafiği görülmektedir. Burada hem analiz sonucu elde edilen X ve Y doğrultularındaki yer değiştirmeler hem de TBDY (2018) 14.14.4.5'e uygun biçimde her bir zaman adımında birbirine dik doğrultuda elde edilen bu yer değiştirmelerin vektörel bileşkesi yer almaktadır. Takip eden bölümlerde stabilite kontrollerinde kullanılacak yer değiştirme değerleri bu bileşke yer değiştirme değerleridir. Benzer biçimde Şekil 3.24'te DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için ölçeklendirilmiş Landers JT Depremi'ne ait kayıtların etki ettirildiği ve deprem yalıtım birimi parametrelerinin alt sınır değerlerinin modellendiği durumda K12 (1. kat C4 kolonunun altında bulunan) deprem yalıtım birimine ait zaman-yer değiştirme grafiği görülmektedir.



Şekil 3.23 : K1 (planda A1 konumunda bulunan) deprem yalıtım birimi zaman-yer değiştirme grafiği (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).



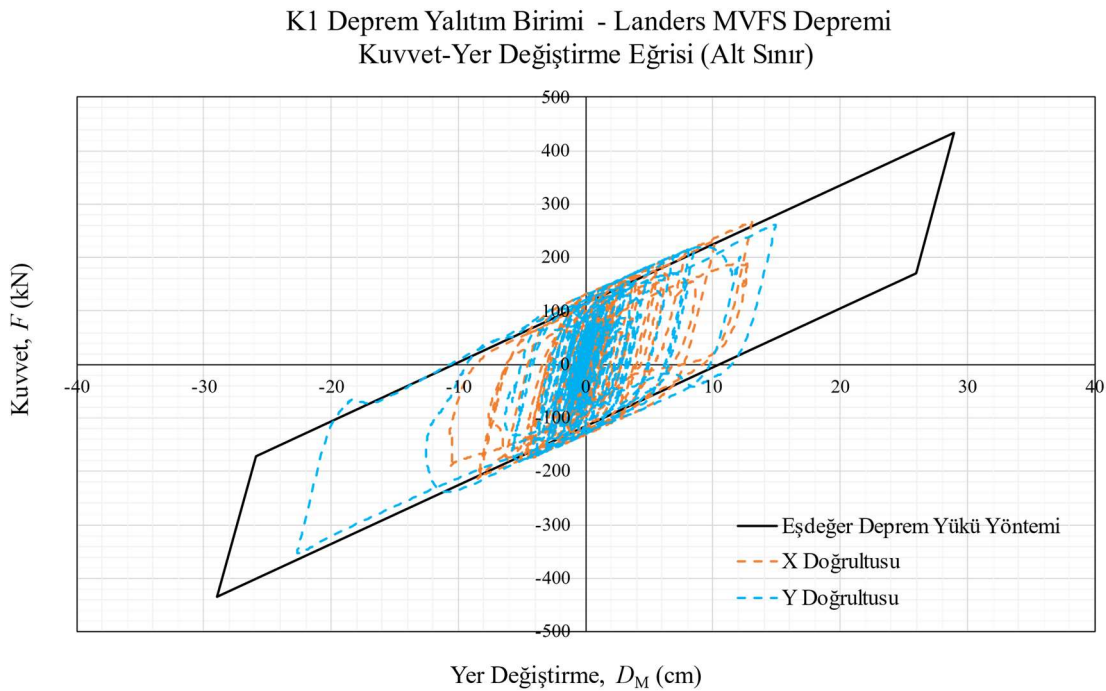
Şekil 3.24 : K12 (planda C4 konumunda bulunan) deprem yalıtım birimi zaman-yer değiştirme grafiği (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).

Şekil 3.23'te K1 deprem yalıtım biriminde oluşan en büyük yer değiştirme değerinin X doğrultusunda yaklaşık 14. s civarında 280 mm, Y doğrultusunda ise yaklaşık 10 s civarında 262 mm olduğu görülmektedir. X ve Y doğrultularında elde edilen yer değiştirme değerleri işaretlere sahipken vektörel bileşkeden elde edilen yer değiştirme değerleri doğal biçimde işaretlerini kaybetmiştir. TBDY (2018)'e uygun olarak her bir hesap adımında vektörel bileşke ile elde edilen yer değiştirme değerlerine bakıldığında ise en büyük yer değiştirme değerinin yaklaşık 9. s civarında 312 mm olduğu görülür. Bu durumda X ve Y doğrultularında en büyük değerlerin farklı zaman adımlarında, bileşke yer değiştirmenin ise farklı bir zaman adımında oluştuğu anlaşılmaktadır. Yönetmeliğe uygun olarak hesaplanan bu yer değiştirme değerinin her iki doğrultuda elde edilen en büyük yer değiştirmelerin vektörel bileşkesi alınarak elde edilen $\sqrt{280^2 + 262^2} = 383$ mm değerinden daha uygun ve gerçekçi sonuçlar verdiğine dikkat edilmelidir. Basitçe tüm deprem süresi boyunca her iki doğrultuda bulunan en büyük yer değiştirmelerin vektörel bileşkesi alınarak elde edilen değer çok konservatif olduğu görülmektedir (NEHRP, 2015). Bu nedenle takip eden alt bölümde yer alan stabilite kontrolleri makul bir biçimde her bir zaman adımında elde edilen vektörel bileşke değerlerinin en büyüğü dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

K1 deprem yalıtım birimine benzer biçimde K12 deprem yalıtım birimine ait zaman-yer değiştirme grafiği incelendiğinde yine X doğrultusuna ait en büyük yer değiştirme değerinin 93 mm, Y doğrultusunda 150 mm, bileşke yer değiştirme değerinin ise 171 mm olduğu görülmektedir. Burada rastgele birkaç deprem kaydı için verilen yer

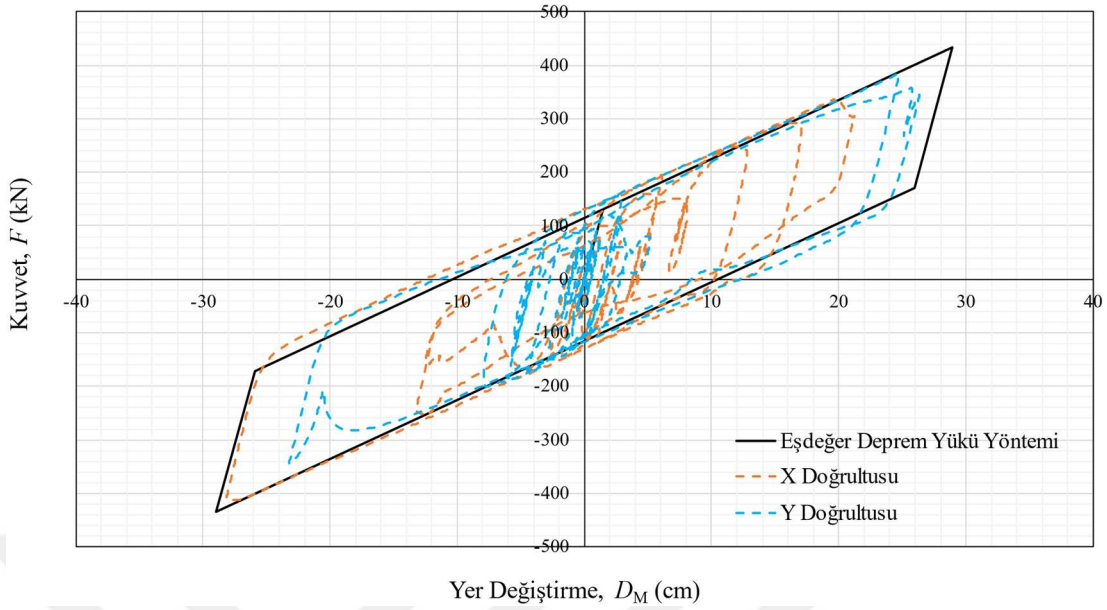
değiştirme değerlerinin tüm deprem kayıtları için analiz sonuçlarının değerlendirilme yöntemine uygun biçimde ortalamaları alındığında elde edilen değerlerin ön tasarımda öngörülen değerlere yakın olduğu görülmüştür. Tüm deprem yalıtım birimlerine ait yer değiştirme değerleri takip eden alt bölümde özetlenmiştir.

Deprem yalıtımlı yapıya ait modelleri doğrulamak amacıyla yine rastgele seçilen birkaç yalıtım birimi ve analiz durumu için kuvvet-yer değiştirme grafikleri oluşturulmuştur. Seçilen ilk kuvvet-yer değiştirme grafiği DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için ölçeklendirilmiş Landers MVFS Depremi'ne ait kayıtların etki ettirildiği ve deprem yalıtım birimi parametrelerinin alt sınır değerlerinin modellendiği durumda K1 deprem yalıtım birimine aittir ve Şekil 3.25'te gösterilmektedir. Grafikte ZTADOA sonucu X ve Y doğrultularında elde edilen kuvvet-yer değiştirme değerleri ile TBDY (2018)'de yer alan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak elde edilen iki-doğrulu histerezis eğrileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere ZTADOA sonuçları, ön tasarımda kullanılan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi'ne ait modelleme ile uyumlu bir davranış göstermiştir. Benzer biçimde Şekil 3.26'da DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için ölçeklendirilmiş Kocaeli Depremi'ne ait kayıtların etki ettirildiği ve deprem yalıtım birimi parametrelerinin alt sınır değerlerinin modellendiği durumda K12 deprem yalıtım birimine ait kuvvet-yer değiştirme grafiği yer almaktadır.



Şekil 3.25 : K1 deprem yalıtım birimi Landers MVFS Depremi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).

K12 Deprem Yalıtım Birimi - Kocaeli Depremi
Kuvvet-Yer Değiştirme Eğrisi (Alt Sınır)



Şekil 3.26 : K12 deprem yalıtım birimi Kocaeli Depremi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).

Şekil 3.25'ten görüldüğü üzere yapı planında köşede yer alan K1 deprem yalıtım biriminde Landers MVFS Depremi etkisi altında en büyük yer değiştirme değeri 23.0 cm, en büyük kesme kuvveti değeri 354 kN olarak elde edilirken yapı planında ortada yer alan K12 deprem yalıtım biriminde Kocaeli Depremi etkisi altında en büyük yer değiştirme değeri 28.2 cm, en büyük kesme kuvveti değeri ise 413 kN olarak bulunmuştur. Şekillerden görüldüğü üzere ZTADOA'nın gerçekleştirildiği modeller ön tasarımda öngörülen yalıtım birimi davranışı ile karşılaştırılabilir sonuçlar vermiştir.

3.3.4.2 Birim şekildeğiştirme sınırlarının kontrolü

Deprem yalıtım birimlerinin boyutlandırılmasında belirleyici sınır durumlar ön tasarımın gerçekleştirildiği Bölüm 3.3.2'de açıklanmıştı. Buna göre deprem yalıtımlı yapılarda üstyapıya ait taşıma sınır durumu ve kullanılabilirlik sınır durumlarının kontrollerine ek olarak deprem yalıtım sisteminin kararlılığı da TBDY (2018) 14.5.1'e uygun olarak kontrol edilmelidir. İlgili yapıda kullanılan deprem yalıtım birimi türüne göre değişmekte bu kontrollerden tez kapsamında uygun biçimde elastomer yalıtım birimlerine ait kontroller gerçekleştirilmiştir.

TBDY (2018) 14.12.2 ve 14.12.3 kapsamında temel olarak iki kısma ayrılan stabilite kontrollerinden ilki elastomer yalıtım birimlerinin birim şekildeğiştirme sınırlarının

kontrolünü içerirken diğeri elastomer yalıtım birimlerinin düşey kararlılık kontrollerini içermektedir. Bu alt bölümde bu kontrollerden birim şekildeğiştirme ile ilgili kontroller, takip eden alt bölümde ise düşey kararlılık kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

Birim şekildeğiştirme kontrolleri TBDY (2018)'e uygun olarak depremsiz ve depremli olarak iki farklı durum için gerçekleştirilmiştir. Depremsiz duruma ait 2 kontrol 3.1 ve 3.2 denklemlerinde verilmiştir:

$$\gamma_{c,st} \leq 3.5 \text{ veya } \gamma_{c,st} < \epsilon_b / 3 \quad (3.1)$$

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5.0 \text{ veya } \gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 0.75 \epsilon_b \quad (3.2)$$

Burada $\gamma_{c,st}$, $\gamma_{s,st}$ ve $\gamma_{r,st}$ ile belirtilen değerler sırasıyla basınçtan meydana gelen açısall şekildeğiştirmeyi, deprem dışındaki diğerk etkilerden dolayı (genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısall şekildeğiştirmeyi ve yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelid dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirmeyi ifade etmektedir. Bu değerler aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır ve denklemlerde yer alan terimler tezde semboller kısmında açıklanmıştır. Burada yalnızca ilgili terimler için kabul veya elde edilen değerlere yer verilmiştir.

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c} \quad (3.3)$$

$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta_s}{T_r} \quad (3.4)$$

$$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 \theta_s}{2t T_r} \quad (3.5)$$

Tezde ele alınan yapı için (3.4) denklemi ile verilen deprem dışındaki etkilerden kaynaklanan birim şekil açısall şekildeğiştirme değeri hesaplanırken yatay yüklemenden meydana gelen yatay yerdeğiştirme miktarı Δ_s değeri için tez kapsamında doğrudan ilgilenilmediğinden bir hesap yapılmamış ve bu değerk 1 cm olarak kabul edilmiştir. Burada bu değerin deprem yalıtım sisteminin akma yerdeğiştirme değeri olan 1.5 cm değerinden büyük olmamasına dikkat edilmiştir. Yine T_r değeri 3.3.2 bölümünde belirlenen 28 cm değerine eşittir ve buradan tüm yalıtım birimleri için $\gamma_{s,st} = 0.04$ olarak elde edilmiştir.

Depremsiz duruma ait şekildeğiştirme değerlerinden tüm yalıtım birimlerinde aynı değere sahip olan bir diğeri denklem (3.5) ile hesaplanan yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirmedir 3.3.2 bölümünde belirlendiğı üzere burada $B = 88$ cm, $t = 1$ cm ve $T_r = 28$ cm'dir. Tasarım dönme açısı θ_s değeri için ise TBDY (2018) 14.12.2.2'de verilen minimum 0.005 radyan değerinin alınması uygun görülmüştür. Böylelikle $\gamma_{r,st} = 0.7$ olarak belirlenmiştir.

Her bir deprem yalıtım birimi için basınçtan meydana gelen açısal şekildeğiştirme değeri ise deprem yalıtım birimine etkiyen düşey kuvvete bağlıdır. Bu nedenle her bir deprem yalıtım birimi üzerine gelen kuvvet yapı modelinden elde edilmiş ve Çizelge 3.11'de özetlenmiştir. Bu düşey yükler ve denklem (3.3) kullanılarak elde edilen açısal şekildeğiştirme değerleri ise Çizelge 3.12'de yer almaktadır. Denklem (3.3)'de yer alan sabit değerler $S = 21.3$, $A_r = 5881$ cm² ve $E_c = 1088$ MPa'a eşittir. Burada E_c 'nin hesaplanmasında kullanılan k katsayısı TBDY (2018) 14A.7'ye uygun olarak 60 sertlik değerine sahip kauçuk malzeme için 0.60 olarak alınmıştır. Tüm bu yardımcı değerlere ait denklemler TBDY (2018) EK 14A'da yer almaktadır. Ele alınan yapı her iki asal eksenine göre de simetrik olduğundan yalnızca A-B-C ve 1-2-3-4 eksenlerinde yer alan deprem yalıtım birimlerine ait sonuçlar değerlendirilmiştir. Diğer deprem yalıtım birimleri sonuçları yapı ağırlık merkezine göre simetriğinde bulunan deprem yalıtım birimi ile aynı sonuçlara sahiptir.

Çizelge 3.11 : $1.4G + 1.6Q$ yük birleşimi altında deprem yalıtım birimlerinde elde edilen düşey kuvvet.

	P_{K1} (kN)			
	1	2	3	4
A	1595	3180	3115	3120
B	3060	6210	6380	6375
C	3000	6465	6895	6885

Çizelge 3.12 : Deprem yalıtım birimlerinde basınçtan meydana gelen açısal şekildeğiştirme.

	$\gamma_{c,st}$			
	1	2	3	4
A	0.3	0.6	0.6	0.6
B	0.6	1.2	1.3	1.3
C	0.6	1.3	1.4	1.4

Depremsiz durum için verilen ilk birim şekildeğiştirme kontrolünde Çizelge 3.12’de tüm yalıtım birimleri için özetlenen şekildeğiştirme değerlerinin denklem (3.3) ile verilen sınır değerden küçük olması istenmektedir. Burada sınır değerin belirlenmesi için gerekli olan elastomer malzemenin kopma birim şekildeğiştirme değeri için makul biçimde $\epsilon_b = 6$ kabulü yapılmıştır. Bu durumda sınır değer 3.5 ve $\epsilon_b / 3 = 6 / 3 = 2.0$ değerlerinden küçüğü olan 2.0 değeridir. Çizelge 3.12 incelendiğinde en elverişsiz durumda bulunan C3 kolonunun altında konumlanmış K11 deprem yalıtım biriminde dahi birim şekildeğiştirme değerinin sınır değeri aşımadığı ($\gamma_{c,st} = 1.4 < 2.0$) görülmektedir. (3.2) denklemiyle verilen depremsiz duruma ait diğer sınır değerin aşılmadığı ise Çizelge 3.13’te yer alan toplam depremsiz durumda yalıtım birimlerinde oluşması beklenen toplam birim şekildeğiştirmeye ait sonuçlardan anlaşılmaktadır. Çizelge 3.13’te yer alan tüm birim şekildeğiştirme değerleri sınır durum için verilen 5.0 ve $0.75 \times \epsilon_b = 0.75 \times 6 = 4.5$ değerlerinden küçüktür. Her iki sınır duruma ait sonuçlardan görüldüğü üzere depremsiz durumda yalıtım sistemi birim şekildeğiştirme sınırlarını sağlamaktadır.

Çizelge 3.13 : Deprem yalıtım birimlerinde depremsiz durumda oluşan toplam birim şekildeğiştirme.

	$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st}$			
	1	2	3	4
A	1.1	1.4	1.4	1.4
B	1.4	2.0	2.1	2.1
C	1.4	2.1	2.2	2.2

Depremlı duruma ait birim şekildeğiştirme sınırlarının kontrolü yine (3.6) ve (3.7) ile verilen 2 farklı denkleme göre gerçekleştirilmektedir:

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} \leq 6.0 \quad (3.6)$$

$$\gamma_{s,E} \leq 2.0 \quad (3.7)$$

Burada $\gamma_{c,E}$ ve $\gamma_{s,E}$ ile belirtilen değerler sırasıyla deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirmeyi ve yine deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirmeyi ifade etmektedir. $\gamma_{r,st}$ yukarıda depremsiz durumda tanımlanmıştır ve değeri yine tüm yalıtım birimleri için aynı olup 0.7’ye eşittir. $\gamma_{c,E}$ ve $\gamma_{s,E}$ değerleri depremsiz durumdaki karşılıkları olan $\gamma_{c,st}$ ve $\gamma_{s,st}$ ’ye benzer şekilde aşağıdaki denklemler ile hesaplanır:

$$\gamma_{c,E} = \frac{6SP_{K2}}{A_{re}E_c} \quad (3.8)$$

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} \quad (3.9)$$

Tezde ele alınan deprem yalıtımlı yapıda depremli durum için ilk olarak (3.7) ile denklemi ile verilen birim şekildeğiştirme kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu sınırın kontrolünde kullanılan (3.9) denkleminde T_r değeri üstte verildiği üzere 28 cm'e değerine eşittir. Denkleminde yer alan D değeri ise yalıtım birimi için yerdeğiştirme değerini ifade etmektedir. Birim şekildeğiştirme sınırının kontrolünde kullanılması gereken bu yerdeğiştirme değeri, TBDY (2018) 14.14.4.6 gereği Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenen yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesine üstyapı ve yalıtım sistemi burulmasından gelen ilave yerdeğiştirmelerin eklenmesi ile hesaplanan yerdeğiştirme değerinin %80'inden az olmayacak şekilde belirlenir. Yine TBDY (2018) 14.14.2.6 bu toplam yerdeğiştirme değerlerinin aşağıda denklem (3.10) ile verilen sınır değerlerden az olamayacağını ifade eder. Bu sınır değerlerin aşıldığı durumda ise hesaptan elde edilen değer ile 1.1DM değerinden büyük olanın dikkate alınacağı belirtilmektedir. Denklem (3.10)'da yer alan terimler semboller kısmında açıklanmıştır.

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (3.10)$$

Kontrolün gerçekleştirilmesi için gerekli olan yerdeğiştirme değerleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Buna göre Çizelge 3.14'te ZTADOA sonucu elde edilen toplam yerdeğiştirme değerleri, Çizelge 3.15'te denklem (3.10) ile hesaplanan sınır değerler yer almaktadır. Denklem (3.10) ile verilen sınır değerlerin hesaplanmasında deprem yüklemesi doğrultusuna bağlı olarak değişen y ve e değerleri için her iki doğrultudan daha elverişsiz sonuç veren doğrultuya ait değerler dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.14 : ZTADOA sonucu elde edilen yalıtım birimi yerdeğiştirmesi.

	<u>D (cm)</u>			
	1	2	3	4
A	25.5	25.2	25.2	25.2
B	25.2	24.7	24.7	24.7
C	25.2	24.7	24.7	24.7

Çizelge 3.15 : Yalıtım birimi yerdeğiştirmesi sınır değeri.

	D_{TM} (cm)			
	1	2	3	4
A	28.0	26.4	26.4	26.4
B	28.0	26.4	24.7	24.7
C	28.0	26.4	24.7	23.1

Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15’te yer alan sonuçlar kıyaslandığında B3, B4, C3 ve C4 eksenlerinde yer alan yalıtım birimleri hariç tüm diğeri yalıtım birimlerinde denklem (3.10) ile verilen sınır değeri daha düşük değeri elde edildiğii görülr. Bu durumda bu yalıtım birimlerine ait nihai yerdeğıştirme değeri Çizelge 3.14’te elde edilen değeri den daha büyük olan $1.1D_M = 1.1 \times 28.9 = 31.8$ cm değeri ne eşit olacaktır. B3, B4, C3 ve C4 eksenlerine yer alan yalıtım birimlerinde ise nihai yerdeğıştirme değeri Çizelge 3.14’te yer alan değeri lerdir. Sonuç olarak tüm yalıtım birimlerine ait birim şekildeğıştirme kontrollerinde kullanılacak yerdeğıştirmeler Çizelge 3.16’da özetlenmiştir. Çizelge 3.16’da yer alan yerdeğıştirme değeri leri kullanılarak elde edilen $\gamma_{s,E}$ birim şekildeğıştirmeler ise 3.17’de yer almaktadır.

Çizelge 3.16 : Yalıtım birimi nihai yerdeğıştirmesi.

	D (mm)			
	1	2	3	4
A	31.8	31.8	31.8	31.8
B	31.8	31.8	24.7	24.7
C	31.8	31.8	24.7	24.7

Çizelge 3.17 : Deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğıştirmeden meydana gelen birim şekildeğıştirme.

	$\gamma_{s,E}$			
	1	2	3	4
A	1.1	1.1	1.1	1.1
B	1.1	1.1	0.9	0.9
C	1.1	1.1	0.9	0.9

Çizelge 3.17’den görüldüğü üzere $\gamma_{s,E}$ birim şekildeğıştirme değeri leri herhangi bir yalıtım birimi için sınır değeri olan 2.0’ı geçmemektedir.

Depremlili durumda kontrol edilmesi gereken bir diğeri şekildeğıştirme sınır durumu üstte (3.6) denklemi ile verilen sınır durumdur. Bu sınırın kontrolü için yine her bir deprem yalıtım birimine ait $\gamma_{c,E}$ değeri lerinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. $\gamma_{c,E}$ değeri nin hesaplanmasında üstte verildiğii üzere $S = 21.3$ ve $E_c = 1088$ MPa olup P_{K2} ve A_{re} değeri leri sırasıyla yalıtım birimi üzerindeki düşey yüke ve yerdeğıştirmeye

bağlı olarak değişmektedir. Elde edilen P_{K2} değerleri Çizelge 3.18’de, A_{re} değerleri Çizelge 3.19’da, bunlara bağlı olarak hesaplanan $\gamma_{c,E}$ birim şekildeğiştirme değerleri ise Çizelge 3.20’de verilmiştir.

Çizelge 3.18 : $1.2G + Q + E_d$ yük birleşimi altında deprem yalıtım birimlerinde elde edilen düşey kuvvet.

	P_{K2} (kN)			
	1	2	3	4
A	2235	3660	3590	3590
B	3430	5990	6115	6110
C	3370	6230	6560	6540

Çizelge 3.19 : Depremlı durumda tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı.

	A_{re} (cm ²)			
	1	2	3	4
A	3236	3236	3236	3236
B	3236	3236	3807	3807
C	3236	3236	3807	3807

Çizelge 3.20 : Deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirme.

	$\gamma_{c,E}$			
	1	2	3	4
A	0.8	1.3	1.3	1.3
B	1.2	2.2	1.9	1.9
C	1.2	2.3	2.0	2.0

Depremlı durum için kontrol edilmesi gereken ve denklem (3.6) ile verilen toplam birim şekildeğiştirme değerleri tüm yalıtım birimleri için Çizelge 3.21’de özetlenmiştir. Buna göre herhangi bir yalıtım birimi için elde edilen değerin sınır değeri olan 6.0 değerini geçmediği görülmektedir. Birim şekildeğiştirme sınırına en çok yaklaşılan yalıtım birimleri 3.7 değeriyle B2 ve C2 eksenlerinde yer alan yalıtım birimleridir.

Çizelge 3.21 : Deprem yalıtım birimlerinde depremlı durumda oluşan toplam birim şekildeğiştirme.

	$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st}$			
	1	2	3	4
A	2.3	2.8	2.8	2.8
B	2.7	3.7	3.1	3.1
C	2.7	3.7	3.2	3.2

Üstte açıklandığı üzere hem depremsiz hem de depremli durumda deprem yalıtım sisteminde birim şekildeğiştirme sınırları sağlanmaktadır. Yine burada depremli duruma ait birim şekildeğiştirme sınırlarının kontrolü yalnızca DD-2 deprem yer hareketi düzeyine kıyasla yalıtım birimlerinde daha yüksek yerdeğiştirme ve düşey yüke sonuçları veren DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Daha güvenli sonuçlar veren DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde elde edilen birim şekildeğiştirmeler daha düşük değerlere sahiptir ve burada bu sonuçlara makul biçimde yer verilmemiştir.

3.3.4.3 Düşey kararlılık kontrolleri

Deprem yalıtım birimlerinin stabilite kontrollerinden diğeri düşey kararlılık kontrolüdür. Üst bölümde açıklanan birim şekildeğiştirme sınırlarının kontrolüne benzer şekilde deprem yalıtım birimlerinin düşey kararlılıklarının depremsiz durumda ve depremli durumda kontrol edilmesi gerekmektedir. TBDY (2018) 14.12.3'e göre gerçekleştirilen bu kontrollerden depremsiz duruma ait sınır durum (3.11) denklemi ile verilmektedir:

$$\min \frac{(P_{cr}, P_{str})}{P_{K1}} \geq 2.0 \quad (3.11)$$

Burada P_{cr} ile ifade edilen yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü tezde ele alınan türden kurşun çekirdekli yalıtım birimleri için (3.12) denklemi ile hesaplanmaktadır. Denklemden yer alan tüm terimler önceki bölümlerde açıklanmış ve değerleri belirlenmiştir.

$$P_{cr} = 0.218 \frac{G_v B^4 (1 - B_L/B)(1 - B_L^2/B^2)}{t T_r (1 + B_L^2/B)} \quad (3.12)$$

Deprem yalıtım birimi malzeme ve geometrik özellikleri (3.12) formülünde yerine konulduğunda yatay yerdeğiştirme olmadığı durum için burkulma yükü $P_{cr} = 17875$ kN olarak bulunur. (3.11) denkleminde yer alan diğer terim P_{str} ise elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekildeğiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesini ifade etmektedir ve denklem (3.13) ile elde edilir. Denklemden yer alan değerler üst bölümde birim şekildeğiştirme sınırlarının kontrolü için bulunan değerlerdir.

$$P_{str} = \frac{3.5 A_{re} E_c}{6S} \quad (3.13)$$

İlgili değerler (3.13) denkleminde yerine konulduğunda elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekildeğiştirmeye bağlı aksenal yük kapasitesi $P_{str} = 16910$ kN olarak elde edilir. Buna göre (3.11) denkleminde P_{cr} ve P_{str} değerlerinden küçük olan $P_{str} = 16910$ kN sınır değer olacaktır. Her bir deprem yalıtım birimi için $1.4G + 1.6Q$ yük birleşimi altında elde edilen düşey kuvvet değeri üst bölümde Çizelge 3.11’de verilmişti. (3.11) denklemi ile verilen sınır değer kontrolü için Çizelge 3.22’de bu kuvvet değerlerinin 2.0 ile çarpılmış halleri yer almaktadır.

Çizelge 3.22 : $2.0 \times P_{K1}$ değerleri.

	$2.0 \times P_{K1}$ (kN)			
	1	2	3	4
A	3190	6360	6230	6240
B	6120	12420	12760	12750
C	6000	12930	13790	13770

Çizelge 3.22 incelendiğinde herhangi bir kuvvet değerinin maksimum değer olan $P_{str} = 16910$ kN değerini geçmediği görülmektedir. Buna göre depremsiz durumda deprem yalıtım birimlerinin düşey kararlılıklarının sağlandığı anlaşılmaktadır.

Yalıtım birimlerinin depremlili duruma ait düşey kararlılık kontrolleri denklem (3.14)’e göre gerçekleştirilmektedir:

$$\frac{\min(P'_{cr}, P_{str})}{P_{K2}} \leq 1.1 \quad (3.14)$$

(3.14) denkleminde yer alan P'_{cr} , denklem (3.15) ile hesaplanmaktadır. Burada P_{cr} değeri depremsiz durum için hesaplanan değer olup 17875 kN’a eşittir. Elastomer yalıtım birimi brüt kesit alanını ifade eden A terimi ise yalıtım birimlerinin etrafında 1 cm’lik elastomer koruma tabakasının bulunduğu kabulü ile 6362 cm² olarak elde edilmiştir. A_{re} terimi ise denklem (3.16) ile hesaplanmaktadır.

$$P'_{cr} = P_{cr}(A_{re}/A) \quad (3.15)$$

$$A_{re} = A_r \left(\frac{\delta - \sin \delta}{\pi} \right) \quad (3.16)$$

Denklem (3.16)’da yer alan A_r depremsiz durum için hesaplanan 5881 cm²’ye eşittir. Yine burada δ değeri denklem (3.17) ile elde edilir. Buna göre önce iki farklı yerdeğiştirme değerine sahip olan deprem yalıtım birimleri için δ değeri, sonrasında ise A_{re} değeri hesaplanır. B3, B4, C3 ve C4 yalıtım birimlerinde bu değerler sırası ile 2.57 radyan ve 3807 cm²’dir. Diğer tüm yalıtım birimleri için ise $\delta = 2.40$ radyan ve

$A_{re} = 3236 \text{ cm}^2$ 'dir. Düşey kararlılığın kontrolünde kullanılacak olan ve üstteki değerler yardımıyla iki grup deprem yalıtım birimi için hesaplanan P'_{cr} ve P_{str} değerleri sırasıyla Çizelge 3.23 ve Çizelge 3.24'te özetlenmiştir. Buna göre farklı burkulma yükü sınır değerlerine sahip olan iki grup yalıtım birimi için de minimum sınır P'_{cr} değeri olmuştur.

Çizelge 3.23 : Deprem yer hareketi etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü.

	P'_{cr} (kN)			
	1	2	3	4
A	9094	9094	9094	9094
B	9094	9094	10699	10699
C	9094	9094	10699	10699

Çizelge 3.24 : Deprem yer hareketi etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekildeğiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi.

	P_{str} (kN)			
	1	2	3	4
A	9655	9655	9655	9655
B	9655	9655	11360	11360
C	9655	9655	11360	11360

Her bir deprem yalıtım birimi için $1.2G + Q + E_d$ yük birleşimi altında elde edilen düşey kuvvet değeri üst bölümde Çizelge 3.18'de verilmişti. (3.14) denklemi ile verilen sınır değerlerin kontrolü için üstteki bölümde gerçekleştirilene benzer şekilde Çizelge 3.25'te bu kuvvet değerlerinin 1.1 ile çarpılmış halleri yer almaktadır.

Çizelge 3.25 : $1.1 \times P_{K2}$ değerleri.

	$1.1 \times P_{K2}$ (kN)			
	1	2	3	4
A	2457	4025	3947	3951
B	3773	6589	6727	6719
C	3707	6854	7215	7193

Çizelge 3.25 incelendiğinde herhangi $1.1 \times P_{K2}$ kuvvet değerinin, karşılık gelen yalıtım birimi burkulma yükü değerini aşmadığı görülmektedir. Buna göre depremsiz duruma benzer şekilde depremli durumda da deprem yalıtım birimlerinin düşey kararlılıklarının sağlandığı anlaşılmaktadır.

Her iki duruma ait kontrollerden görüldüğü üzere deprem yalıtım birimlerinin düşey kararlılıkları tezde ele alınan yapı için sağlanmaktadır. Birim şekildeğiştirme kontrollerine benzer şekilde, düşey kararlılık sınır değerlerinin kontrolü yalnızca daha

elverişsiz sonuçlar veren DD-1 deprem yer hareketi düzeyine ait değerler için gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu daha düşük yerdeğiştirme ve düşey yük değerleri oluşturan ve dolayısıyla sınır değerleri daha kolay sağlayan DD-2 deprem yer hareketine ait sonuçlar bu bölümde ele alınmamıştır.

3.4 Ek Sönümleyicili Yapı

3.3 bölümünde deprem yalıtımlı yapı için ele alınan modelleme ve analiz bilgileri ek sönümleyicili yapı için bu bölümde ele alınmıştır. Takip eden alt bölümlerde sırasıyla, ele alınan viskoz sıvı sönümleyicilerin malzeme özellikleri, ek sönümleyicili yapının ön tasarımı, modelleme ve analiz yöntemi ve ek sönümleyicilerin boyut kontrolleri yer almaktadır.

3.4.1 Malzeme özellikleri

Tezde ele alınan ek sönümleyicili yapıda kullanılan viskoz sıvı sönümleyicilerin tasarım açısından belirlenebilen 2 temel özelliği bulunmaktadır. Bunlardan ilki sönümleyici davranışının doğrusal ya da doğrusal olmadığını belirleyen ve α ile gösterilen hız üssü değeri; diğeri ise bu tez kapsamında tasarım için optimize edilen ve C ile gösterilen özellik olan sönüm katsayısıdır. Deprem yalıtım birimlerine benzer şekilde sönümleyici bu cihazlar patentli teknolojilere sahiptir ve bahsedilen bu malzeme özellikleri de üreticiye göre farklılık göstermektedir. Dahası yalıtım birimlerinden farklı olarak bu cihazlar yönetmeliklerde sönümleyiciler başlığı altında genel olarak ele alınmıştır. Bu nedenle tasarım parametreleri literatürden ve ürün kılavuzlarından beraber yararlanılarak belirlenmiştir. Bu iki tasarım parametresinden hız üssü α için NEHRP (2015) 0.1 ile 2.0 arasında değişen katsayıların uygulamada kullanıldığını belirtir. Uygulamada uygun α değerinin seçimi üreticinin gerçekleştirdiği deneme-yanılma tasarım yinelenmelerine ve dolayısıyla deneyime dayanmaktadır. α değeri 1.0 değerinden uzaklaştıkça sıvı viskoz sönümleyicinin davranışı doğrusal olmayan davranışa yakınsamakta, $\alpha = 1.0$ durumu ise doğrusal davranışı belirtmektedir. Her ne kadar her bir döngüde tüketilen enerji miktarının doğrusal sönümlemeye kıyasla daha fazla olması yönüyle avantaja sahip olsa da görece rijit yapılarda sönümleyici birimleri üzerinde yüksek kuvvet oluşturması ve bu nedenle mevcut tipik sönümleyicilerden yararlanılamamasına yol açması yönüyle

tezde doğrusal olmayan sönümleyiciler tercih edilmemiştir. Tezde ele alınan tüm sönümleyiciler doğrusal viskoz sıvı sönümleyicilerdir ve hız üssü $\alpha = 1.0$ 'dır.

Sıvı viskoz sönümleyicilerin yapı tasarımı açısından belirlenmesi gereken diğer özelliği ise C , sönüm katsayısıdır. Teknik olarak sönüm katsayısının geniş bir aralıkta birçok değer alması mümkündür fakat burada belirleyici olan parametre sönümleyici birimi üzerine gelen kuvvettir. Bu nedenle burada C sönüm katsayısı için doğrudan bir değer belirlenmemiş, tasarım sonucunda sönümleyici birimleri üzerinde elde edilen en büyük eksenel kuvvete karşılık gelen sönüm katsayısı tasarım için seçilmiştir. Bu nedenle sönüm katsayısının makul bir yaklaşımla bu yöntemle seçiminde dolaylı olarak ürün kılavuzlarından (Taylor, 2022) yararlanılmıştır. Elde edilen sönüm katsayısı $C_L = 10000 \text{ kN.s/m}$ 'dir.

Deprem yalıtımlı yapıya benzer şekilde ek sönümleyicili yapılarda da kullanılan malzemelerin doğaları gereği sınır analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu sınır analizleri için yine benzer şekilde 'Özellik Değişim Katsayıları' kullanılmaktadır ve bu katsayılar ürüne ve üreticiye bağlı olarak değişmektedir. Her ne kadar tezde ele alınan yapı için üretici tarafından önerilen ve standartlara uygun olarak gerçekleştirilen testler sonucu elde edilen özellik değişim katsayıları mevcut olsa da burada deprem yalıtımlı yapıda uygulandığı şekilde bu katsayılar ilgili standarttaki değerler olarak alınmıştır. Özellik değişim katsayılarının bu türden seçimi ile her iki türden yapıda da (deprem yalıtımlı yapı ve ek sönümleyicili yapı) üreticiden üreticiye büyük farklılıklar gösterebilen ve karşılaştırma sonuçlarını önemli miktarda etkileyebilecek farklılıklar minimum seviyede tutulmaya çalışılmıştır. Buna göre ilgili standart ASCE/SEI 7-22 18.2.4.5'te verilen maksimum ve minimum özellik değişimi katsayıları sırasıyla $\lambda_{\max} = 1.2$ ve $\lambda_{\min} = 0.85$ 'tir. Bu özellik değişim katsayıları ve hesabı bir sonraki ön tasarım bölümünde verilen C_L doğrusal sönüm katsayısının alt ve üst sınır değerleri Çizelge 3.26'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.26 : Sıvı viskoz sönümleyiciye ait nominal malzeme özellikleri ile özellik değişim katsayıları.

Malzeme Özelliği / Özellik Değişim Katsayısı	Sembol	Değer	
		Alt Sınır	Üst Sınır
Özellik Değişim Katsayısı (Toplam)	$\lambda_{\text{alt}} / \lambda_{\text{üst}}$	0.85	1.20
Sönüm Katsayısı	C_L	8500 kN.s/m	12000 kN.s/m

3.4.2 Ön tasarım

Sıvı viskoz sönümleyici içeren ek sönümleyicili yapının ön tasarımı bu alt bölümde açıklanmıştır. Ön tasarım aşaması ek sönümleyicili yapıda bazı tasarım kriterlerine karar verilen ilk kısmı ve sönümleyici birimlerinin ön boyutlandırmasını içermektedir.

İlk aşamada ek sönümleyici yapıda hedeflenen sönüm oranı belirlenmelidir. Taylor (2022) yeni yapılacak %20 ile %25 arasındaki sönümün tasarımda en etkin aralık olduğunu belirtir. NEHRP (2015), her ne kadar yapılarda %35 ile %45'lere varan sönümden yararlanılabildiği görülse de yüksek sönümün genellikle taban kesme kuvvetini artırdığı ve buna bağlı olarak da yapı ve temel boyutlarındaki artış nedeniyle azalan getiriye sahip olduğunu belirtir. Buna uygun olarak, önerilen değerlerden %20 tezde ele alınan yapıda sönüm oranı hedeflenen sönüm oranı olarak seçilmiştir.

Ön tasarım hesabına geçilmeden yine sönümleyicilerin yapı planı ve yüksekliğince dağılımı belirlenmelidir. Öncelikle yapıda çerçeveler arasına çelik elemanlar vasıtasıyla yerleştirilecek sönümleyici birimlerinin minimum sayıları belirlenmiştir. Buna göre ASCE/SEI 7-22 18.2.1.1'de belirtildiği üzere, ek sönümleme içeren yapıda elde edilecek kesme kuvvetini azaltmak yapıda, her katta her iki doğrultuda burulmaya karşı konfigüre edilmiş en az iki sönümleyici biriminin bulunması halinde mümkün olmaktadır. Yine ASCE/SEI 7-22 18.2.4.6'da yapının herhangi bir katında her iki doğrultuda dörtten az sönümleyici birimi bulunması halinde veya herhangi bir katın herhangi bir doğrultusunda rijitlik merkezinin her iki tarafında ikiden az sönümleyici birimi bulunması halinde elde edilen yerdeğiştirme, hız ve kuvvet değerlerinin artırılmasını zorunlu kılar. Üst iki cümlede geçen şartlar dikkate alındığında ek sönümleme sisteminden etkin bir şekilde yararlanmak için her katta her doğrultuda rijitlik merkezinin etrafına simetrik bir şekilde yerleştirilmiş ikişer adet sönümleyici biriminin kullanılmasının makul olduğu görülmektedir. Bu şartlar sağlanmadığında tezin 4. bölümünde deprem yalıtımlı yapı ile karşılaştırma sonuçlarının, örneğin taban kesme kuvvetinin standart yapı için elde edilen değerin azaltılamaması yoluyla doğrudan etkilendiği anlaşıldığından bu tür bir uygulamaya gidilmiştir. Buna göre ek sönümleme birimleri takip eden bölümde gösterildiği üzere planda uzun doğrultuda B2-B3, B5-B6 ve D2-D3, D5-D6 açıklıklarında; kısa doğrultuda ise B2-C2, C2-D2 ve B6-C6, C6-D6 açıklıklarında yer alacaktır. Her ne kadar en dış açıklıkta sönümleyicilerin daha verimli çalışabilecekleri öngörülse de makul bir yaklaşımla yapı yüksekliği

boyunca sönümleyicileri aynı doğrultuda yerleştirmek için bu türden bir uygulamaya gidilmiştir.

Sönümleyicilerin üstte belirlenen açıklara birçok farklı şekilde yerleştirilmesi mümkündür. Tez kapsamında doğrudan bu yerleşim farklılığının etkisi incelenmediğinden, çapraz, yatay ya da ‘makaslı kriko’ (scissor-jack) gibi farklı türden yerleşimlerden tez kapsamında en basit ve en yaygın hal olan ve ilave tasarım detayları gerektirmeyen çapraz yerleşim tercih edilmiştir.

Ek sönümleyicili yapıda kullanılacak minimum sönümleyici sayısı yukarıda belirlenmişti. Her ne kadar optimize edilmiş ekonomik bir sonuç tezde ele alınan yapı için temel endişelerden biri olmasa da görece makul sonuçlar için maksimum sönümleyici sayısının belirlenmesinde NEHRP (2015)’de yer alan önerilerden yararlanılmıştır. Yine Taylor (2022) çok sayıda küçük sönümleme cihazının kullanılmasının az sayıda büyük sönümleme cihazı kullanılmasından daha uygun maliyetli olduğunu belirtir. Buna göre takip eden kısımda elde edilen sönümleyici özelliklerinin belirlenmesinde NEHRP (2015)’te belirtildiği üzere toplam sönümleyici sayısının 32 değerinin altına inmesine ve sönümleyici üzerine gelen kuvvetin 2650 kN altında kalmasına dikkat edilmiştir. Buna göre yapıda her katta ve her açıklıkta üstte belirtilen açıklıklarda birer adet olmak üzere toplam 32 adet sıvı viskoz sönümleyici kullanılacaktır.

Yapı boyunca yerleşimi belirlenen ek sönümleyicilerin ön tasarımı NEHRP (2015)’de verilen ve Christopoulos ve Filiatrault (2006)’da sunulan yöntemden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle göre belirli bir modda belirli bir sönüm oranını elde etmek için gerekli olan viskoz sönüm katsayıları hesaplanır ve buna uygun olarak sönümleyici sönüm katsayıları belirlenir. Tezde ele alınan yapı için gerçekleştirilen bu ön tasarım Şekil 3.27’de verilen çevrimde özetlenmiştir.

Tekrarlamalı bir süreç olan ön tasarım aşaması için aşağıdaki adımlarda yer alan değerler son adımda elde edilen nihai sonuçlardır ve bu değerler kullanılarak yapının zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilmiştir.

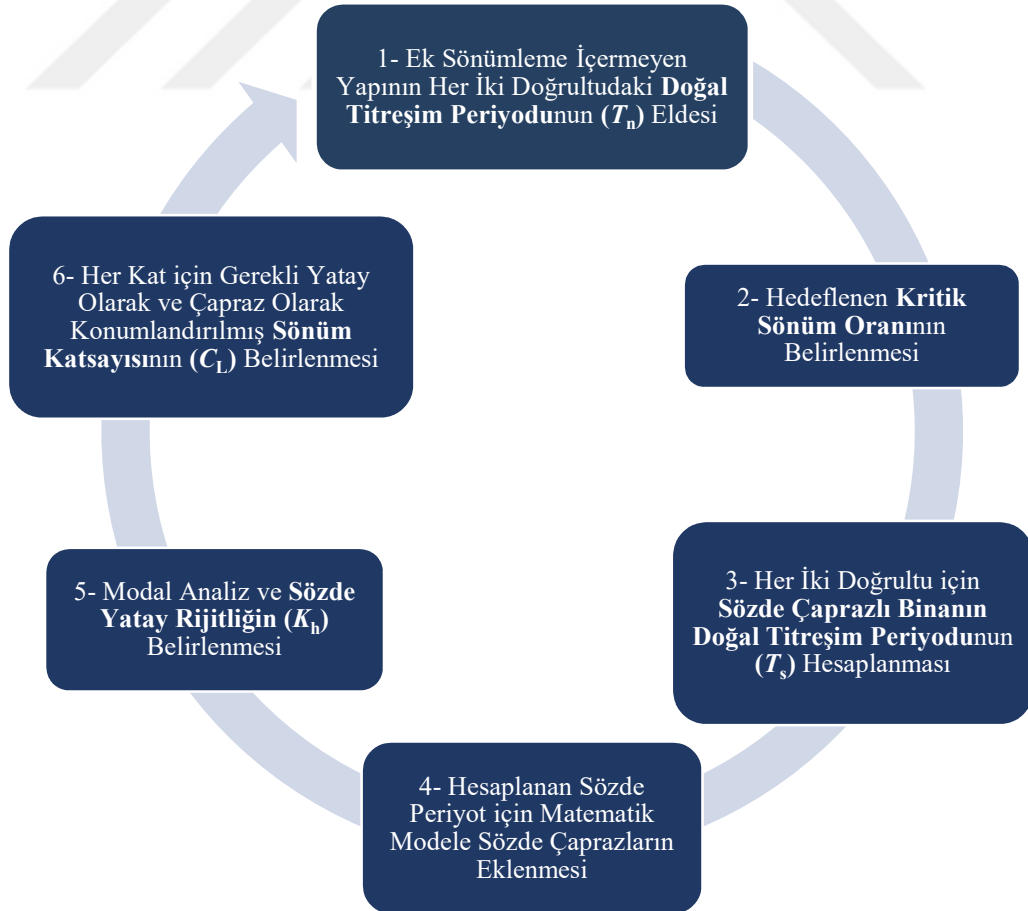
- İlk adımda ek sönümleme içermeyen standart yapının 3-boyutlu matematik modeli oluşturulmuş ve modal analiz gerçekleştirilerek her iki doğrultudaki birinci moduna ait periyot elde edilmiştir. Yapının uzun (X) doğrultuda elde

edilen birinci mod titreşim periyodu $T_p^{(X)} = 0.88$ s, kısa (Y) doğrultuda elde edilen birinci mod titreşim periyodu ise $T_p^{(Y)} = 0.91$ s'dir.

- İkinci adımda yapı için hedeflenen sönüm oranı belirlenmelidir. Burada sırasıyla X doğrultusunda 0.88 s titreşim periyotlu birinci mod ve Y doğrultusunda 0.91 s titreşim periyotlu birinci mod için sönüm oranı üstte de belirtildiği üzere %20'dir ($\xi_x = 0.20$ ve $\xi_y = 0.20$). Ön tasarımda hesap kolaylığı açısından iç sönüm ihmal edilmiştir.
- Hedeflenen sönümü yapıda oluşturmak için idealize edilen sözde çaprazlı binanın her iki doğrultu için birinci titreşim periyodu hesaplanmıştır. İlgilenilen her bir mod için bu sözde çaprazlı bina titreşim periyodu denklem (3.17) ile hesaplanır.

$$T_{ps,m} = \frac{T_p}{\sqrt{2T_p + 1}} \quad (3.17)$$

Buradan $T_{ps,m}^{(X)} = 0.74$ s, $T_{ps,m}^{(Y)} = 0.77$ s olarak elde edilir.



Şekil 3.27 : Ek sönümleyicili yapı ön tasarım çevrimi.

- Bu adım, her iki doğrultu için bir önceki adımda hesaplanan sözde çaprazlı yapıya ait periyodu elde etmek için yapı matematik modeline eklenecek sözde çapraz alanının hesaplanmasını içerir. İlgili sözde çapraz alanlarını elde etmek için öncelikle her iki doğrultuda her katın yanal rijitliği matematik model yardımıyla hesaplanır. Burada her katın her iki doğrultuda yanal rijitliği yapı en üst katına 100 kN gibi birim bir yanal yük etki ettirilip sonuçlar programdan okunarak elde edilmiştir. Sonrasında, uygulanan ön tasarım yöntemi rijitlik orantılı (stiffness proportional) sönüme dayanan bir yöntem olduğundan her katta her doğrultuda eklenecek sözde yatay rijitlik katlara rijitlikleri oranında dağıtılarak elde edilmiştir. Bu gerçekleştirilirken en alt kata bir deneme rijitliği eklenmiş, diğer kata eklenen rijitlikler ise bu değere göre oranlanarak bulunmuştur. En alt kat için deneme değeri her iki doğrultudaki rijitliğin %38'i olarak alınmıştır. Birazdan açıklanacağı üzere hedef sönüme tek yineleme ile gidildiğinden başlangıç değeri burada kritik bir öneme sahip değildir.
- Elde edilen bu kat ek yatay rijitlikleri ve denklem (3.18) kullanılarak yapı modeline eklenecek sözde çaprazların alanı hesaplanmıştır. Burada $K_{deneme,i}$ ilgili kat ve doğrultudaki ek yatay rijitliği, L eklenecek çapraz boyunu, N_i ilgili kat ve doğrultudaki çapraz içeren açıklık sayısını, E çapraz malzemenin elastisite modülünü ve θ çaprazın yatayla yaptığı açıyı göstermektedir. L çapraz boyu en alt kata ait çaprazlarda 8.60 m, diğer katlarda 8.32 m; N_i her bir kat ve doğrultu için 4, çelik malzeme elastisite modülü $E = 200000$ MPa ve θ en alt kattaki çaprazla için 29.3° , diğer katlardaki çaprazlar için 25.6° 'dir. Çaprazlar sıvı viskoz sönümleyiciler ile aynı yerlere yerleştirilecektir.

$$A_{capraz,i} = \frac{K_{deneme,i}L}{N_i E \cos^2 \theta} \quad (3.18)$$

- Her bir kat ve her iki doğrultu için elde edilen çapraz alanları ve çapraz malzemenin elastisite modülü kullanılarak sözde çaprazlar yapı modeline eklenmiştir. Böylelikle her bir kata her iki doğrultuda eklenen çaprazlar ile çapraz içermeyen yapı ile aynı mod şekline sahip ama ek yatay rijitlik içeren yapı modellenmiş olmaktadır. Sonrasında bu model kullanılarak sözde çaprazlı binanın T_{deneme} 'deneme titreşim periyodu' elde edilmiştir. Elde edilen deneme titreşim periyotları X ve Y doğrultuları için sırasıyla $T_{deneme}^{(X)} = 0.75$ s ve $T_{deneme}^{(Y)} = 0.78$ s'dir.

- Sözde ek yatay rijitlik; önceki adımlarda elde edilen deneme ek yatay rijitlikleri $K_{deneme,i}$, birinci mod titreşim periyotları T_p , deneme titreşim periyotları T_{deneme} ve sözde çaprazlı bina titreşim periyotları $T_{ps,m}$ değerleri kullanılarak denklem (3.19) yardımıyla tek yineleme (iterasyon) ile edilmiştir.

$$K_{yatay,i} = \frac{K_{deneme,i}}{\left(\frac{T_p^2 - T_{deneme}^2}{T_p^2 - T_{ps,m}^2}\right) \left(\frac{T_{ps,m}^2}{T_{deneme}^2}\right)} \quad (3.19)$$

- Her bir kat ve her iki doğrultu için elde edilen bu yatay rijitlik ve bina titreşim periyodu kullanılarak yine her bir kat ve her iki doğrultu için gerekli yatay doğrusal sönüm katsayısı $C_{L,yatay,i}$, denklem (3.20) yardımıyla elde edilmiştir. Her bir çerçeve açıklığında çapraz olarak yerleştirilmiş sıvı viskoz sönümleyiciler için eşdeğer sönüm katsayısı $C_{L,çapraz,i}$ ise (3.21) denklemini ile elde edilmiştir. Her bir sönümleyici için elde edilen sönüm katsayıları aşağıda verilmiştir.

$$C_{L,yatay,i} = \frac{K_{yatay,i} T_p}{2\pi} \quad (3.20)$$

$$C_{L,çapraz,i} = \frac{C_{L,yatay,i}}{N_i \cos^2 \theta} \quad (3.21)$$

Yukarıda açıklanan ön tasarım aşamalarında elde edilen, sözde çapraz içermeyen yapıya ait yanal rijitlikler, ilk denemeye ait ek yanal rijitlikler ve bu rijitlik için hesaplanan çapraz enkesit alanları, yineleme sonucu elde edilen ek yanal rijitlikler ile yatay doğrusal sönüm katsayıları her kat için X doğrultusunda Çizelge 3.27’de, Y doğrultusu için ise Çizelge 3.28’de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 3.27 : Sıvı viskoz sönümleyici ön tasarımında elde edilen değerlerin özeti (X doğrultusu).

Kat	Yanal Rijitlik (K)	Deneme Ek Yanal Rijitliği (K_{deneme})	Sözde Çapraz Alanı (A_{capraz})	Nihai Ek Yanal Rijitlik (K_{yatay})	Yatay Doğrusal Sönüm Katsayısı ($C_{L,yatay}$)
	kN/m	kN/m	mm ²	kN/m	kN.s/m
4	280136	107432	1375	114238	16018
3	485037	186012	2380	197795	27734
2	554339	212589	2720	226057	31697
1	652610	250276	3534	266131	37316

Ön tasarım sonucu elde edilen çapraz şekilde konfigüre edilmiş sıvı viskoz sönümleyiciler için elde edilen doğrusal sönüm katsayıları ise her kat ve her iki doğrultu için Çizelge 3.29’da yer almaktadır.

Çizelge 3.28 : Sıvı viskoz sönümleyici ön tasarımında elde edilen değerlerin özeti (Y doğrultusu).

Kat	Yanal Rijitlik (K)	Deneme Ek Yanal Rijitliği (K_{deneme})	Sözde Çapraz Alanı (A_{capraz})	Nihai Ek Yanal Rijitlik (K_{yatay})	Yatay Doğrusal Sönüm Katsayısı ($C_{L,yatay}$)
	kN/m	kN/m	mm ²	kN/m	kN.s/m
4	263201	100938	1292	105218	15306
3	440266	168842	2160	176002	25603
2	508685	195081	2496	203354	29581
1	619350	237521	3354	247593	36017

Çizelge 3.29 : Ek sönümleyicili yapı için elde edilen rijitlik-orantılı doğrusal viskoz sönüm katsayıları.

Kat	X Doğrultusu	Y Doğrultusu
	Çapraz Doğrusal Sönüm Katsayısı ($C_{L,çapraz}$) kN.s/m	Çapraz Doğrusal Sönüm Katsayısı ($C_{L,çapraz}$) kN.s/m
4	4927	4708
3	8531	7875
2	9750	9099
1	12255	11828

Çizelge 3.29’de verilen sonuçlar incelendiğinde yapı taşıyıcı sisteminin her iki doğrultuda simetrik olmasına bağlı olarak aynı kat için her iki doğrultuda elde edilen sönüm katsayıları beklendiği üzere yakın değerler almıştır. Yine diğer katlara kıyasla daha küçük boyutlarda olan ve dolayısıyla daha düşük yanal rijitliğe sahip olan en üst katta, hedeflenen toplam yapı sönümüne ulaşmak için gerekli olan sönüm değerinin kayda değer oranda düştüğü görülmektedir. Bu noktada her ne kadar teorik olarak her bir kat için farklı sönüm katsayısına sahip sıvı viskoz sönümleyiciler kullanmak mümkün olsa da uygulamada projede kullanılacak sönümleyici tipi sayısını mümkün oldukça az sayıda tutmak hem üretim ve test süreçlerinin kısılması hem de ekonomiklik bakımından faydalıdır. Buna uygun olarak tezde ele alınan yapıda tek tip sıvı viskoz sönümleyici kullanımına karar verilmiştir. Yine tek tip sıvı viskoz sönümleyici kullanımı kararı tek tip deprem yalıtım birimi kullanımı ile de örtüşmekte ve iki yapıda yer alan pasif kontrol sistemi tipini mümkün oldukça az tutarak yapıların karşılaştırılmasını daha sağlıklı kılmaktadır.

Tezde ele alınan yapı için seçilen sönümleme katsayısı $C_{L,yatay} = 10000$ kN.s/m’dir. Bu değer her ne kadar en üst kat için fazla bir değer olsa da yukarıda belirtildiği gibi tek tip olarak seçilen sıvı viskoz sönümleyicinin yapının diğer katlarında gerekli sönüm değerini sağlaması için gerekli görülmektedir. Yine burada, seçilen 10000 kN.s/m

değerinin en alt kat için gerekli olan sönüm katsayısından düşük olmasının en üst kat için sönüm katsayısının fazla seçilmesi durumunu bir miktar tolare ederek yapıda hedeflenen ortalama sönümü sağlayacağı öngörülmüştür.

3.4.3 Modelleme ve analiz yöntemi

Üstyapı taşıyıcı sistem özellikleri önceki bölümlerde açıklanan ve sıvı viskoz sönümleyici özellikleri belirlenen ek sönümleyicili yapının modellenmesi ve analizine ait bilgiler bu alt bölümde ele alınmıştır.

3.4.3.1 Modelleme

Ek sönümleme içeren yapıların modellenmesine dair ülkemizde henüz bir yönetmelik veya bir tasarım kılavuzu bulunmadığından tezde ele alınan ek sönümleyicili yapı ASCE/SEI 7-22'ye uygun olarak modellenmiştir. Burada ASCE/SEI 7-22 18.3'te verilen özel duruma uygun olarak deprem kuvveti dayanım sistemi (SFRS: seismic force resisting system) elemanları ve sönümleyici elemanları bu sistem elemanlarına birleştiren elemanlar üzerindeki kesit zorları, yine bu elemanların güvenlik katsayısı 1.0 alınarak hesaplanan olası (expected) dayanımlarının 1.5 katını aşmadığından; yalnızca sıvı viskoz sönümleyiciler doğrusal olmayan davranış için modellenmiş, üstyapı ise doğrusal elastik şekilde modellenmiştir. Yönetmelik tarafından izin verilen bu tür bir modelleme, karşılaştırılacak her iki yapıda da doğrusal olmayan davranışın yalnızca deprem yalıtım birimleri ve ek sönümleyici birimleri üzerinde incelenmesi yönüyle de tutarlıdır. Yine burada üstyapıyı oluşturan taşıyıcı sistem elemanlarına ait etkin kesit rijitliklerinin yapının deprem etkisi altında neredeyse elastik (essentially elastic) davrandığı görüldüğünden makul bir yaklaşımla deprem yalıtımlı yapı için kullanılan değerlerle aynı alındığını belirtmekte fayda vardır. Deprem yalıtımlı yapı ile ek sönümleyicili yapı aynı üstyapıya sahip olduğundan ek sönümleyicili yapıda aynı üstyapı modeli kullanılmıştır. Bu nedenle tezde 3.3.3.1 bölümünde verilen üstyapıya ait modelleme kuralları burada tekrarlanmamış, burada yalnızca ek sönümleme sisteminin modellenme yöntemi açıklanmıştır.

Ön tasarım bölümünde belirtildiği üzere ek sönümleyicili yapıda ek sönümleme sistemi, planda uzun doğrultuda B2-B3, B5-B6 ve D2-D3, D5-D6 açıklıklarında; kısa doğrultuda ise B2-C2, C2-D2 ve B6-C6, C6-D6 açıklıklarında çerçeveye çapraz olarak yerleştirilmiş sıvı viskoz sönümleyicilerden oluşmaktadır. Yine ayrıntıları önceki

bölümlerde verilen sönümleyicilerin planda bu türden bir dağılımı burulma düzensizliği oluşturmamaktadır.

Deprem yalıtımlı yapıya benzer şekilde ek sönümleyicili yapının analizlerini gerçekleştirebilmek için 2 farklı model oluşturulmuştur. Bu iki modelden ilki sönümleyici birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri kullanılarak oluşturulurken diğer sönümleyici birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Böylelikle ek sönümleme sisteminin (sıvı viskoz sönümleyicilerin) alt ve üst sınır değerlerine ait kuvvet-hız ve kuvvet-yerdeğiştirme davranışı ASCE/SEI 7-22'ye uygun olarak 2 farklı model ile temsil edilmiştir.

Ek sönümleme sistemini oluşturan sıvı viskoz sönümleyiciler ETABS yapısal analiz ve tasarım programında 'link' elemanlar olarak modellenmiştir. Sönüm katsayısı C_L ve hız üssü α değerleri belirlenen ek sönümleme birimleri modellenirken ETABS programında girişi yapılan verilen Şekil 3.28'de alt sınır için; Şekil 3.29'da üst sınır için gösterilmektedir. Yine makul bir biçimde yalnızca eksenel doğrultuda modellenen ek sönümleyicileri üstyapı taşıyıcı sistemine birleştiren çelik çapraz elemanların eksenel rijitlikleri de modelde girilmektedir. Burada bu değer $K = 350000$ kN/m olarak kabul edilmiş ve çapraz elemanın üzerine gelen eksenel kuvvet belirlendikten sonra uygun bir çapraz eleman alanı seçilerek bu değer sağlandığı doğrulanmıştır. Bu sönüm katsayısı, hız üssü ve eksenel rijitlik değerleri kullanılarak oluşturulan ek sönümleyicili yapı modeli yapı sisteminin genel davranışını inceleme açısından yeterli bulunmuştur.

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: DoğrusalSVS-LB

Direction: U1

Type: Damper - Exponential

NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness: 0 kN/m

Effective Damping: 0 kN-s/m

Nonlinear Properties

Stiffness: 350000 kN/m

Damping: 8500 kN'(s/m)'Cexp

Damping Exponent: 1

☐ Fixed Length Damper

Damper Length:

Extender Properties

Modulus of Elasticity:

Cross Sectional Area:

OK Cancel

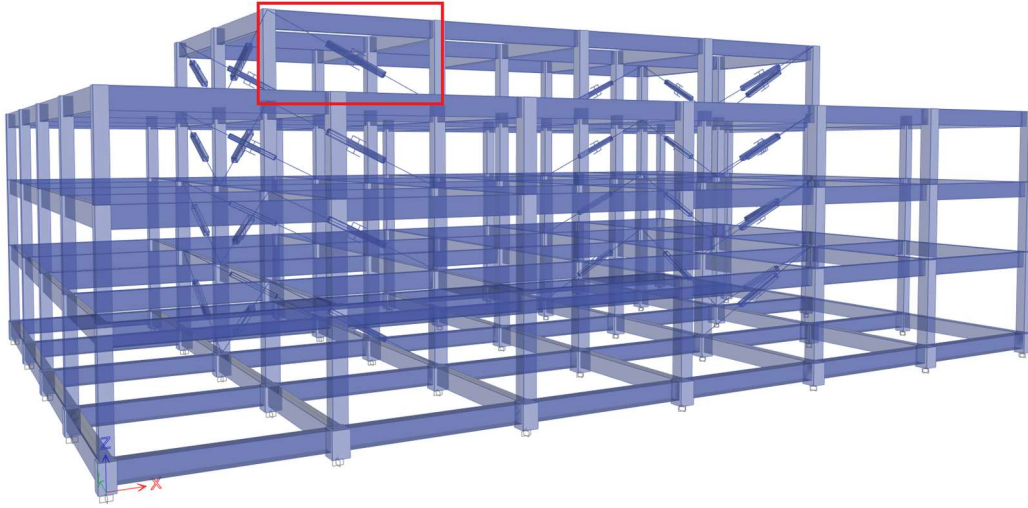
Şekil 3.28 : Sıvı viskoz sönümleyici biriminin modellenmesi (Alt sınır).

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	DoğrusalSVS-UB
Direction	U1
Type	Damper - Exponential
NonLinear	Yes
Linear Properties	
Effective Stiffness	0 kN/m
Effective Damping	0 kN-s/m
Nonlinear Properties	
Stiffness	350000 kN/m
Damping	12000 kN*(s/m) ^{Cexp}
Damping Exponent	1
☐ Fixed Length Damper	
Damper Length	
Extender Properties	
Modulus of Elasticity	
Cross Sectional Area	
OK Cancel	

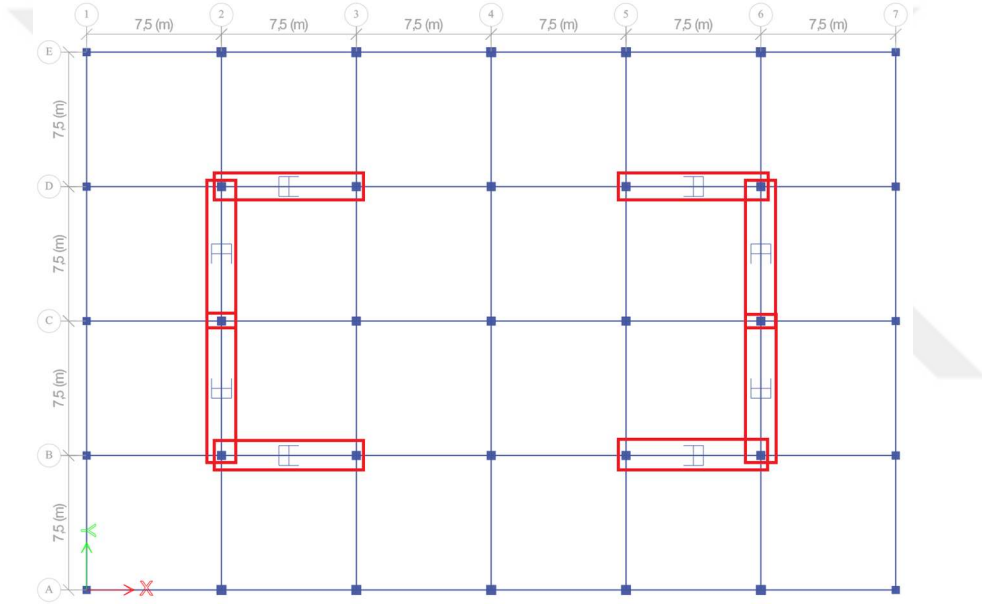
Şekil 3.29 : Sıvı viskoz sönümleyici biriminin modellenmesi (Üst sınır).

Ek sönümleyici birimlerinin ETABS programında davranışı modellenirken program aynı zamanda doğrusal özellikleri de sormakta ve bu özellikleri ZTADOA sonuçları ile bağımsız bir şekilde Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Analizleri'nde kullanmaktadır. Burada Mod Toplama Analizi sonuçları ile ilgilenilmediğinden ilgili değerler veri girişinde boş bırakılmıştır. Yine sönümleyici birimlerini modellerken link elemanın kütlesi ve dönel rijitliği ile burulma rijitliği deprem yalıtımlı yapıdaki yaklaşımla belirlenerek modele girilmiştir. Tüm bu girdiler dışındaki parametreler için değerler yaklaşık olarak girilmiştir ve ilgili parametreler genel yapı tepkisi açısından sonuçlarda ihmal edilebilir düzeyde etkilere sahiptir ve daha çok hareket denkleminin çözümündeki yakınsama miktarını ve analiz süresini etkilemektedir.

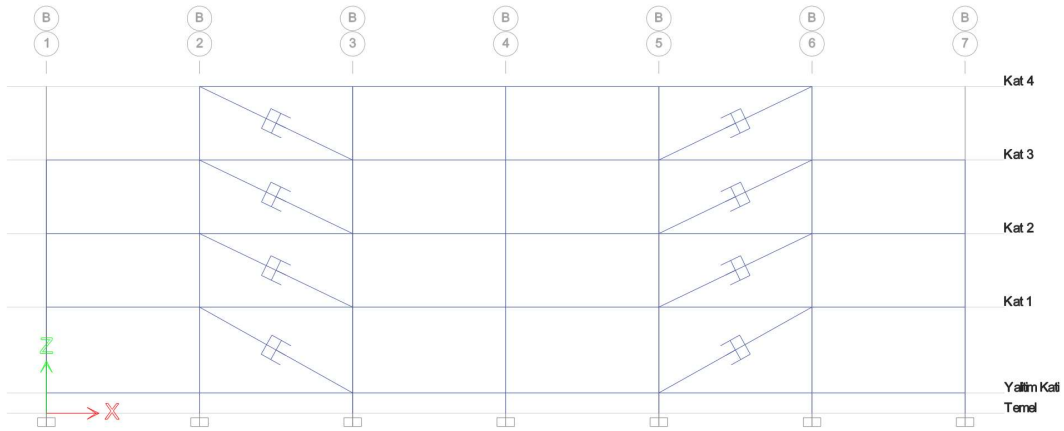
Yukarıda açıklandığı şekilde modellenen ek sönümleyicili yapıya ait 3 boyutlu ETABS modeli Şekil 3.30'da verilmiştir. Şekilde ek sönümleme birimleri yukarıda bahsedilen açıklıklarda görülmektedir. Burada betonarme çerçeve sisteminin ve ek sönümleyicilerin daha net görülebilmesi için döşemelerin görüntüleri kaldırılmıştır. Yine Şekil 3.31'de sıvı viskoz sönümleyicilerin her bir kat için planda yerleşimleri; Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te ise sırasıyla B ile D ve 2 ile 5 eksenleri için sıvı viskoz sönümleyicilerin yapı yüksekliğince yerleşimleri gösterilmiştir.



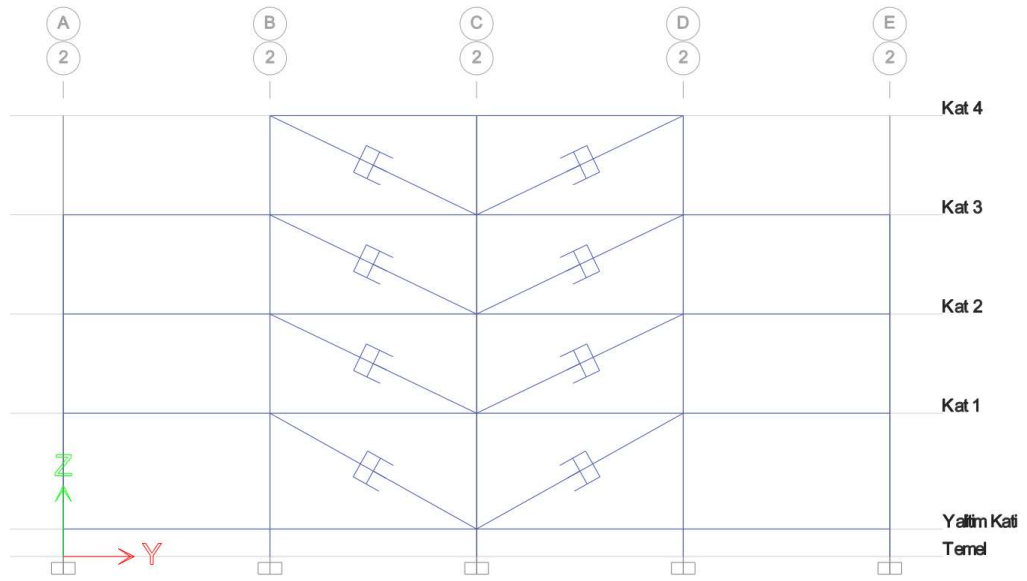
Şekil 3.30 : Ek sönümleyicili yapı 3 boyutlu modeli.



Şekil 3.31 : Ek sönümleme birimlerinin planda yerleşimi.



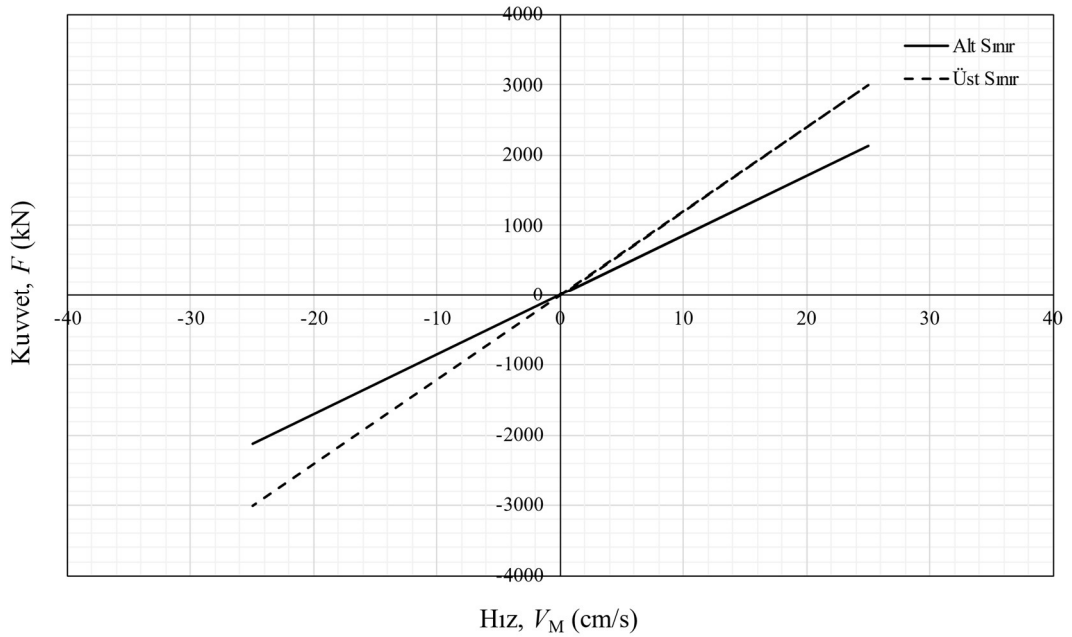
Şekil 3.32 : Ek sönümleme birimlerinin B ve D eksenlerinde yapı yüksekliğince yerleşimi.



Şekil 3.33 : Ek sönümleme birimlerinin 2 ve 5 eksenlerinde yapı yüksekliğince yerleşimi.

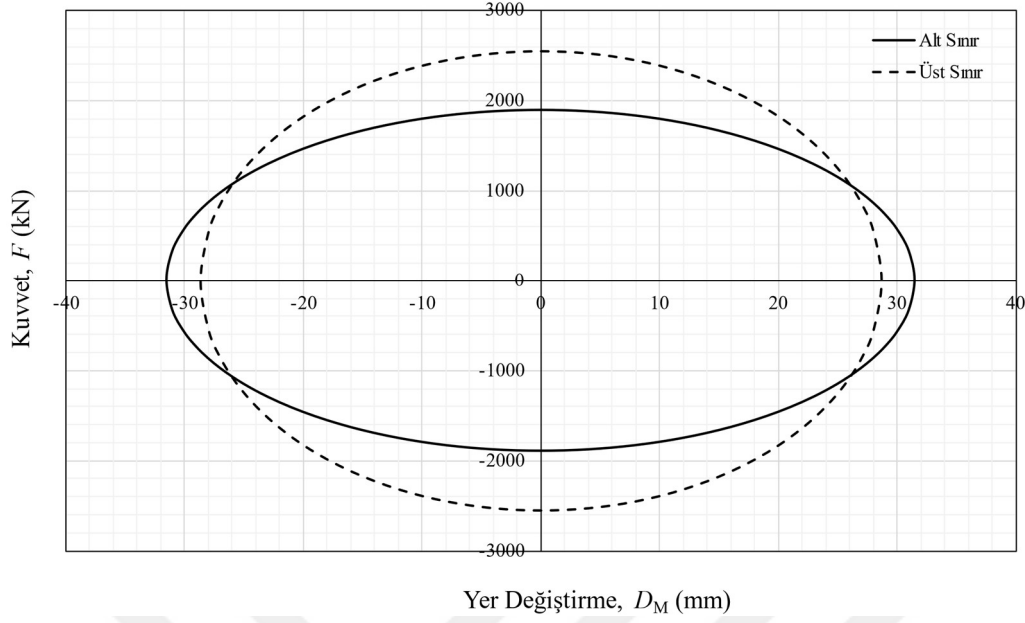
Önceden belirtildiği üzere viskoz sönümleyicilerin davranışları, sönümleyicinin deprem yer hareketi esnasında maruz kaldığı hıza bağlıdır. Modellenmesi gerçekleştirilen doğrusal davranış gösteren hıza bağımlı sıvı viskoz sönümleyicilerin kuvvet-hız ilişkisi Şekil 3.34’te, kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi ise Şekil 3.35’te alt ve üst sınır için birlikte gösterilmiştir.

Ek Sönümleyici Birimi - Kuvvet-Hız İlişkisi



Şekil 3.34 : Ek sönümleyici birimi kuvvet-hız ilişkisi.

Ek Sönümleyici Birimi - Kuvvet-Yer Değiştirme İlişkisi



Şekil 3.35 : Ek sönümleme birimi kuvvet-yer değiştirme ilişkisi.

Yukarıda açıklanan şekilde modellenen ek sönümleyicili yapının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizleri (ZTADOA) takip eden alt bölümde açıklandığı üzere ASCE/SEI 7-22 bölüm 18.3'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3.4.3.2 Analiz

Üst bölümde modelleme yöntemi açıklanan ek sönümleyicili yapının deprem etkisi altında analizi ASCE/SEI 7-22 bölüm 18.3'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. İlgili bölüm ek sönümleyici içeren yapıların Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi prosedürünü açıklamaktadır. Burada ek sönümleyicili yapıların analizinde en yaygın olarak kullanılan ve yapı davranışının en gerçekçi tahminini veren ZTADOA'nın standart tarafından temel analiz yöntemi olduğunu vurgulamakta fayda vardır (NEHRP, 2015). ASCE/SEI 7-22 bölüm 18.7'de ZTADOA'ya 'alternatif yöntemler' olarak ele alınan Tepki Spektrumu (Mod Birleştirme) Yöntemi ve/veya Eşdeğer Yanal Kuvvet Yöntemi ile analiz daha çok uğraş gerektirmektedir. Bu nedenle tezde ele alınan ek sönümleyici yapı, her ne kadar ASCE/SEI 7-22 18.2.3'te yöntem seçimi ile ilgili şartları her iki elastik yöntem için sağlasa da burada analiz için yalnızca ZTADOA uygulanmıştır.

Ek sönümleyicili yapının zaman tanım alanında analizlerinde kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi TBDY (2018)'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yine ASCE/SEI 7-22 18.2.3 deprem yer hareketlerinin seçimi ve

ölçeklendirilmesi için 16.2.2 ve 16.2.3 bölümlerine atıfta bulunmaktadır. Burada her iki yönetmelikte de bu konuda yaklaşımlar çok benzerdir. Bu noktada ASCE/SEI 7-22'den TBDY (2018)'den farklı olarak basit ölçeklendirme için dikkate alınması gereken aralığının belirlenmesinde yararlanılmıştır.

Deprem yalıtımlı yapıya benzer şekilde analizler gerçekleştirilirken birbirine dik iki yatay doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin asal eksenleri doğrultusunda (X ve Y) etki ettirilmiş, sonrasında ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek (Y ve X) hesap tekrarlanmıştır. Burada ASCE/SEI 7-22, TBDY (2018)'den farklı olarak yakın fay etkisinde olmayan yapılar için, üstte bahsedilen ivme kayıtlarının eksenlerinin 90° döndürülerek hesabın tekrarlanmasını zorunlu kılmamaktadır. Yine gerçekleştirilen bu ilave analizlerin azalan getirilere sahip olduğu ve tipik uygulamada tasarımın yönlerine göre optimize edilmediği göz önüne alındığında nihai tasarım üzerinde çok küçük etkilere sahip olduğu NEHRP (2015)'de belirtilmektedir. Tezde ise bu uygulamanın TBDY (2018)'e uygun olduğu ve karşılaştırma gerçekleştirilen deprem yalıtımlı yapıda da aynı şekilde uygulandığı göz önünde bulundurularak ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek analizler tekrarlanmıştır.

Ek sönümleyicili yapının analizi için ETABS programı tarafından oluşturulan hareket denkleminde sıvı viskoz sönümleyici birimlerinin doğrusal olmayan davranışına ilişkin enerji tüketimi doğrudan girmektedir. Bu enerji tüketimi ek sönümleyici birimlerinin histeretik hareketleri sırasında ortaya çıkmaktadır ve analiz esnasında önceki bölümde tanımlandığı üzere kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinden faydalanılarak hesaplanmakta ve denklem takımına dahil edilmektedir. Doğrusal elastik olarak davranan ve tez kapsamında doğrusal olarak modellenen üstyapı taşıyıcı sistemi, sönümleme elemanlarını taşıyıcı sisteme bağlayan bağlantı elemanları ve yapısal olmayan elemanların oluşturduğu dinamik enerji kaybı ise sönüm matrisine modelleme esnasında modal sönüm (içsel sönüm) ile göz önüne alınarak eklenmiştir. Burada ASCE/SEI 7-22 18.3'e uygun olarak modal sönüm değeri tüm modlar için %3 olarak belirlenmiştir.

Yapının zaman tanım alanında analizi için oluşturulan yükleme durumu Şekil 3.36'da örnek olarak Darfield Depremi ve tek doğrultu için verilmiştir. Her bir deprem için belirlenen ölçek katsayıları tezde Bölüm 3.2.3'te yer almaktadır ve bu ölçek katsayıları kullanılarak her bir deprem ve doğrultu için yükleme durumları oluşturulmuştur. Ayrıca deprem yalıtımlı yapıya benzer şekilde ek sönümleyicili yapının analizi üst

bölümlerde açıklandığı üzere sönümleyici birimlerine ait parametrelerin alt ve üst sınır değerleri için ayrı ayrı gerçekleştirileceğinden her iki sınır duruma ait farklı analiz modelleri kullanılmıştır.

General

Load Case Name: Darfield_YX [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History | Nonlinear Direct Integration [Notes...]

Mass Source: KütleyKaynagi

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: []

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	RSN6923_DARFIEL...	17550
Acceleration	U2	RSN6923_DARFIEL...	17550

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: None

Number of Output Time Steps: 14746

Output Time Step Size: 0.005 sec

Damping: Mass: 0; Stiff: 0; Modal: Yes [Modify/Show...]

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default - Iterative Only [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 3.36 : Ek sönümleyicili yapının ZTADOA’i için oluşturulan yükleme durumu örneği (Darfield Depremi ve tek doğrultu).

ASCE/SEI 7-22 18.3’e uygun olarak ek sönümleyicili yapıya ait ZTADOA hem DD-1 hem de DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Tezin 4. Bölümünde incelenen sonuçlar yine ASCE/SEI 7-22 18.3.3’e uygun olarak ilgili deprem yer hareketi seviyesinde ve ilgili doğrultuda her bir deprem kaydı için bulunan en büyük değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir.

Yukarıda bahsedilen ek sönümleyicili yapı modellerine ek olarak detayları tezin 4. bölümünde açıklandığı üzere, yapıda ek dışmerkezlilik etkisini göz önüne almak amacıyla, her iki doğrultuda kat kütlelerinin ilgili doğrultularda deprem yüklemesine dik doğrultudaki plan boyutunun %5’i kadar kaydırıldığı 2 farklı model daha oluşturulmuştur. Bu modellerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yine 4. bölümde yer almaktadır.

3.4.4 Boyut kontrolleri

Tezde bölüm 3.4.2’de ön tasarımı ve bölüm 3.4.3’de modelleme ve analiz yöntemi açıklanan ek sönümleyicili yapının Zaman Tanım Alanında Analizleri gerçekleştirilmiştir. Tezin 4. bölümünde ilgili deprem yalıtımlı yapı ile yapı genel parametreleri üzerinden sonuçların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmeden önce bu alt bölümde ek sönümleme birimlerinin boyutlandırılmasında ve dolayısıyla analiz sonuçlarında etkili olan sönümleyici boyutu kontrollerine yer verilmiştir. Takip eden alt bölümlerde öncelikle ZTADOA’i doğrulamak amacıyla ek sönümleme birimlerinin kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin doğrulanması sonrasında ise boyut kontrolleri gerçekleştirilmiştir.

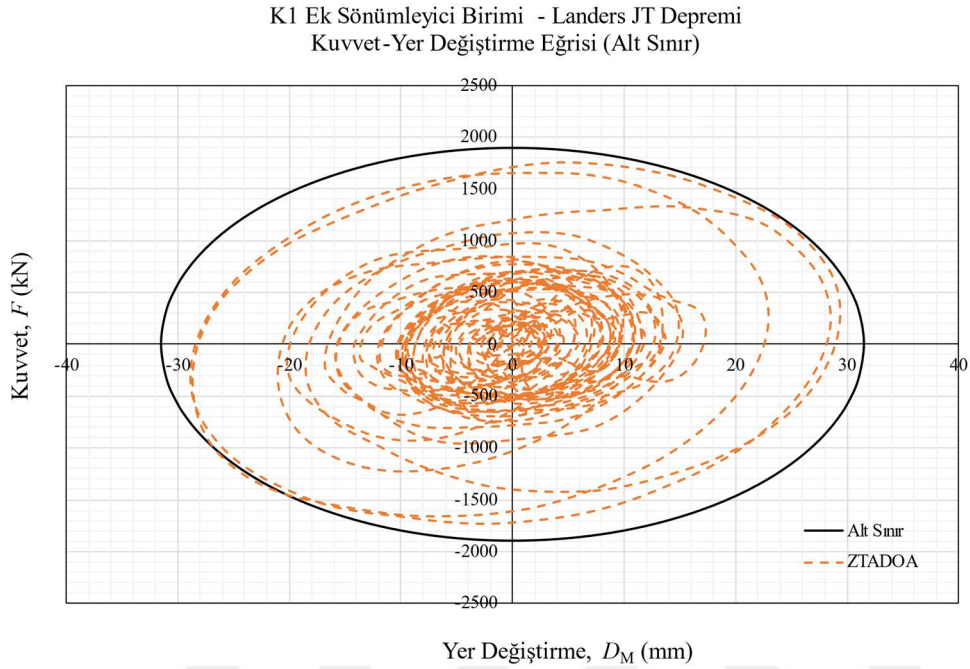
3.4.4.1 Kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri

Bu alt bölümde ZTADOA sonucu ek sönümleme birimleri için elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Her ne kadar tez kapsamında esas amaç deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapıların deprem yer hareketine karşı genel tepkilerinin incelenmesi olsa da hem yapı modelinin doğrulanması hem de boyut kontrollerinde kullanılacak kuvvet değerlerinin elde edilmesi bakımından ek sönümleme birimleri için bulunan bu tür sonuçların eldesi gerekmektedir.

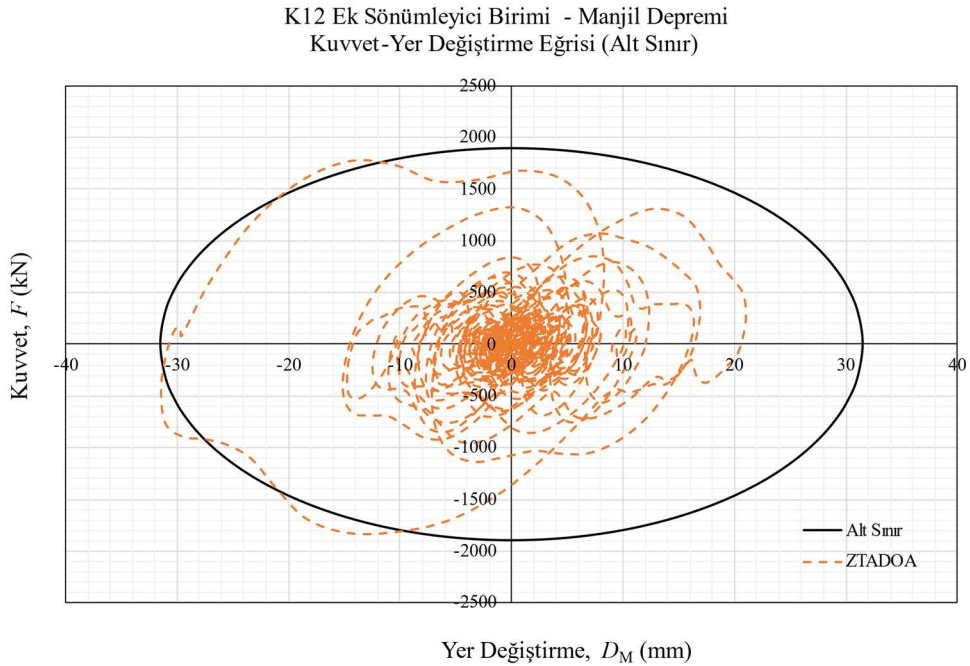
Gerçekleştirilen ZTADOA sonucu 32 adet ek sönümleme biriminde hem her iki deprem yer hareketi düzeyi (DD-1 ve DD-2) hem de her iki sınır durum (alt sınır ve üst sınır) için kuvvet ve yerdeğiştirme değerleri tüm deprem kayıtları için her bir hesap adımında elde edilmiştir. Bu alt bölümde deprem yalıtımlı yapıda gerçekleştirilene benzer şekilde elde edilen bu değerlerin tutarlılığının kontrolü ve modellemenin doğrulanması amacıyla rastgele seçilmiş birkaç yer hareketi ve sınır durum için kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerine yer verilmiştir.

Örneğin seçilen ilk kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için ölçeklendirilmiş Landers JT Depremi’ne ait ivme kayıtlarının etki ettirildiği ve ek sönümleme birimi parametrelerinin alt sınır değerlerinin modellendiği durumda 1. katta B2 ve B3 eksenleri arasında yer alan K1 ek sönümleme birimine aittir ve Şekil 3.37’de gösterilmiştir. Grafikte ZTADOA sonucu elde edilen eksenel kuvvet-yerdeğiştirme değerleri ile 3.4.3.1’de verilen histerezis eğrileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere ZTADOA sonuçları, ön tasarımda kullanılan modelleme ile uyumlu bir davranış göstermektedir. Benzer biçimde Şekil 3.38’te yine

DD-1 deprem yer hareketi düzeyine için ölçeklendirilmiş Manjil Depremi'ne ait ivme kayıtlarının etki ettirildiği ve ek sönümleme birimlerinin alt sınır değerlerinin modellendiği durumda 4. katta D5 ve D6 eksenleri arasında yer alan K16 ek sönümleme birimine ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiği yer almaktadır.



Şekil 3.37 : K1 (1. katta B2 ve B3 eksenleri arasında bulunan) ek sönümleme birimi Landers JT Depremi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).



Şekil 3.38 : K16 (4. katta D5 ve D6 eksenleri arasında bulunan) ek sönümleme birimi Manjil Depremi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (DD-1 deprem yer hareketi düzeyi ve alt sınır).

Şekil 3.37’den görüldüğü üzere yapı planında uzun doğrultuda yer alan K1 ek sönümleme biriminde Landers JT Depremi etkisi altında en büyük yerdeğiştirme değeri 3 cm, en büyük eksenel yük değeri 1750 kN çekme kuvveti olarak elde edilirken yapı planında kısa doğrultuda yer alan K16 ek sönümleme biriminde Manjil Depremi etkisi altında en büyük yerdeğiştirme değeri yine 3 cm, en büyük eksenel yük değeri ise 1825 kN basınç kuvveti olarak bulunmuştur. Şekillerden görüldüğü üzere ZTADOA’nın gerçekleştirildiği modeller ön tasarımda öngörülen sönümleyici davranışı ile karşılaştırılabilir sonuçlar vermiştir.

3.4.4.2 Boyut kontrolü

Tezde incelenen türden ek sönümleme birimleri için standartlarda boyutların doğrudan kontrollerinde kullanılacak şartlar bulunmamaktadır. Standartların ve bu tezde hükümlerine uyulan ASCE/SEI 7-22’nin yaklaşımı yapı stabilitesini bozmayacak her türden sönümleyici cihazın uygunluğu testler ile gösterilmek şartıyla yapılarda kullanılmasına izin vermektedir. Böylelikle kurşun çekirdekli elastomer tipi deprem yalıtım biriminden farklı olarak sıvı viskoz sönümleyici için birim şekildeğiştirme ve düşey kararlılık türünden stabilize kontrolleri bulunmamaktadır. Bu noktada sıvı viskoz sönümleyicilerin boyutlandırılmasında belirleyici ve sınırlayıcı olan durum bu cihazların üretilebilirliğidir. Yine burada bu cihazlar üretici firmalar tarafından kataloglandırılmış hâlihazırda üretilebilenlerinden seçilebileceği gibi projeye özgün özelliklere sahip olacak şekilde özel olarak da üreticiye ürettirilebilir. Tezde ise bu yaklaşımdan ilki seçilmiştir. Böylelikle hem yüksek güvenlik ve yüksek hızla üretilebilen ürünlerin yapıda kullanılması öngörülerek ekonomi ve proje tamamlanma hızının azaltılmasının sağlanması planlanmış hem de tezde doğrudan bir endişe olmayan sıvı viskoz sönümleyicilerin tasarım için ileri optimizasyonu ile ilgilenilmemiştir. Gerçekte de yaygın uygulama mümkün oldukça üretici tarafından davranışı iyi belirlenmiş ve üretimi standartlaşmış ürünü kullanmaktır (NEHRP, 2015).

Üstte bahsedilen yaklaşıma uygun olarak sıvı viskoz sönümleyicilerin boyutlarının kontrolü, tezde ele alınan yapıda analiz sonucu elde edilen kuvvet ve yerdeğiştirme değerlerinin bu ek sönümleme cihazlarının ürün kataloglarında belirtilen değerler ile uyumlu olup olmadığının karşılaştırılması yöntemiyle gerçekleştirilecektir.

Taylor (2022) hâlihazırda üretilen sıvı viskoz sönümleyicilerin eksenel kuvvet taşıma kapasitelerinin 8000 kN'a kadar, yerdeğiştirme (stroke) değerlerinin ise klasik uygulamalar için 15 cm'e civarlarına kadar çıkabileceğini belirtir. Fakat burada belirtilen görece yüksek değerler daha çok köprüler için kullanılan sıvı viskoz sönümleyicilerin maksimum değerlerini ifade etmektedir. Bina türü yapılar için ise kuvvet değerlerinin maksimum değerinin 3000 kN'dan fazla olmadığı uygulamalarda görülmüştür. Yine binalar için en ekonomik boyutlandırmanın yaygın olarak 1300 kN ile 2700 kN arasında eksenel kuvvet taşıma kapasitesine sahip sönümleyici cihazlarla gerçekleştirildiği literatürde belirtilmektedir (NERHP, 2015, Bölüm 16). Bu bilgiler dikkate alınarak tezde incelen ek sönümleyici yapıda yer alan sıvı viskoz sönümleyicilerin boyutlandırılmasında, bu cihazların eksenel kuvvet taşıma kapasitelerinin üstte belirtilen 2700 kN değerini aşp aşmadığı kontrol edilmiştir. Görece rijit bir üstyapıya sahip yapıda sıvı viskoz sönümleyiciler için elde edilen yerdeğiştirme değerleri düşük olduğundan ve üretici tarafından geniş bir aralığı sağlayabilecek şekilde bu cihazlar üretilmiş olduğundan bu bölümde yerdeğiştirme değerlerinin kontrolüne yer verilmemiştir. Tezde incelenen yapıda yerdeğiştirme değerleri için verilen maksimum sınırların rahatlıkla sağlandığı görülmüştür.

Sıvı viskoz sönümleyicilere etki eden en büyük eksenel kuvvet değerlerinin maksimum sınır değeri ile kontrolü aşağıda verilmiştir. Buna göre ZTADOA sonucu elde edilen, sıvı viskoz sönümleyicilere etki eden en büyük eksenel kuvvet değerleri Çizelge 3.30'da uzun doğrultuda yerleştirilmiş sıvı viskoz sönümleyiciler için, Çizelge 3.31'de ise kısa doğrultuda yerleştirilmiş sıvı viskoz sönümleyiciler için özetlenmiştir. Çizelgelerde yer alan değerler daha büyük sönümleyici eksenel kuvveti değerleri veren ve böylelikle sönümleyici boyutu kontrolünde belirleyici olan üst sınır analizine ait analiz sonuçlarından elde edilmiştir.

Çizelge 3.30 : Ek sönümleyicili yapıda sıvı viskoz sönümleyici birimleri için elde edilen en büyük eksenel kuvvet değerleri (Üst sınır ve X doğrultusu).

En Büyük Eksenel Kuvvet, P (kN)				
Kat	Konum			
	B2-B3	B5-B6	D2-D3	D5-D6
4	744	740	741	745
3	1491	1488	1488	1491
2	1856	1851	1851	1856
1	2021	2015	2015	2021

Çizelge 3.31 : Ek sönümleyicili yapıda sıvı viskoz sönümleyici birimleri için elde edilen en büyük eksenel kuvvet değerleri (Üst sınır ve Y doğrultusu).

En Büyük Eksenel Kuvvet, P (kN)				
Kat	Konum			
	B2-C2	C2-D2	B6-C6	C6-D6
4	740	735	733	738
3	1534	1533	1533	1534
2	1874	1875	1875	1874
1	1989	1993	1993	1989

Çizelge 3.30 ve Çizelge 3.31 incelendiğinde aynı katta her iki doğrultuda yer alan sönümleyici birimleri için de benzer eksenel kuvvet değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Yine aynı katta yer alan tüm sönümleyiciler için çok yakın değerler bulunmuştur. Sönümleyiciler için bu şekilde benzer eksenel kuvvet değerlerinin elde edilmesi incelenen yapının planda simetrik bir üstyapı ve simetrik bir sönümleyici birimi dağılımına sahip olması nedeniyle makuldür. Çizelgelerden çıkarılan bir diğer sonuç da yapıda hedeflenen sönüme ulaşılabilmesi en yüksek katkıyı göstermesi gereken 1. katın bu işlevini gerçekleştirdiğidir. Ön tasarım aşamasında görüldüğü üzere en yüksek sönüm katsayısı bu kat için gerekmekteydi. Bu iki sonuç değerlendirildiğinde yapı modeli doğrulanmış olmakta ve sonuçların ön tasarım aşamasında öngörülene yakın olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelgelerden görüldüğü üzere en çok zorlanan sıvı viskoz sönümleyiciler 1. katta B2-B3 ve D5-D6 eksenlerinde yer alan sönümleyicilerdir. Bu sönümleyicilerin üzerine etkiyen en büyük eksenel kuvvet 2000 kN mertebelerindedir ve bu değer sınır değer olan 2700 kN değerini aşmamaktadır ve böylelikle sıvı viskoz sönümleyicilerin uygun boyutlarda olduğu anlaşılmaktadır. Yine en üst kat hariç diğer tüm katlarda bulunan sönümleyicilerin üstte belirtilen ekonomik sınırlar (1300 kN ile 2700 kN arasında) içerisinde yer aldığı görülmektedir. Burada yine kontrol edilen kuvvet değerlerinin 4. bölümde ele alınan ve ek dışmerkezlik etkisini dikkate almak için kullanılan ‘kuvvet artırma katsayıları’ ile çarpılarak elde edilmiş değerler olması gerektiği belirtilmelidir. Burada 4. bölümde incelenen sonuçlardan görüldüğü üzere ek dışmerkezlik etkisi incelenen ek sönümleyicili yapıda kuvveti artırıcı herhangi bir etki göstermemiştir.



4. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Genel Bakış

Bu bölümde önceki bölümlerde amaç ve yöntemi açıklanarak gerçekleştirilen analizlerin sonuçları ve değerlendirmelerine yer verilmiştir. Yapı sistemlerinde deprem etkilerini azaltma amaçlı geliştirilen ve günümüzde önemli yapılarda kullanımları giderek artan bu pasif kontrol sistemlerinden ilk olarak kurşun çekirdekli elastomerler ile tasarlanan deprem yalıtımlı yapıya ait 176 adet analizin sonuçları yer almaktadır. Devamında diğer tür pasif kontrol sistemlerinden olan ve sıvı viskoz sönümleyiciler ihtiva eden ek sönümleyicili yapının yine 176 adet analizinin sonuçları verilmiştir. Bu kısımlardaki sonuçların değerlendirilmesi yapıların sismik yüklemelere karşı genel tepkilerini gösteren genel parametreler üzerinden gerçekleştirilmektedir. İlgili parametreler sırasıyla taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat ivmeleri ve enerji dengeleridir. Kayda değer durumlarda analiz sonuçlarındaki farklılıklar analizlerin gerçekleştirilmesinde yararlanan her iki yönetmelik için kıyaslanmıştır. Takip eden alt başlıkta, tezin temel amacı olan ve standart tasarım deprem yer hareketi altında dayanıma göre tasarım yaklaşımı ile kontrollü hasar performansı göstermesi beklenen ankastre yapının deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili olarak ayrı ayrı tasarlanması halinde üstte belirtilen yapı genel parametreleri üzerinden tepkilerindeki değişim kıyaslanmıştır.

4.2 Deprem Yalıtımlı Yapı

Pasif kontrol sistemlerinden deprem yalıtımını içeren yapının 176 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiştir. Deprem türü, yalıtım birimi parametresi sınır değeri ve burulmanın değerlendirilmesi açısından farklılıklar içeren bu analizlerin gruplandırılması Çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Burada TBDY gereği analizler deprem türü açısından hem DD-1 hem DD-2 yer hareketi düzeyi için, yalıtım birimi parametresi açısından ise ilgili parametrelerin hem alt sınır hem de üst sınır

değerleri için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca burulma etkilerinin makul bir değerlendirmesi için ilgili analizler yapı uzun plan boyu ve kısa plan boyundaki %5 ek (kazara) dışmerkezlilikler için tekrarlanmıştır.

Çizelge 4.1 : Deprem yalıtımlı yapı için gerçekleştirilen analizlerin gruplandırılması.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Deprem Yalıtım Birimi Parametresi					
	Alt Sınır			Üst Sınır		
	Dışmerkezlilik			Dışmerkezlilik		
	-	X	Y	-	X	Y
DD-1	22	22	22	22	-	-
DD-2	22	-	-	22	22	22

4.2.1 Taban kesme kuvveti

11 deprem ivme kayıt çiftinin, kayıt eksenlerinin 90° döndürülerek tekrarlanan hesaplarını da içeren 22 analiz sonucu ve bu sonuçların ortalaması DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt ve üst sınır değerleri için Çizelge 4.2’de verilmiştir. Aynı şekilde DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt ve üst sınır değerleri için elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.3’de yer almaktadır. Okunabilirliği artırmak için aynı deprem ivme kayıt çifti için 90° döndürülerek tekrarlanmış analizler çizelgelerde ‘Deprem ismi - 90°’ şeklinde belirtilmektedir. Parantez içinde yer alan değerler taban kesme kuvvetinin yapı sismik ağırlığına oranını (sismik katsayıyı) ifade etmektedir.

Çizelge 4.2 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde 11 deprem kaydı çifti için yalıtım birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile yapılmış analizlere ait taban kesme kuvveti sonuçları.

Yer Hareketi	Alt Sınır (AS)		Üst Sınır (ÜS)	
	$V_{\max} - X$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - Y$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - X$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - Y$ doğrultusu (kN)
Tabas	7612	14027	16578	24984
Tabas - 90°	13878	7860	24391	16752
Loma Prieta	11735	11632	25691	18964
Loma Prieta - 90°	11860	11543	18347	25837
Landers – Coolwater	6839	7752	13071	19707
Landers – Coolwater - 90°	8260	6969	20194	14314
Landers – Joshua Tree	7938	9095	20355	19440
Landers – Joshua Tree - 90°	9224	7766	18223	19195
Landers – MVFS	9385	12428	18783	16593
Landers – MVFS - 90°	12536	9438	17117	18807
Kocaeli	14452	13467	18359	32271
Kocaeli - 90°	13476	14790	30637	17609
Manjil	13182	19127	16243	26984
Manjil - 90°	19171	12529	26879	16175
Hector Mine – Amboy	17481	9585	21555	19040
Hector Mine – Amboy - 90°	9439	18110	20155	21709
Hector Mine – Hector	7697	9840	22207	21469
Hector Mine – Hector - 90°	9561	7130	21211	22996
Chuetsu-oki	8935	8076	18341	15276
Chuetsu-oki - 90°	7337	9605	16296	18231
Darfield	10753	6923	19406	14367
Darfield - 90°	6675	10796	14876	19556
Ortalama	10792 (% 12.5)	10840 (%12.6)	19551 (%22.7)	20013 (%23.2)

Çizelge 4.3 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde 11 deprem kaydı çifti için yalıtım birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile yapılmış analizlere ait taban kesme kuvveti sonuçları.

Yer Hareketi	Alt Sınır (AS)		Üst Sınır (ÜS)	
	$V_{\max} - X$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - Y$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - X$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - Y$ doğrultusu (kN)
Tabas	5477	9593	12104	16121
Tabas - 90°	9371	5692	15033	12741
Loma Prieta	9667	8277	15611	14905
Loma Prieta - 90°	8419	9398	15710	15814
Landers – Coolwater	5552	6889	10531	16681
Landers – Coolwater - 90°	6997	5592	15466	12311
Landers – Joshua Tree	6759	7797	14978	14211
Landers – Joshua Tree - 90°	7695	6637	13472	15044
Landers – MVFS	7365	9114	14065	13948
Landers – MVFS - 90°	9077	7353	14462	15175
Kocaeli	8898	10591	11207	17130
Kocaeli - 90°	10569	9297	16770	12266
Manjil	9159	10377	12219	14510
Manjil - 90°	10050	8658	15700	12843
Hector Mine – Amboy	9092	6908	16149	14264
Hector Mine – Amboy - 90°	6855	9221	15173	15223
Hector Mine – Hector	6997	7288	18394	16531
Hector Mine – Hector - 90°	7217	6515	15920	17895
Chuetsu-oki	7151	6024	16133	12997
Chuetsu-oki - 90°	6271	7575	13808	15756
Darfield	7282	6036	14437	11217
Darfield - 90°	6000	7437	11378	13909
Ortalama	7815 (%9.1)	7830 (%9.1)	14487 (%16.8)	14613 (%17.0)

Deprem yalıtımlı yapı için gerçekleştirilen analizlerden elde edilen ve Çizelge 4.2 ile Çizelge 4.3’de her bir deprem ivme kaydı çifti için sunulan sonuçların nihai değerlendirmede kullanılan ortalama değerlerini içeren bir özeti Çizelge 4.4’te görülmektedir. Çizelgeden anlaşılabileceği üzere üstyapı taşıyıcı sisteminin, daha çok ise yalıtım sisteminin simetrik olmasının bir sonucu olarak beklendiği üzere ortalama taban kesme kuvveti değerleri aynı deprem düzeyi ve aynı sınır değeri durumları için her iki doğrultuda birbiriyle neredeyse aynıdır. Üstteki çizelgelere benzer şekilde parantez içinde yer alan değerler taban kesme kuvvetinin yapı ağırlığına oranını ifade etmektedir.

Çizelge 4.4 : Deprem yalıtımlı yapı taban kesme kuvveti analiz özeti.

Analiz Türü	Ortalama Taban Kesme Kuvveti	
	X doğrultusu (kN)	Y doğrultusu (kN)
DD-1 – Alt Sınır	10792 (% 12.5)	10840 (%12.6)
DD-1 – Üst Sınır	19551 (%22.7)	20013 (%23.2)
DD-2 – Alt Sınır	7815 (%9.1)	7830 (%9.1)
DD-2 – Üst Sınır	14487 (%16.8)	14613 (%17.0)

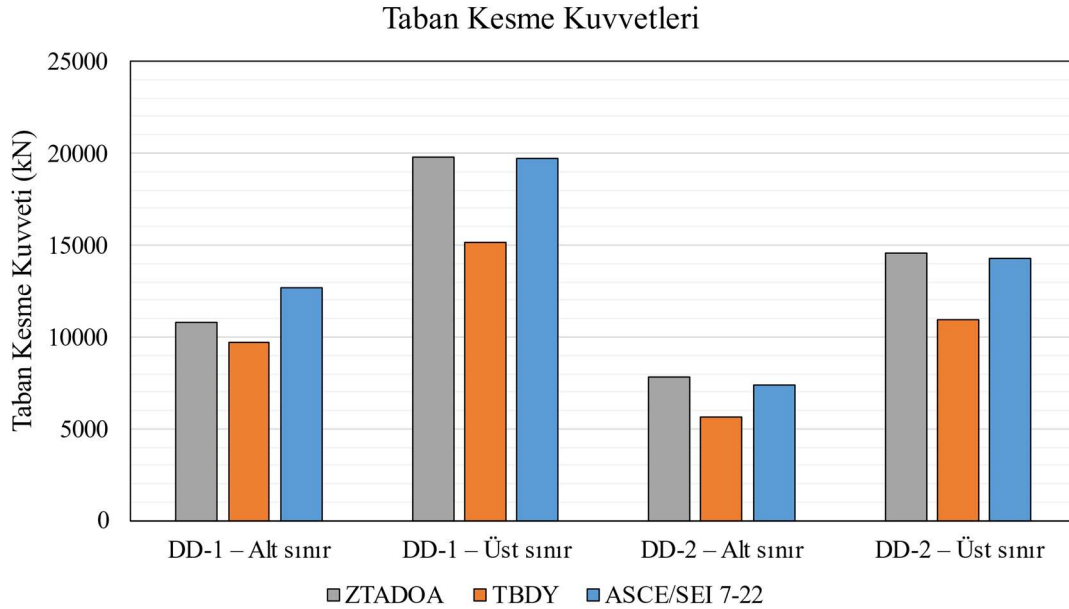
Yine ön tasarım aşamasında öngörüldüğü üzere aynı deprem yer hareketi düzeyi için yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile modellenen yapının yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile modellenen yapıya kıyasla taban kesme kuvveti açısından daha yüksek taleplere sahip olduğu görülmektedir. En büyük deprem yer hareketi düzeyinde ortalama taban kesme kuvveti değeri alt sınır analizi için bina sismik ağırlığının %12.5’i mertebelerinde iken üst sınır analizi için %23.0’ü mertebelerindedir. TBDY 14.3.6 gereği üstyapıya etkiyen en büyük yatay kuvvetin belirleneceği sınır durum ise standart tasarım deprem yer hareketi DD-2 altında üst sınır değerler kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin ortalamasıdır ve bu değer sismik ağırlığın %16.9’u olarak elde edilmiştir. Yine aynı deprem yer hareketi düzeyi için alt sınır analizinde elde edilen oran %9.1’dir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin Çizelge 4.4’te özetlenen taban kesme kuvveti sonuçlarının hem TBDY hem de ASCE/SEI 7-22 gereği belirli alt limitlerle kıyaslanması gerekmektedir. İlgili alt limitler her iki yönetmelik için de Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile hesaplanan üstyapıya aktarılan kuvvetin %80’idir. Fakat burada zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerden elde edilen sonuçlar, DD-1 – alt sınır durumu hariç diğer tüm durumlarda minimum sınırlardan

yüksek çıktığından belirleyici olmamıştır. Yalnızca DD-1 – alt sınır durumu için ASCE/SEI 7-22 ile elde edilen sonuç zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarından yüksektir. Aşağıda Çizelge 4.5 ve Şekil 4.1’de bu değerlerin bir kıyaslamasına yer verilmiştir. Her iki doğrultuda çıkan sonuçlar birbirleriyle çok yakın olduğundan burada makul bir yaklaşımla iki doğrultuda çıkan sonuçların aritmetik ortalaması kıyaslarda kullanılmıştır.

Çizelge 4.5 : Deprem yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Analiz Türü	ZTADOA (kN)	TBDY (kN)	ASCE/SEI 7-22 (kN)
DD-1 – Alt Sınır	10816	9735	12655
DD-1 – Üst Sınır	19782	15155	19701
DD-2 – Alt Sınır	7823	5675	7378
DD-2 – Üst Sınır	14550	10958	14245



Şekil 4.1 : Deprem yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Deprem yalıtımlı yapıya ait üstteki çizelge ve grafikten anlaşılacağı üzere ZTADOA sonuçları ile ASCE/SEI 7-22 Eşdeğer Yanal Kuvvet Prosedürü’ne ait sonuçlar son derece yakın elde edilmiştir. TBDY’ye göre elde edilen taban kesme kuvveti değerleri ise her bir durum için en düşük değerlerdir. Üstyapı tasarımında esas alınacak analiz türü olan DD-2 – üst sınır durumunda ise bu farkın ZTADOA ve ASCE/SEI 7-22 arasında %2; ZTADOA ve TBDY arasında %25 mertebelerinde olduğu görülmektedir.

4.2.2 Kat kesme kuvvetleri

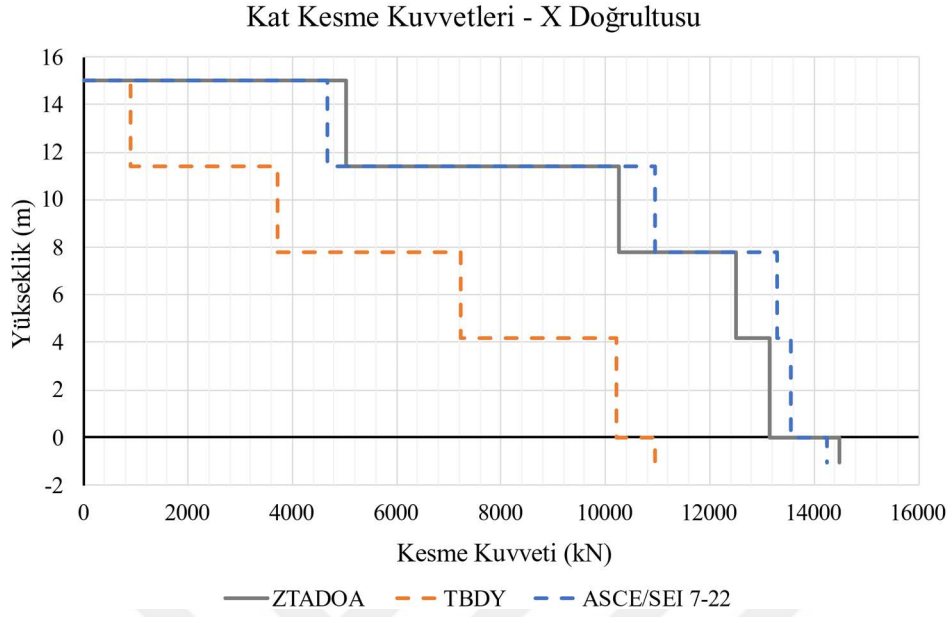
Tez kapsamında analizleri gerçekleştirilen yapıda her ne kadar üstyapı elemanlarının tasarımında kullanılması gereken normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti türünden etkiler, bu etkilerin 22 analiz üzerinden elde edilen değerlerinin ortalaması kullanılarak belirlenecek olsa da kat kesme kuvvetlerinin dağılımının incelenmesine, yapının tasarlanmasında yararlanılan iki yönetmelik TBDY ve ASCE/SEI 7-22’de yer alan farklılıklar nedeniyle bu alt bölümde yer verilmiştir. Çizelge 4.6’da üstyapı tasarımı için belirleyici olan DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile gerçekleştirilen (DD-2 – üst sınır) 22 zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin ortalama sonuçları bina ana doğrultuları X ve Y için yer almaktadır. Yine çizelgede TBDY’de Etkin Deprem Yüğü Yöntemi başlığı altında yer alan ve 14.14.2.10 maddesi ile belirtilen kat kesme kuvveti dağılımı ve ASCE/SEI 7-22 17.5.5 maddesi ile belirtilen kat kesme kuvveti dağılımına yer verilmiştir. Bu son iki dağılımda kullanılan taban kesme kuvveti değerleri ise uyumlu olacak şekilde TBDY Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilen üstyapı deprem kuvvetidir.

Çizelge 4.6 : Deprem yalıtımlı yapıda elde edilen kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

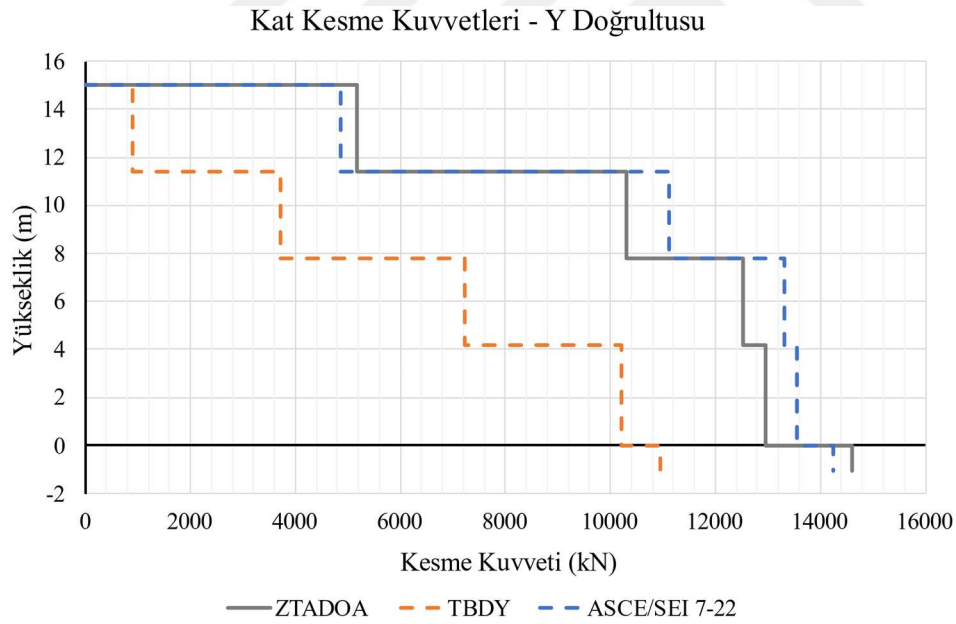
Kat	Kat Kesme Kuvveti (kN)					
	ZTADOA		TBDY		ASCE/SEI 7-22	
	X	Y	X	Y	X	Y
4. Kat	5037	5171	892	892	4676	4865
3. Kat	10266	10308	3724	3724	10947	11122
2. Kat	12513	12526	7233	7233	13284	13322
1. Kat	13154	12946	10200	10200	13553	13553
Yalıtım Seviyesi	14487	14613	10958	10958	14245	14245

Kat kesme kuvveti değişimlerinin üstte belirtilen 3 yöntem için değişimi ve kıyaslaması yine X doğrultusu için Şekil 4.1’de, Y doğrultusu için ise Şekil 4.2’de görülmektedir. Çizelge 4.6 ve Şekil 4.2 ile Şekil 4.3’ten anlaşılabacağı üzere kat kesme kuvvetlerinin dağılımları yapı ve yalıtım sisteminin simetrik olmasından kaynaklı benzer değerlere sahiptir. İlgili değerlerden çıkan bir sonuç doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz sonuçlarının ortalama değerlerinin TBDY Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenen değerlerden yüksek, ASCE/SEI 7-22’de yer alan Eşdeğer Yanal Kuvvet Prosedürü ile belirlenen değerlerden düşük olduğudur. Bu farklılık hem analizlerde elde edilen taban kesme kuvvetlerinin farklılığından hem de ilgili

yönetmeliklerdeki bina yüksekliği boyunca deprem kuvvetlerinin dağıtılmasındaki yaklaşım farklılığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.2 : Deprem yalıtımlı yapıda kat kesme kuvvetlerinin 3 yöntem için kıyaslanması (X doğrultusu).



Şekil 4.3 : Deprem yalıtımlı yapıda kat kesme kuvvetlerinin 3 yöntem için kıyaslanması (Y doğrultusu).

York ve Ryan (2008) tarafından gerçekleştirilen ve bir dizi doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizin regresyonuna dayanan çalışmada, ankastre yapılarda bina yüksekliğince ters üçgen biçiminde dağılan kat kesme kuvvetlerinin deprem yalıtımlı yapılarda gerçekte daha homojen bir dağılıma sahip olduğu gösterilmiştir ve bu dağılım için yeni bir yöntem önerilmiştir. Kaynağını yalıtım sistemine kıyasla daha

yüksek yanal rijitliğe sahip üstyapının 1. modda rijit bir blok halinde hareket etmesi gerçeğinden alan ve yalıtım sisteminin sönümü ile yalıtım ara yüzü üzerinde yer alan yapının doğal periyodunu kullanan yöntemle göre, taban kesme kuvvetinin bir kısmı öncelikle ara yüzün hemen üzerinde yer alan 1. kat zeminine aktarılır. Taban kesme kuvvetinin kalan kısmı ise diğer katlara, ankastre yapılarakine benzer şekilde ve sistem parametrelerinin bir fonksiyonu olan k katsayısının da kullanımı ile dağıtılır. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen analiz sonuçlarının da ilgili çalışmayla uyumlu olduğu, kat kesme kuvveti dağılımının TBDY’de önerilen dağılımdan ziyade kaynağı yukarıda açıklanan ve resmi olarak ilk defa ASCE/SEI 7-16’da yer verilen dağılıma uygun olduğu şekillerden görülmektedir. Yine üst katlara çıkıldıkça ZTADOA sonuçlarının eşdeğer yöntemler sonucu elde edilen değerlerden daha fazla sapma gösterdiği sonucu elde edilmiştir. Örneğin yalıtım seviyesinde TBDY için %25, ASCE/SEI 7-22 için %2 mertebelerinde görülen bu sapma; 4. katta %80 ve %7 mertebelerindedir.

Kat kesme kuvvetlerinin incelendiği bu alt bölümde üstyapı elamanlarının tasarımına esas iç kuvvetlerin belirlenmesinde etkili olan bir diğer etki olan burulma etkileri de incelenmiştir. İncelenen deprem yalıtımlı binada üstyapı ve deprem yalıtım sistemi planda simetrik olarak seçildiğinden herhangi bir mevcut dış merkezlik bulunmamaktadır. Ek (kazara) dış merkezliğin değerlendirilmesinde ise ASCE/SEI 7-22 madde 17.6.3.4.1’de belirtilen artırma katsayılarından (amplification factor) yararlanılmıştır. Kazara dış merkezliğin en elverişsiz durumunu hesaplamak için gerek olmaksızın fazla sayıda analiz yapılmasının önüne geçmek yaklaşımı ile önerilen bu yöntemde %5 X ve %5 Y doğrultusunda ek dış merkezliğe sahip yapının $22 + 22 = 44$ adet ZTADOA’i gerçekleştirilmiştir (NEHRP, 2016). Bu dış merkezlik kütlelerin ilgili doğrultularda deprem yüklemesine dik doğrultudaki plan boyutunun %5’i kadar kaydırılmasıyla modellenmiştir. Elde edilen bu analizlerin kat kesme kuvvetlerine ait sonuçlarının ortalamaları ayrı ayrı ek dış merkezlik içermeyen analiz sonuçlarına bölünmüş ve kuvvet artırma katsayıları elde edilmiştir. Aşağıda Çizelge 4.7’de her kat ve her iki doğrultu için elde edilen kat kesme kuvveti değerleri ve Çizelge 4.8’de her kat ve her doğrultu için kuvvet artırma katsayıları elde edilmiştir. Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, elde edilen artırma katsayılarından en büyüğü olan ve Y doğrultusunda %5 ek dış merkezlik durumunda 4. kat için elde edilen 1.10 değeri ek dış merkezlik içermeyen analiz sonuçlarının ortalama değerleri ile çarpılarak her bir büyüklük için

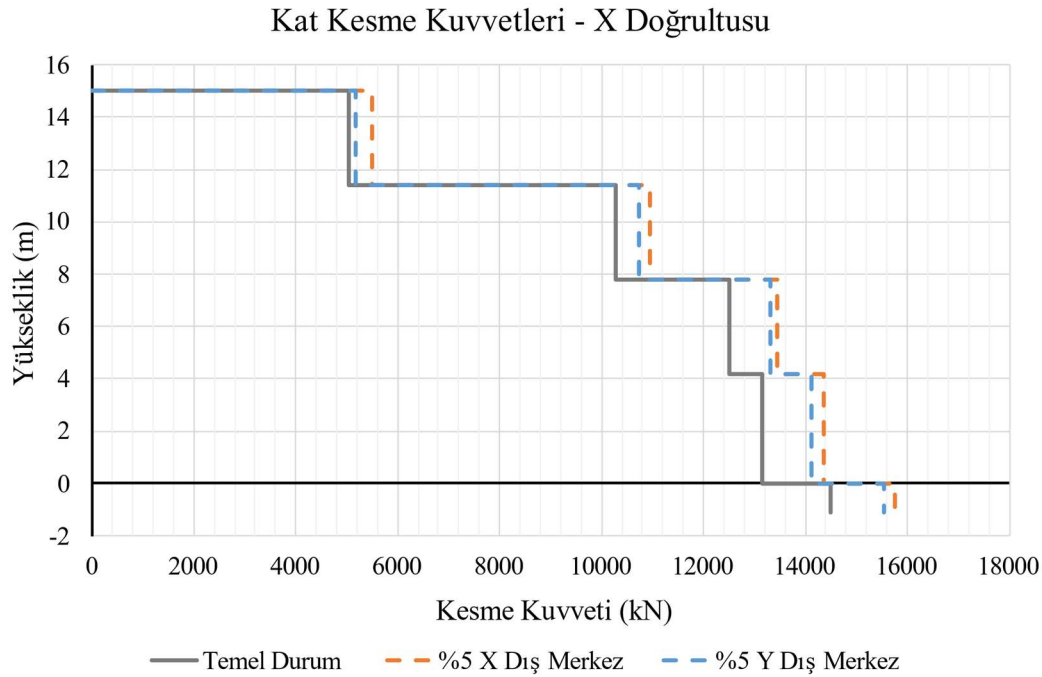
tasarıma esas kesit tesirleri bulunur. Yine Şekil 4.4'te ve Şekil 4.5'te her iki dış merkezlik durumunun sırasıyla X doğrultusu ve Y doğrultusunda kat kesme kuvvetlerine olan etkisi görülmektedir.

Çizelge 4.7 : Deprem yalıtımlı yapıda üstyapı kat kesme kuvvetlerinin %5 X doğrultusunda dışmerkezlik ve %5 Y doğrultusunda dış merkezlik durumları için kıyaslanması.

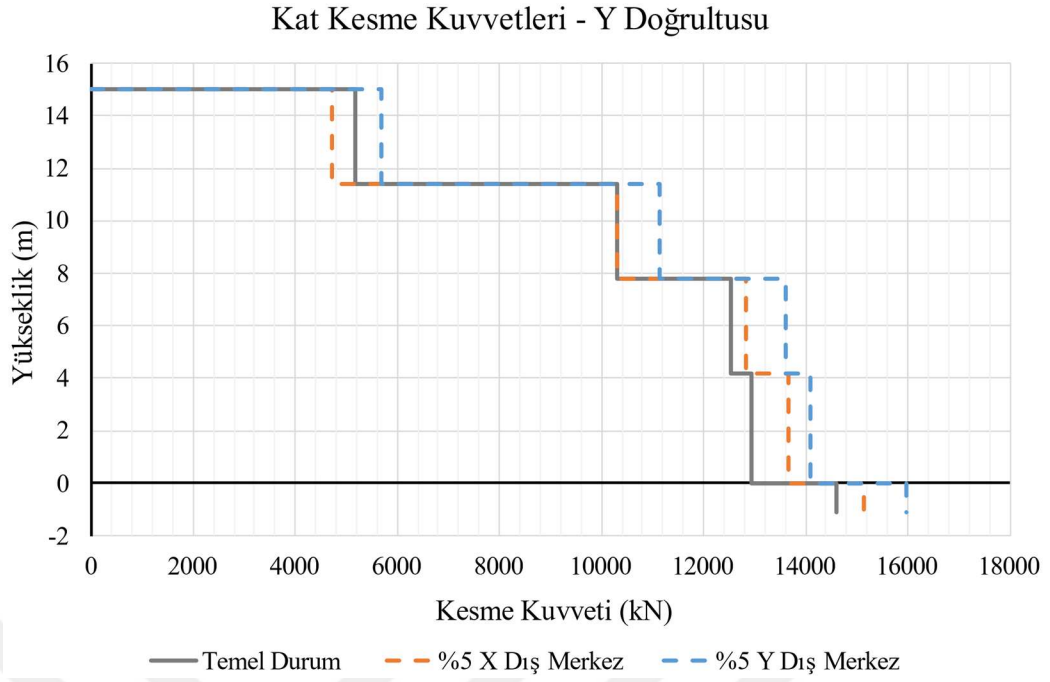
Kat	Kat Kesme Kuvveti (kN)					
	Temel Durum		%5 X		%5 Y	
	X	Y	X	Y	X	Y
4. Kat	5037	5171	5496	4715	5182	5682
3. Kat	10266	10308	10960	10319	10728	11147
2. Kat	12513	12526	13458	12827	13311	13614
1. Kat	13154	12946	14360	13654	14130	14083
Yalıtım Seviyesi	14487	14613	15745	15135	15530	15973

Çizelge 4.8 : Deprem yalıtımlı yapıda kuvvet artırma katsayıları.

Kat	Kuvvet Artırma Katsayısı			
	%5 X		%5 Y	
	X	Y	X	Y
4. Kat	1.09	0.91	1.03	1.10
3. Kat	1.07	1.00	1.05	1.08
2. Kat	1.08	1.02	1.06	1.09
1. Kat	1.09	1.05	1.07	1.09
Yalıtım Seviyesi	1.09	1.04	1.07	1.09
En Büyük Değer	1.09	1.05	1.07	1.10



Şekil 4.4 : Deprem yalıtımlı yapıda kat kesme kuvvetlerinin ek dışmerkezlik etkileri için karşılaştırılması (X doğrultusu).



Şekil 4.5 : Deprem yalıtımlı yapıda kat kesme kuvvetlerinin ek dışmerkezlik etkileri için karşılaştırılması (Y doğrultusu).

TBDY’de doğrudan ele alınma şekli belirtilmeyen ek dış merkezliğin üstte açıklanan yöntemle değerlendirilmesinin, modelde ilgili ek dış merkezlik etkilerinin doğrudan modellenerek değerlendirilmesinden daha makul bir yaklaşım olduğu ilgili çalışmalar ile gösterilmiştir. Basu ve diğ. (2014) kütle merkezinin modelleme esnasında kaydırılması durumunda yapının dinamik karakterinin değişebileceğini ve buna bağlı olarak zaman tanım alanında analiz sonuçlarında daha düşük talepler elde edilebileceğini ifade etmiştir. Ek dış merkezliğin göz önüne alınmasındaki temel prensibe (elverişsiz durumdaki daha yüksek talebi elde etmek) aykırı bir şekilde azaltılmış talepler ve güvensiz bir tasarıma yol açabilecek doğrudan modelleme yerine artırma katsayılarının kullanıldığı bu yöntem tez boyunca değerlendirilen tüm dış merkezlik sonuçlarında kullanılmıştır.

4.2.3 Göreli kat ötelemeleri

Yapı taşıyıcı sistemlerinde ilgili yapı standartlarınca kontrolü ve sınırlandırılması gereken bir diğer mühendislik ölçüsü göreli kat ötelemeleridir. Skolnik ve Wallace (2010), göreli kat ötelemesinin yapısal performansın bir göstergesi ve önemli bir mühendislik talep parametresi olduğunu vurgulamıştır. Özellikle inelastik şekil değiştirmeye maruz kalan yapıların incelenmesinde oldukça faydalı bir değişken olan göreli kat ötelemesi, $P-\Delta$ etkilerini ve yapısal olmayan bileşenlere verilen hasarı

sınırlandırarak kabul edilebilir şekil değiştirme seviyelerinde yapısal performansı teminat altına alır. Deprem yalıtımlı yapılarda da üstyapıda oluşabilecek görelî kat ötelemeleri ve inelastik davranış, yönetmelikler tarafından deprem yalıtım sistemi ve üstyapıya ait yerdeğiştirmelerin birlikte oluşarak deprem etkisini artırması durumunun önüne geçmek için sınırlandırılmıştır. İleri performans hedefi için DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde KK performans düzeyini sağlaması gereken $DTS=1a$ olan bu yapı için ilgili sınır TBDY 14.14.5.1 maddesinde kat yüksekliğinin binde 5’i (%5) olarak belirlenmiştir. Her ne kadar TBDY 4.9.1.3’te görelî kat ötelemeleri için verilen sınır değeri yapı konumuna, taşıyıcı sistem malzeme türüne ve yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sistem elemanlarına bağlantı durumlarına göre değışse de örnek yapı için bu değeri ankastre durumda standart yapılar için de genellenebilecek bir değeri olan kat yüksekliğinin yüzde 2’sine (%2) eşittir. TBDY 4.34a ile belirtilen denklemde bina hakim periyodu için DD-3 deprem yer hareketi düzeyinde hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesine oranını ifade eden λ değeri yaklaşık olarak 0.4 olarak elde edilmiştir ve betonarme binalar için κ değeri 1 olarak alınmaktadır. Buradan hareketle bu sınır duruma deprem yalıtımlı yapılarda karşılık gelen (KH sınır durumunda) değeri olan binde 15 (%15) ile %2 değeri kıyaslandığında deprem yalıtımlı yapılarda yaklaşık $(\%20/\%15) - 1.00 = 0.33$ oranında fazladan bir sınırlama olduğu görülebilir. Üstyapı ile yalıtım sistemindeki olumsuz etkilerin birleşmesi durumunu engellemek amacıyla bu sınırın artırılması güvenli tarafta kalan bir yaklaşımdır (NEHRP, 2015). ASCE 7-22’de ise gerçekleştirilen analiz türüne bağılı olarak değışen bu sınır en büyük yer hareketi için (DD-1) doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz ile tasarlanan yapılar için %2 olarak uygulanmaktadır. Bu yönden her iki yönetmelikteki görelî kat ötelemeleri için verilen sınır değeri doğrudan bir kıyası makul değildir.

Deprem yalıtımlı yapıda üstyapı görelî kat ötelemelerinin kontrol edilmesinde belirleyici olan DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değeri ile gerçekleştirilen 66 analizin ortalama maksimum görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği sonuçları yapının her iki doğrultusu ve her kat için Çizelge 4.9’da verilmiştir. Herhangi bir kazara dışmerkezlilik içermeyen temel duruma ait 22 analizin sonuçları 2. ve 3. sütunda; X doğrultusunda %5 dışmerkezlilik içeren 22 analizin sonuçları 4. ve 5. sütunda; Y doğrultusunda %5 dışmerkezlilik içeren 22 analizin sonuçları ise 6. ve 7. sütunda yer almaktadır. Önceki bölümde açıklandığı

üzere nihai değerler, temel duruma ait elde edilen değerlerin görelî kat öteleme artırma katsayısı ile çarpılmasıyla elde edilecektir.

Çizelge 4.9 : Deprem yalıtımlı yapıda elde edilen görelî kat öteleme/kat yüksekliğı değerleri.

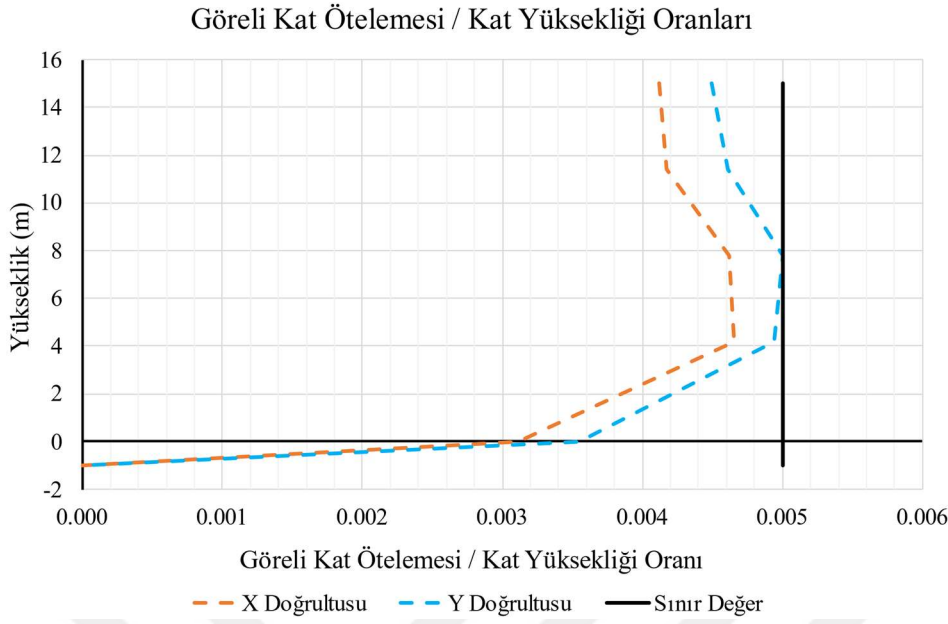
Kat	Görelî Kat Öteleme / Kat Yüksekliğı					
	Temel Durum		%5 X		%5 Y	
	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$
4. Kat	0.0031	0.0034	0.0034	0.0045	0.0036	0.0040
3. Kat	0.0031	0.0034	0.0036	0.0044	0.0037	0.0040
2. Kat	0.0034	0.0037	0.0041	0.0049	0.0041	0.0044
1. Kat	0.0035	0.0037	0.0041	0.0048	0.0041	0.0044
Yalıtım Katı	0.0023	0.0026	0.0027	0.0032	0.0027	0.0030

Görelî kat öteleme artırma katsayılarını belirlemek için hem X doğrultusunda %5 kazara dışmerkezlîk içeren analiz sonuçları hem de Y doğrultusunda %5 kazara dışmerkezlîk içeren analiz sonuçları temel durum için elde edilen sonuçlara bölünmüştür. Her bir doğrultu ve her bir kat için hesaplanan bu değerler Çizelge 4.10’da görülmektedir. Yine 4 farklı durum için elde edilen bu değerlerin maksimumları çizelgenin en alt satırında yer almaktadır. Görelî kat öteleme artırma katsayısı olarak güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla en büyük değer olan 1.34 değeri seçilmiştir. Bu değer X doğrultusunda %5 kazara dışmerkezlîk içeren analizlerden 4. kat için Y doğrultusunda elde edilen değerdir.

Çizelge 4.10 : Deprem yalıtımlı yapıda görelî kat öteleme artırma katsayıları ve nihai görelî kat öteleme/kat yüksekliğı değerleri.

Kat	Görelî Kat Öteleme Artırma Katsayıları				Nihai Görelî Kat Öteleme / Kat Yüksekliğı Değerleri	
	%5 Dışmerkezlîk - X		%5 Dışmerkezlîk - Y		$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$
	X	Y	X	Y	X	Y
4. Kat	1.12	1.34	1.18	1.19	0.0041	0.0045
3. Kat	1.14	1.28	1.19	1.15	0.0042	0.0046
2. Kat	1.18	1.30	1.19	1.18	0.0046	0.0050
1. Kat	1.17	1.32	1.18	1.19	0.0047	0.0049
Yalıtım Katı	1.15	1.21	1.15	1.13	0.0031	0.0036
En Büyük Değer	1.18	1.34	1.19	1.19	0.005	0.005

Yine Çizelge 4.10’da görelî kat öteleme artırma katsayısı ile çarpılarak elde edilen nihai ötelenme değerleri yer almaktadır. Şekil 4.6’da ise Çizelge 4.10’da özetlenen sonuçların her iki doğrultu için sınır değerle kıyaslanması verilmiştir. Buna göre herhangi bir ve kat ve doğrultuda üstyapı için izin verilen sınır değer olan %5’in aşılmadığı görülmektedir.



Şekil 4.6 : Deprem yalıtımlı yapıda görelî kat ötelemelerinin kontrolü.

Üst bölümde yalıtım sisteminde birim şekil değiştirme ve düşey kararlılık kontrollerinin sağlandığı gösterilen deprem yalıtımlı yapıda, üstyapı boyutlandırılmasında belirleyici olan (taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarını belirleyen) koşul görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması olmuştur. Özellikle hem deprem taleplerinin ($S_{DS} \geq 0.75$) hem de performans hedefinin (DTS=1a için KK) yüksek olduğu tezde ele alınan türden yapılarda görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasının üstyapının bu boyutlandırılmasında gerekli dayanımın sağlanmasından daha sınırlayıcı olması olağandır.

4.2.4 Kat ivmeleri

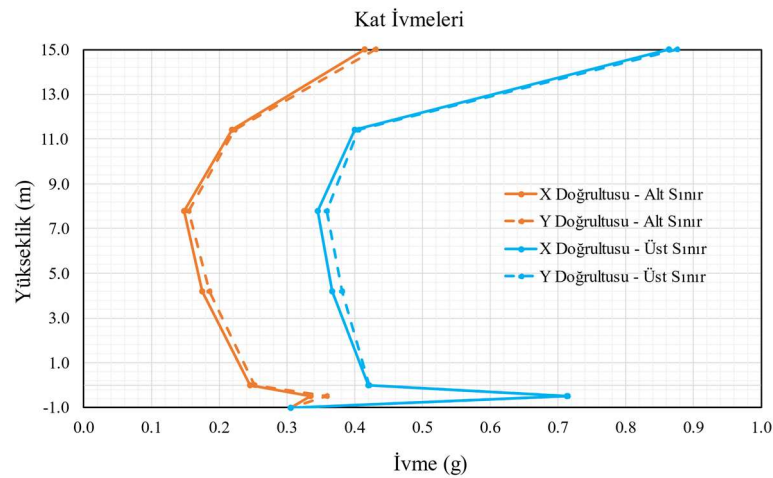
Yapılardaki etkileri hem genel hem eleman bazında kuvvet ve şekil değiştirme taleplerindeki azaltmayı sağlamalarıyla doğrudan görülen deprem yalıtım sistemlerinin bir diğer yararlı katkısı da üstyapıya aktarılan ivmeleri azaltmalarıdır. Her ne kadar yapısal elemanlar üzerindeki etkileri kadar göz önünde olmasa da deprem yalıtımının isminden de anlaşılacağı üzere sismik hareket sırasında üstyapıyı zemin ivmelerinden yalıtması hem sıradan yapısal olmayan hem de ivme-hassas yapısal olmayan bina elemanlarının zarar görmemesi ve deprem sonrasında işlevini sürdürmesini sağlaması açısından önemlidir. Özellikle tezde ele alınan hipotetik yapıda olduğu gibi DD-2 deprem yer hareketi altında kesintisiz kullanım performansı sergilemesi yönetmelik tarafından zorunlu tutulan yapılarda kesintisiz kullanımın

yalnızca taşıyıcı sistem performansı açısından değil diğer tüm bina elemanları açısından da sağlanması tutarlı bir yaklaşımdır. Örneğin Miranda ve diğ. (2012) 2010 yılında gerçekleşen Şili Depremi'nde mühendislik hizmeti almış binaların yapısal olarak iyi performans gösterse de yapısal olmayan elemanlarda oluşan hasarlar nedeniyle doğrudan ve yine yapıların kısmi ya da tümüyle işlevsellik kaybına uğramaları nedeniyle dolaylı olarak büyük ekonomik kayıplara yol açtığını belirtmektedir. Tüm bu nedenlerle sonuçlarda kat ivmelerine de yer verilmesi uygun görülmüştür.

Deprem yalıtımlı yapıda DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile gerçekleştirilen analizlerin maksimum değerlerinin ortalaması alınarak elde edilen kat ivmesi değerleri Çizelge 4.11'de görülmektedir. Çizelgede her kat döşemesindeki ve yalıtım birimleri ile temel seviyesindeki 3 temel doğrultuya ait ivme değerleri yer almaktadır. Yine çizelgede özetlenen kat ivmesi dağılımları alt sınır ve üst sınır durumları için Şekil 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 : Deprem yalıtımlı yapıda kat ivmelerinin dağılımı.

Kat	İvme					
	Alt Sınır			Üst Sınır		
	X (g)	Y (g)	Z (g)	X (g)	Y (g)	Z (g)
4	0.414	0.431	0.010	0.864	0.875	0.021
3	0.219	0.223	0.011	0.400	0.406	0.019
2	0.147	0.154	0.010	0.346	0.358	0.016
1	0.174	0.185	0.008	0.366	0.381	0.014
Yalıtım Katı	0.245	0.252	0.006	0.420	0.421	0.011
Yalıtım Birimi	0.335	0.358	0.006	0.713	0.715	0.009
Temel	0.305	0.305	0.000	0.305	0.305	0.000



Şekil 4.7 : Deprem yalıtımlı yapıda kat ivmelerinin dağılımı.

Çizelge 4.11 ve Şekil 4.7’de görüldüğü üzere taban kesme kuvveti talepleri ile paralel olarak alt sınır durumunda ivme değerleri üst sınır durumuna kıyasla daha düşüktür. Yine yalıtım sisteminden beklenen işlevin sağlandığı, özellikle alt sınır durumunda temel seviyesine gelen ivme değerinin yalıtım sisteminden üstyapıya aktarılırken azaldığı görülmektedir. Her iki sınır durum için de klasik yapılardakine benzer şekilde üst katlara çıkıldıkça kat ivme değerleri artmaktadır.

4.2.5 Enerji dengeleri

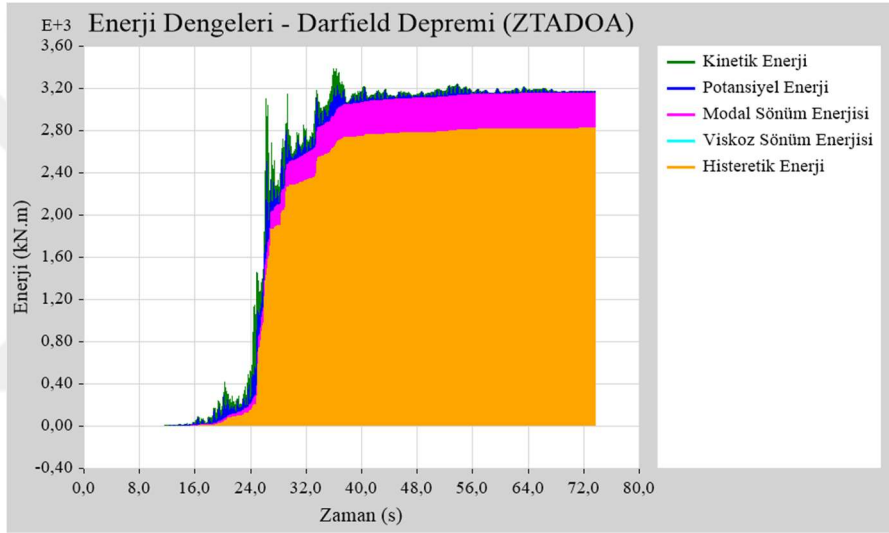
Yapıların, deprem yer hareketlerinin zararlı etkilerine karşı korunması amacıyla ortaya çıkan pasif kontrol sistemlerinin yapılardaki olumlu değişikliklerini gözlemlemek için değerlendirilebilecek parametrelerden bir diğeri de skaler bir büyüklük olan enerjidir. Christopoulos ve Filiatrault (2006, Bölüm 3) deprem yalıtımı ve ek sönümleme sistemlerinin temel amacının sismik enerjinin bahsi geçen bu sistemler ile yapıdan yalıtılması ve/veya yapıdan dağıtılması olması nedeniyle sismik problemin enerji çerçevesi içerisinde incelenmesinin doğal olduğunu söyler. Bu noktada, yapıya aktarılan sismik enerji girdisinin deprem anında kinetik enerji ve şekil değiştirme enerjisi olarak birbirine dönüştüğünü ve bu dönüşüm sırasında kaybedilen enerjinin viskoz sönüm enerjisi olduğunu ifade eder. Yine şekil değiştirme enerjisinin yapının elastik davranışı tarafından karşılanamayan kısmının yapıda hasar olarak gözlemlenen histeretik enerji olarak ortaya çıktığını; deprem sonrasındaki enerji dengesi durumunda ise eş değer sönüm enerjisi ile histeretik enerjinin toplamının sismik enerji girdisine eşit olması gerektiğini gösteren bir ‘yağmur akışı’ (rain-flow) benzeşimi kullanır. Bu benzeşimden hareketle deprem yalıtımının temel amacının hasar ile ilişkili olan histeretik enerjiyi (yağmuru), yapıya gelen sismik enerjiyi azaltma yoluyla (yağmurun yapıya girişini azaltarak) dolaylı olarak ortadan kaldırmak olduğu söylenebilir.

Özellikle ek sönümleyici içeren yapıyla kıyaslama açısından yararlı olduğu düşünülen enerji dengelerinin 22 analiz için ortalama sonuçları tezde ele alınan hipotetik yapı için Çizelge 4.12’de özetlenmiştir. Buna göre ortalama 9230 kN.m’lik toplam yer hareketi enerjisinin 8701 kN.m’lik (yaklaşık %90) kısmı deprem yalıtım birimleri (özellikle kurşun çekirdeklerin şekil değiştirmesi esnasında havaya ısı olarak) tarafından tüketilmiş, 304 kN.m’lik kısmı ise içsel sönüm ile tüketilmiştir. Yine tüm depremlere ait sonuçların ortalamaları ile kıyaslama yapılacağından Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da enerji girdilerinin sırasıyla en düşük, ortalama ve en yüksek olduğu deprem

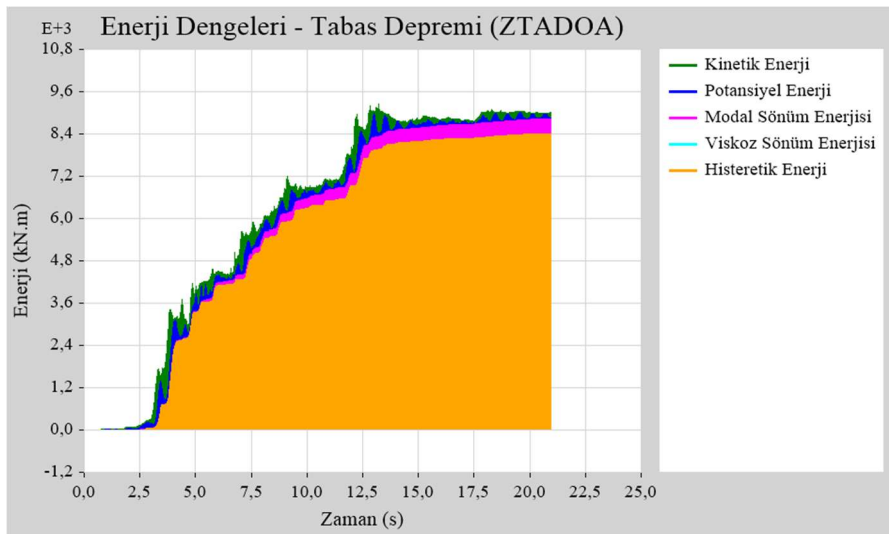
ivme kayıtları için deprem süresince enerji dengelerinin değişimlerini gösteren grafikler verilmiş, tüm depremlere ait sonuçlara yer verilmemiştir. Burada makul bir yaklaşımla üstyapı tasarımında belirleyici olan DD-2 deprem yer hareketinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar yer almaktadır.

Çizelge 4.12 : Deprem yalıtımlı yapıya ait enerji dengeleri.

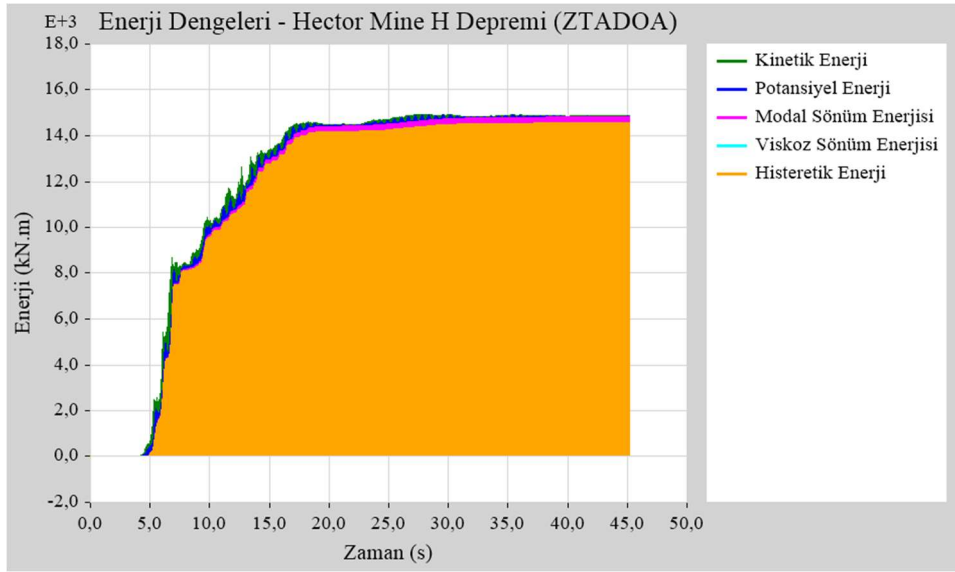
Deprem Enerjisi	Kinetik Enerji	Potansiyel Enerji	Modal Sönüm Enerjisi	Viskoz Sönüm Enerjisi	Histeretik Enerji
kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m
9230	1607	852	304	0	8701



Şekil 4.8 : Darfield Depremi için deprem yalıtımlı yapıya ait enerji dengeleri.



Şekil 4.9 : Tabas Depremi için deprem yalıtımlı yapıya ait enerji dengeleri.



Şekil 4.10 : Hector Mine - Hector Depremi için deprem yalıtımlı yapıya ait enerji dengeleri.

Çizelge 4.10 ve deprem yalıtımlı yapının analizine ait şekiller incelendiğinde yapıya yer hareketi tarafından aktarılan enerjinin küçük bir kısmının üstyapı içsel sönümü (modal sönüm) ile harcandığı geriye kalan büyük kısmın ise yalıtım birimlerinin hareketi ile histeretik olarak harcanarak yapıdan uzaklaştırıldığı görülür. Her ne kadar üstyapı doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak modellenmese de yalıtım sisteminin, üstyapının içsel sönüm mekanizmaları tarafından tüketilen enerjiye kıyasla büyük miktarda enerji tüketmesi üstyapıda şekil değiştirme taleplerinin azaltıldığını belirtir. Bu durum da beklenen yapısal ve yapısal olmayan hasarın azalması anlamına gelmektedir.

4.3 Ek Sönümleyicili Yapı

Tezde ele alınan pasif kontrol sistemlerinden ek sönümleyici içeren yapının 176 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiştir. Deprem yalıtımlı yapı ile ilgili sonuçların yer aldığı üstteki bölüme benzer şekilde deprem türü, sönümleyici birimi parametresi sınır değeri ve burulmanın değerlendirilmesi açısından farklılıklar içeren bu analizlerin gruplandırılması Çizelge 4.13'te özetlenmiştir. Analizler deprem türü açısından hem DD-1 hem DD-2 yer hareketi düzeyi için, sönümleyici birimi parametresi açısından ise ilgili parametrelerin hem alt sınır hem de üst sınır değerleri için gerçekleştirilmiştir. Yine burulma etkilerinin makul bir değerlendirmesi için ilgili analizler X ve Y doğrultusundaki kazara dışmerkezlikler

için tekrarlanmıştır. Bu kısımda yer alan sonuçların sıralaması deprem yalıtımlı yapıya ait üst kısımdaki sıralama ile aynı biçimde verilmiştir.

Çizelge 4.13 : Ek sönümleyicili yapı için gerçekleştirilen analizlerin gruplandırılması.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Sönümleyici Birimi Parametresi					
	Alt sınır			Üst sınır		
	Dış merkezlik			Dış merkezlik		
	-	X	Y	-	X	Y
DD-1	22	22	22	22	-	-
DD-2	22	-	-	22	22	22

4.3.1 Taban kesme kuvveti

11 deprem ivme kayıt çiftinin, kayıt eksenlerinin 90° döndürülerek tekrarlanan hesaplarını da içeren 22 analiz sonucu ve bu sonuçların ortalaması DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde sönümleyici birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt ve üst sınır değerleri için Çizelge 4.14'te verilmiştir. Benzer şekilde DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde sönümleyici birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt ve üst sınır değerleri için elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.15'te yer almaktadır. Üst bölümdekine benzer şekilde okunabilirliği artırmak için aynı deprem ivme kayıt çifti için 90° döndürülerek tekrarlanmış analizler çizelgelerde 'Deprem ismi - 90° ' şeklinde belirtilmektedir. Parantez içinde yer alan değerler taban kesme kuvvetinin yapı sismik ağırlığına oranını ifade etmektedir.

Çizelge 4.14 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde 11 deprem kaydı çifti için sönümleyici birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile yapılmış analizlere ait taban kesme kuvveti sonuçları.

Yer Hareketi	Alt Sınır (AS)		Üst Sınır (ÜS)	
	$V_{\max} - X$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - Y$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - X$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - Y$ doğrultusu (kN)
Tabas	22482	23345	21743	21956
Tabas - 90°	25744	23127	23922	20636
Loma Prieta	24226	22104	23938	19342
Loma Prieta - 90°	21760	24087	20416	22955
Landers – Coolwater	17285	35540	17404	37657
Landers – Coolwater - 90°	38371	15537	39490	17193
Landers – Joshua Tree	24072	28431	22710	27844
Landers – Joshua Tree - 90°	29413	22322	28826	21081
Landers – MVFS	24041	18075	30420	19972
Landers – MVFS - 90°	16388	23298	17933	29117
Kocaeli	27038	37133	26365	35095
Kocaeli - 90°	36747	26909	34953	26506
Manjil	42753	37520	47037	39403
Manjil - 90°	36379	41044	37856	43884
Hector Mine – Amboy	17546	18813	15935	19907
Hector Mine – Amboy - 90°	19489	18276	19950	16844
Hector Mine – Hector	25125	25849	23675	27949
Hector Mine – Hector - 90°	24443	26034	25008	25306
Chuetsu-oki	34445	27237	31913	30648
Chuetsu-oki - 90°	27134	35127	28751	33444
Darfield	26430	24088	29472	24528
Darfield - 90°	26126	24199	26638	27216
Ortalama	26702 (% 30.1)	26277 (%30.0)	27016 (%31.3)	26749 (%31.0)

Çizelge 4.15 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde 11 deprem kaydı çifti için sönümleyici birimlerine ait parametrelerin sırasıyla alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile yapılmış analizlere ait taban kesme kuvveti sonuçları.

Yer Hareketi	Alt Sınır (AS)		Üst Sınır (ÜS)	
	$V_{\max} - X$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - Y$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - X$ doğrultusu (kN)	$V_{\max} - Y$ doğrultusu (kN)
Tabas	14988	15563	14495	14637
Tabas - 90°	17163	15418	15948	13757
Loma Prieta	16165	14749	15973	12906
Loma Prieta - 90°	14520	16073	13623	15317
Landers – Coolwater	11534	23715	11613	25127
Landers – Coolwater - 90°	25604	10367	26350	11472
Landers – Joshua Tree	16048	18954	15140	18563
Landers – Joshua Tree - 90°	19608	14881	19218	14054
Landers – MVFS	16015	12041	20264	13304
Landers – MVFS - 90°	10917	15520	11946	19396
Kocaeli	18026	24755	17577	23397
Kocaeli - 90°	24498	17939	23302	17670
Manjil	28502	25014	31358	26269
Manjil - 90°	24252	27362	25238	29256
Hector Mine – Amboy	11697	12542	10624	13272
Hector Mine – Amboy - 90°	12992	12184	13300	11229
Hector Mine – Hector	16737	17219	15771	18618
Hector Mine – Hector - 90°	16283	17342	16659	16857
Chuetsu-oki	22963	18158	21275	20432
Chuetsu-oki - 90°	18090	23418	19167	22296
Darfield	17620	16059	19648	16352
Darfield - 90°	17417	16132	17759	18144
Ortalama	17802 (% 20.6)	17518 (%20.3)	18011 (%20.9)	17833 (%20.7)

Ek sönümleyicili yapı için gerçekleştirilen analizlerden elde edilen ve Çizelge 4.14 ile Çizelge 4.15'te her bir deprem ivme kaydı çifti için sunulan sonuçların nihai değerlendirmede kullanılan ortalama değerlerini içeren özeti Çizelge 4.16'da görülmektedir. Çizelgeden anlaşılabileceği üzere üstyapı taşıyıcı sisteminin simetrik olması ve yine ek sönümleyicilerin planda ve yapı yüksekliğince uygun dağıtılmasının doğal sonucu olarak ortalama taban kesme kuvveti değerleri aynı deprem düzeyi ve aynı sınır değeri durumları için her iki doğrultuda benzer değerlere sahiptir. ASCE/SEI 7-22 bölüm 18.3 gereği tasarım depreminden (design earthquake) elde edilen sonuçlar üstyapı tasarımında, risk-odaklı en yüksek depremden (risk-targeted maximum considered earthquake) elde edilen sonuçlar ise ek sönümleyici sisteminin tasarımında kullanılacaktır.

Çizelge 4.16 : Ek sönümleyicili yapı taban kesme kuvveti analiz özeti.

Analiz Türü	Ortalama Taban Kesme Kuvveti	
	X doğrultusu (kN)	Y doğrultusu (kN)
DD-1 – Alt Sınır	26702 (% 30.1)	26277 (%30.0)
DD-1 – Üst Sınır	27016 (%31.3)	26749 (%31.0)
DD-2 – Alt Sınır	17802 (% 20.6)	17518 (%20.3)
DD-2 – Üst Sınır	18011 (%20.9)	17833 (%20.7)

Aynı deprem yer hareketi düzeyi için sönümleyici birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile modellenen yapının sönümleyici birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile modellenen yapıya kıyasla taban kesme kuvveti açısından benzer taleplere sahip olduğu görülmektedir. Her iki sınır değer sonuçları arasında ortalama %2 ila %3 mertebelerinde bir fark bulunmaktadır ve burada üst sınır değer analiz sonuçları daha yüksek bulunmuştur. Deprem yalıtımlı yapıda kullanılan alt ve üst sınır değerlere kıyasla daha yakın alt ve sınır değerlere sahip olan ek sönümleyicili yapıda bu sonucun makul olduğu söylenebilir.

En büyük deprem yer hareketi düzeyinde ortalama taban kesme kuvveti değeri her iki sınır durum için de bina sismik ağırlığının %30.0'u mertebelerindedir. ASCE/SEI 7-22 gereği yapıya etkiyen en büyük taban kesme kuvvetin belirleneceği sınır durum ise standart tasarım deprem yer hareketi DD-2 altında maksimum taban kesme kuvveti değerini veren sınır durumdur ve burada daha yüksek değerleri veren üst sınır belirleyici olmuştur. Üst sınır analizi taban kesme kuvveti yapı sismik ağırlığının her

iki doğrultunun ortalaması olarak %20.8 olarak elde edilmiştir. Yine aynı deprem yer hareketi düzeyi için alt sınır analizinde çok benzer bir sonuç bulunmuştur.

Deprem yalıtımlı yapıdakine benzer şekilde ek sönümleyicili yapıda da tasarıma esas olan taban kesme kuvveti değerinin belirli sınır değerlerden küçük olmasına izin verilmez. Tez kapsamında ek sönümleyicili yapının tasarımında esas alınan ASCE/SEI 7-22’de bulunan 18.2.1.1 maddesi, her katta ilgili doğrultuda burulmaya karşı yerleştirilmiş en az 2 sönümleme birimi içeren ve burulma düzensizliği oranı 1.4’ten büyük olmayan ve ekstrem yumuşak kat düşey düzensizliği içermeyen (Type 1b. stiffness-extreme soft story irregularity) yapılarda taban kesme kuvvetinin denklem 4.1 ve denklem 4.2’de verilen değerlerin büyüğünden daha küçük alınmasını engeller (ASCE/SEI 7-22). Koşullardan herhangi birinin sağlanamaması durumunda taban kesme kuvveti değeri denklemlerde V ile gösterilen ve ek sönümleyici içermeyen yapıda hesaplanan minimum taban kesme kuvvetinden daha az alınamaz. Burada B_{V+1} terimi; ek sönümleyicili yapıda ilgilenilen doğrultuda toplam eş değer sönüme karşı gelen ve ASCE/SEI 7-22 tablo 18.7-1’den elde edilen katsayıdır.

$$V_{\min} = \frac{V}{B_{V+1}} \quad (4.1)$$

$$V_{\min} = 0.75V \quad (4.2)$$

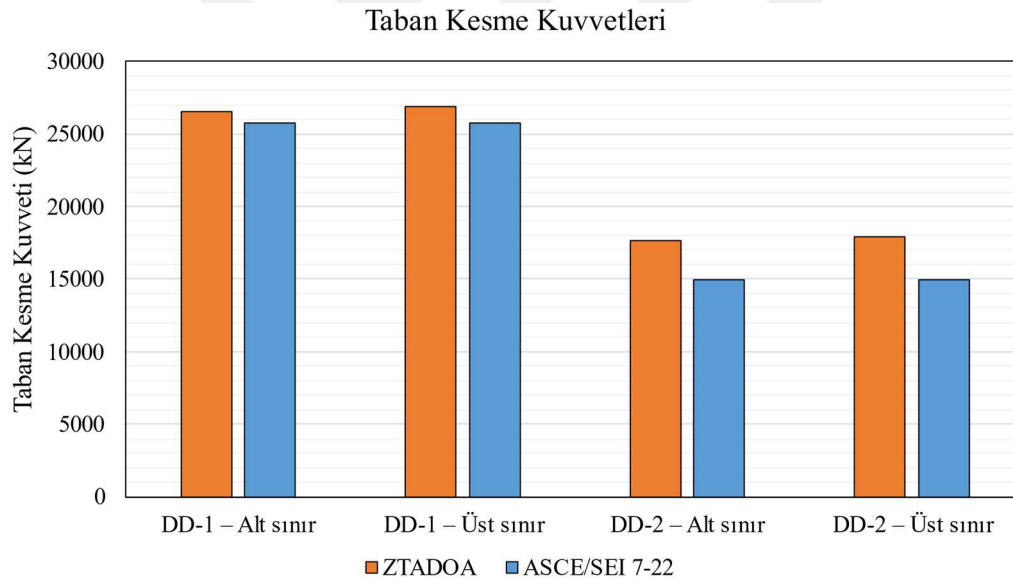
Modellenen yapıda her katta her iki yönde de 4 adet sönümleme birimi bulunduğu ve yapı taşıyıcı sistemi herhangi bir burulma ve yumuşak kat düzensizliği içermediğinden yukarıdaki denklemlerden elde edilen değerlerden büyük olanı minimum taban kesme kuvveti değeri olacaktır. Burada B_{V+1} , %20 ek sönüme %3 içsel sönümün eklenmesi ile elde edilen %23 toplam sönüm için ASCE/SEI 7-22 tablo 18.7-1’den interpolasyon yardımıyla bulunan 1.59 değeridir. Denklem 4.1’de bu değer yerine konduğunda ilgili katsayı 0.63 olarak bulunur. Buradan deprem türü ve sönümleyici birimi sınır parametresinden bağımsız olarak yukarıdaki denklemlerde yer alan katsayılar (0.63 ve 0.75) kıyaslandığında belirleyici olan değer 0.75 olduğu görülür. Gerçekte sönümleyici parametrelerinin üst ve alt sınır değerleri ile gerçekleştirilen analizlerde elde edilen ek sönüm oranı çok az miktarda farklı olsa da burada bu farklılık nihai sonuçlar üzerinde etkili olmadığından ihmal edilmiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının ASCE/SEI 7-22 tarafından belirlenen limit değer ile kıyaslaması aşağıda Çizelge 4.17 ve Şekil 4.11’de

görülmektedir. Burada, üst paragrafta 0.75V olarak belirlenen bu limit değerdeki V ifadesi makul bir yaklaşımla DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi seviyeleri için deprem yükü azaltma katsayısı R ile azaltılmamış talepleri göstermektedir. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için V değeri 25769 kN; DD-2 yer hareketi seviyesi için ise 14984 kN'dur. Her iki doğrultu için elde edilen sonuçlar birbirleriyle çok yakın olduğundan üst bölümdekine benzer şekilde iki doğrultuda çıkan sonuçların aritmetik ortalaması kıyaslarda kullanılmıştır.

Çizelge 4.17 : Ek sönümleyicili yapıda taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Analiz Türü	ZTADOA kN	ASCE/SEI 7-22 kN
DD-1 – Alt Sınır	26490	25769
DD-1 – Üst Sınır	26883	25769
DD-2 – Alt Sınır	17660	14984
DD-2 – Üst Sınır	17922	14984



Şekil 4.11 : Ek sönümleyicili yapıda taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

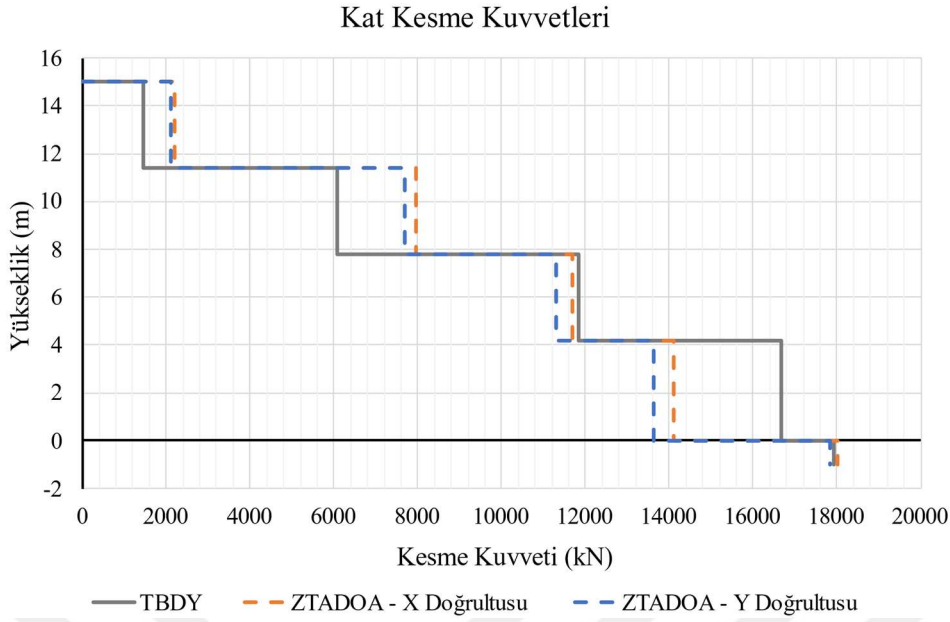
Çizelge 4.17 ve Şekil 4.11 incelendiğinde tüm sınır durumlarda ZTADOA ortalama sonuçlarının yönetmelik minimum sınır değerinden yüksek olduğu görülür. DD-1 yer hareketi seviyesinde ZTADOA sonuçları ASCE/SEI 7-22 sınırını yaklaşık %3.5; DD-2 yer hareketi seviyesinde ise yaklaşık %18.5 oranında aşmaktadır. Bu durumda her bir sınır durum için belirleyici değerler ZTADOA sonuçlarının ortalaması olarak alınacaktır.

4.3.2 Kat kesme kuvvetleri

Üst bölümdekine benzer şekilde kat kesme kuvvetlerinin dağılımına ek sönümleyici yapı için bu bölümde yer verilmiştir. Her ne kadar kat kesme kuvvetlerinin dağılımı taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında doğrudan belirleyici olmasa da bu dağılımın ankastre yapılar için kullanılan dağılımla olan kıyası yapı davranışındaki olası değişimleri göstermesi açısından yararlıdır. Buna uygun olarak, taşıyıcı sistem tasarımı için belirleyici olan DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde sönümleyici birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile gerçekleştirilen (DD-2 – üst sınır) 22 ZTADOA sonucunun ortalama değerleri X ve Y doğrultuları için Çizelge 4.18’de yer almaktadır. Yine çizelgede TBDY’de Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı başlığı altında yer alan ve 4.7.2.3 maddesi ile belirtilen kat kesme kuvveti dağılımına yer verilmiştir. TBDY için ilgili sonuçlar yine ZTADOA analizinden bulunan taban kesme kuvvetleri kullanılarak elde edilmiş fakat dağılım için yukarıda bahsedilen maddedeki yaklaşım kullanılmıştır. Her iki yönetmelikte de bu dağılım ile ilgili özel bir durumdan bahsedilmediğinden bu yaklaşımın kullanılması makul olarak yorumlanmıştır. Burada kat kesme kuvvetlerinin dağılımı için ASCE/SEI 7.22 12.8.3’te verilen deprem kuvvetlerinin düşey dağılımına ait yaklaşım farklılığı, doğrudan tezde incelenen yapılar ile ilgili olmadığından burada ASCE/SEI 7.22’ye göre kat kesme kuvvetlerinin dağılımı TBDY’den ayrı bir şekilde incelenmemiştir. Yine TBDY için her iki doğrultuda elde edilen değerler birbirine son derece yakın olduğundan grafiğin kolay okunabilmesi için Şekil 4.12’de her iki doğrultuya ait değerlerin ortalamasına yer verilmiştir.

Çizelge 4.18 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (Her iki doğrultu).

Kat	Kat Kesme Kuvveti (kN)			
	ZTADOA		TBDY	
	X	Y	X	Y
4. Kat	2214	2112	1466	1451
3. Kat	7972	7680	6121	6060
2. Kat	11683	11288	11888	11771
1. Kat	14092	13639	16765	16599
Taban	18011	17833	18011	17833



Şekil 4.12 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (Her iki doğrultu).

Çizelge 4.18 ve Şekil 4.12’den görüldüğü üzere taşıyıcı sistem ve sönümleme birimlerinin planda dağılımlarının simetrik olması nedeniyle kat kesme kuvvetlerinin dağılımı X ve Y doğrultuları için benzer değerlere sahiptir. Yine 3. kat ve 4. katta ZTADOA sonuçlarının, 1. katta ise TBDY sonuçlarının daha elverişsiz değerler verdiği görülmektedir. Kat kesme kuvvetlerinin 2 yönleme göre dağılımları kıyaslandığında oransal en büyük fark yaklaşık %33 ile en üst katta; en düşük fark ise yaklaşık %3 fark ile 2. katta görülmektedir.

Ek sönümleyici yapıda taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımına esas iç kuvvetlerin belirlenmesinde etkili olan burulma etkileri, deprem yalıtımlı yapıda uygulanan yöntem ile aynı şekilde ele alınmıştır. Buna göre yapıda mevcut dış merkezlik bulunmamaktadır ve ek dış merkezlik kütlenin %5 X ve %5 Y doğrultularında kaydırılması ile modellenmiştir. Dış merkezlik analizlerinden elde edilen kat kesme kuvvetleri ve çıkan sonuçların değerlendirilmesinden elde edilen kuvvet artırma katsayıları sırasıyla Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de her kat ve her iki doğrultu için özetlenmiştir. Burada deprem yalıtımlı yapıda elde edilen sonucun aksine her iki doğrultuda ayrı ayrı ek dış merkezlik ile tasarlanan modellerde hem taban kesme kuvvetinin hem de buna bağlı olarak kat kesme kuvvetlerinin neredeyse hiç değişmediği; dahası dış merkezliğin etki ettirildiği doğrultularda yaklaşık %2 mertebelerinde azaldıkları görülmüştür. Bölüm 4.2.2’de açıklanan ve ayrıntıları Basu ve diğ. (2014)’te verilen ek dış merkezliğin bu şekilde kuvvet artırma katsayıları ile

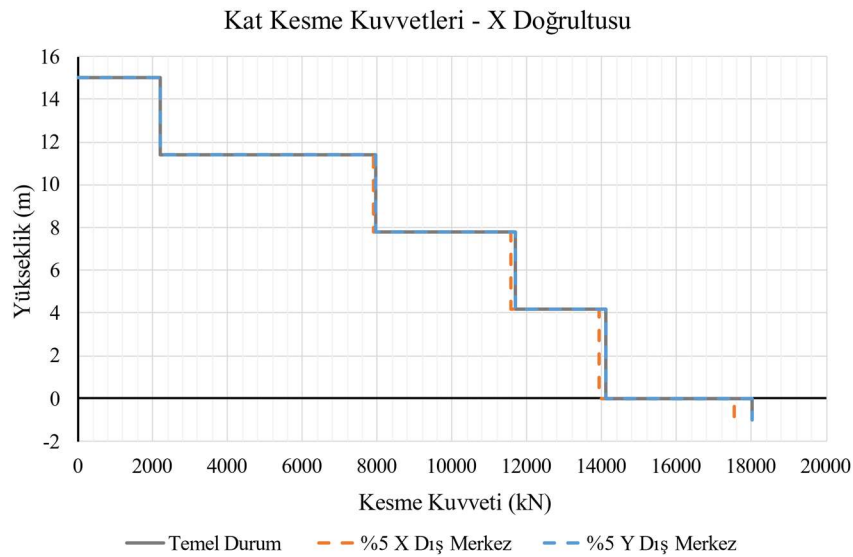
değerlendirilmesinin, ek dış merkezliğin doğrudan modellenmesi halinde yapının dinamik karakterinde oluşabilecek değişimlerin ve buna bağlı olarak zaman tanım alanında analizler sonucu olası daha düşük talepler elde edilmesi durumunun önüne geçebileceği elde edilen analizlerde doğrudan görülmüştür. Şekil 4.13'te ve Şekil 4.14'te X ve Y doğrultularındaki dış merkezlik durumlarının kat kesme kuvvetlerine bahsedilen etkileri görülmektedir.

Çizelge 4.19 : Ek sönümleyici yapıda kat kesme kuvvetlerinin %5 X doğrultusunda dışmerkezlik ve %5 Y doğrultusunda dışmerkezlik durumları için karşılaştırılması.

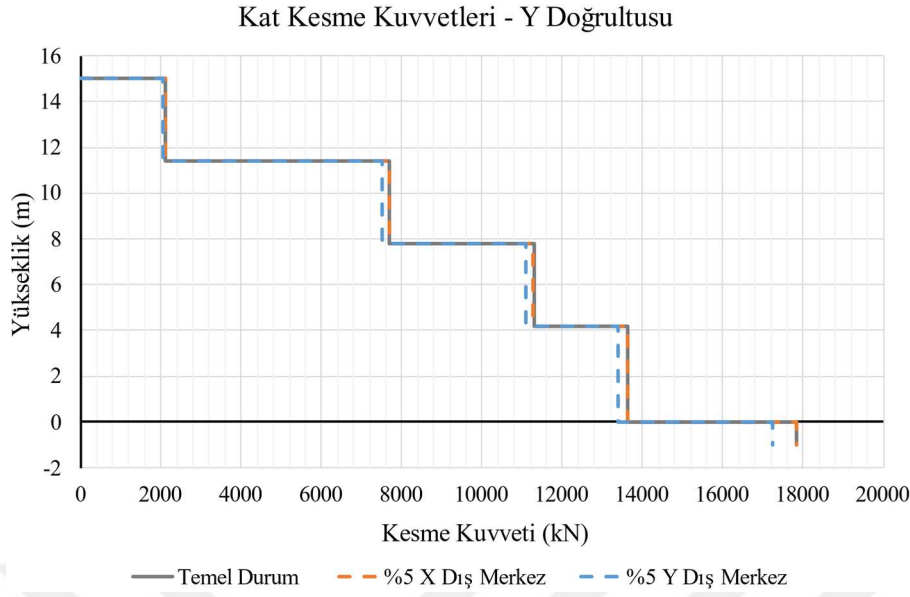
Kat	Kat Kesme Kuvveti (kN)					
	Temel Durum		%5 X		%5 Y	
	X	Y	X	Y	X	Y
4. Kat	2214	2112	2186	2112	2214	2058
3. Kat	7972	7680	7886	7680	7972	7510
2. Kat	11683	11288	11570	11266	11683	11081
1. Kat	14092	13639	13935	13639	14092	13376
Yalıtım Seviyesi	18011	17833	17537	17833	18010	17246

Çizelge 4.20 : Ek sönümleyicili yapıda kuvvet artırma katsayıları.

Kat	Kuvvet Artırma Katsayısı			
	%5 X		%5 Y	
	X	Y	X	Y
4. Kat	0.99	1.00	1.00	0.97
3. Kat	0.99	1.00	1.00	0.98
2. Kat	0.99	1.00	1.00	0.98
1. Kat	0.99	1.00	1.00	0.98
Yalıtım Seviyesi	0.97	1.00	1.00	0.97
En Büyük Değer	0.99	1.00	1.00	0.98



Şekil 4.13 : Ek sönümleyicili yapıda kat kesme kuvvetlerinin ek dışmerkezlik etkileri için karşılaştırılması (X doğrultusu).



Şekil 4.14 : Ek sönümleyicili yapıda kat kesme kuvvetlerinin ek dışmerkezlilik etkileri için karşılaştırılması (Y doğrultusu).

Üstteki çizelge ve şekiller incelendiğinde yine güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla Çizelge 4.20’de özetlenen bu kuvvet artırma katsayılarının kullanılmamasının ve ek dış merkezlilik içermeyen analiz sonuçlarının tasarıma esas kesit tesirlerinin elde edilmesinde doğrudan kullanılmasının makul olduğu söylenebilir.

4.3.3 Göreli kat ötelemeleri

Ankastre temelli ve deprem yalıtımlı yapılardakine benzer şekilde ek sönümleyicili yapılarıdaki göreli kat öteleme değerleri yapı standartları tarafından sınırlandırılmaktadır. Bu alt bölümde ek sönümleyicili yapıda elde edilen göreli kat ötelemeleri değerleri ve bu ilgili sınırlarla kıyaslamaları verilmiştir.

Ek sönümleme sistemi tasarımı gerçekleştirilen ilgili yapıda göreli kat ötelemesi sınırlarının kontrol edilmesinde tezde ele alınan iki farklı standarttaki yaklaşımlar ve sınır değerler kullanılmıştır. Bunlardan ilki göreli kat ötelemesi kontrollerinin TBDY bölüm 4.9.1’de verilen ve genel olarak tüm yapılarda kullanılması öngörülen, ilgilenilen yer hareketi düzeyinde yapıya ait etkin göreli kat ötelemelerinin yine aynı bölümde 4.34a’da verilen sınır değerle kıyaslanmasıdır. Ek sönümleyicili yapılara ait herhangi bir özel sınırlama bulunmadığından TBDY’ye göre tasarlanan yapılarda uygulanması tutarlı görünen bu yaklaşımda, DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde sönümleyici birimi parametrelerinin üst sınıra kıyasla daha yüksek kat kesme kuvveti sonuçları dolayısıyla daha yüksek göreli kat ötelemeleri/kat yükseklikleri değerleri

veren alt sınır değerleriyle gerçekleştirilen ortalama analiz sonuçları tezde bölüm 4.2.3’de elde edilen sınır değer (%2) ile kıyaslanmıştır.

Görelî kat ötelemelerinin kontrolünde yararlanılan bir diğer yöntem ise ASCE/SEI 7-22’de yer alan yöntemdir. Buna göre DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde sönümleyici birimi parametrelerinin üst sınıra kıyasla daha yüksek görelî kat ötelemeleri/kat yükseklikleri değerleri veren alt sınır değerleriyle gerçekleştirilen ZTADOA ortalama sonuçları aşağıda verilen 2 sınır değerîn küçük olanından daha fazla olmamalıdır:

- %3
- ASCE/SEI 7-22 tablo 12.12-1’de verilen limit değer ile $1.5R / C_d$ ve 1.9 değerlerinden küçük olanın çarpımı

Tezde ele alınan yapı için ASCE 7-22 tablo 12.12-1’de verilen limit değer IV risk kategorisine sahip yapılarda 0.010’dur. R ve C_d değerleri ise sırasıyla 8 ve $5\frac{1}{2}$ ’ye eşittir. Buna göre elde edilen %3 ve %2.3 [$\min (1 \times 1.5 \times 8 / 5\frac{1}{2} = 2.2) ; (2 \times 1.9 = 3.8)$] değerlerinden daha düşük olan %2.3 değeri belirleyici olmuştur.

Ek sönümleyicili yapıya ait görelî kat ötelemelerinin analizler sonucu elde edilen ve 2 farklı sınıra göre değerlendirmeleri aşağıda verilmiştir. Çizelge 4.21’de DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde sönümleyici birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile gerçekleştirilen analizlerin ortalama maksimum görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği sonuçları yapının her iki doğrultusu ve her kat için yer almaktadır. Yine bölüm 4.2.3’e benzer şekilde X ve Y doğrultularında dışmerkezlîk içeren analizlere ait sonuçlar da çizelgede görölmektedir.

Çizelge 4.21 : Ek sönümleyicili yapıda DD-2 yer hareketi düzeyi için elde edilen görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği değerleri.

Kat	Görelî Kat Ötelemesi / Kat Yüksekliği					
	Temel Durum		%5 X		%5 Y	
	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$
4. Kat	0.0021	0.0022	0.0022	0.0024	0.0022	0.0022
3. Kat	0.0043	0.0046	0.0045	0.0053	0.0046	0.0048
2. Kat	0.0059	0.0061	0.0061	0.0072	0.0063	0.0063
1. Kat	0.0059	0.0059	0.0061	0.0070	0.0063	0.0062
Yalıtım Katı	0.0009	0.0009	0.0010	0.0011	0.0010	0.0010

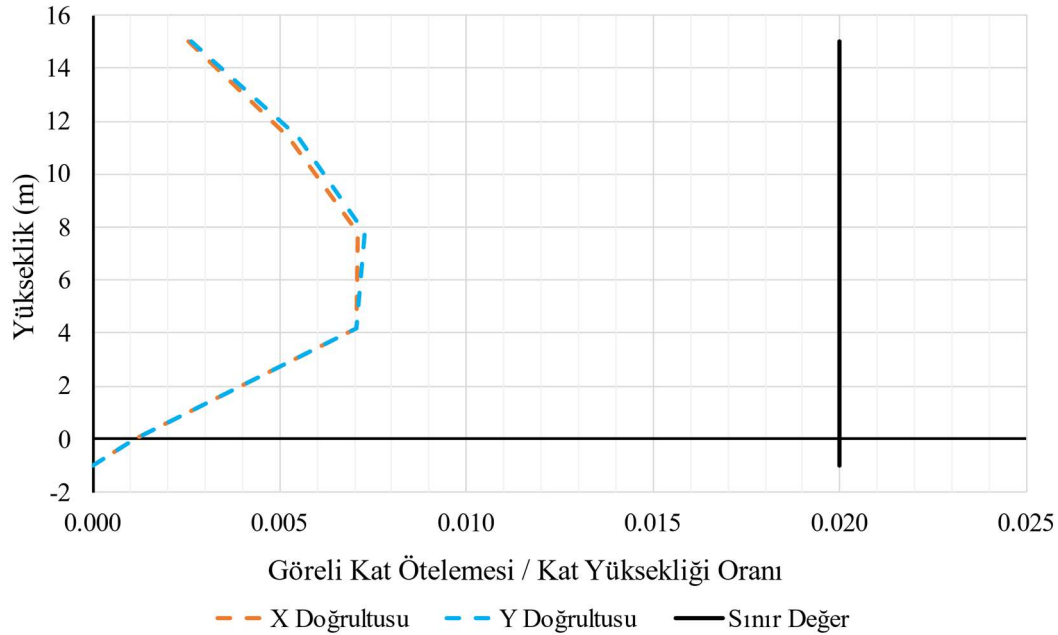
Çizelge 4.21’de özetlenen sonuçlar kullanılarak elde edilen görelî kat ötelemesi artırma katsayısı değerleri Çizelge 4.22’de yer almaktadır. Buna göre görelî kat

ötelemesi artırma katsayısı olarak bölüm 4.2.3'te verilen yaklaşım ile en büyük değer olan 1.20 değeri seçilmiştir. İlgili değer X doğrultusunda ek dışmerkezlik içeren analizlerden 1. kat için Y doğrultusunda elde edilen değerdir. Yine 1.20 değeri ve temel durumda elde edilen değerlerin çarpımıyla elde edilen değerlendirmeye esas görel kat ötelemeleri/kat yüksekliği değerleri aynı çizelgede yer almaktadır. Son durumda elde edilen bu değerlerin sınır değer olan %2 ile karşılaştırılması ise her iki doğrultu için Şekil 4.15'te görülmektedir. Şekilden tezde ele alınan yapıda görel kat ötelemesi değerlerinin TBDY'ye verilen sınır değeri kolaylıkla sağladığı ve en büyük değerin yaklaşık 0.008 mertebelerinde olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

Çizelge 4.22 : Ek sönümleyicili yapı için DD-2 yer hareketi düzeyinde elde edilen görel kat ötelemesi artırma katsayıları ve nihai görel kat ötelemesi/kat yüksekliği değerleri.

Kat	Görel Kat Ötelemesi Artırma Katsayıları				Nihai Görel Kat Ötelemesi / Kat Yüksekliği Değerleri	
	%5 Dışmerkezlik - X		%5 Dışmerkezlik - Y		$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$
	X	Y	X	Y	X	Y
4. Kat	1.01	1.09	1.02	1.01	0.0026	0.0026
3. Kat	1.03	1.16	1.06	1.04	0.0052	0.0055
2. Kat	1.03	1.18	1.07	1.04	0.0071	0.0073
1. Kat	1.04	1.19	1.08	1.05	0.0070	0.0071
Yalıtım Katı	1.06	1.20	1.08	1.07	0.0011	0.0011
En Büyük Değer	1.06	1.20	1.08	1.07	0.008	0.008

Görel Kat Ötelemesi / Kat Yüksekliği Oranları



Şekil 4.15 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen görel kat ötelemelerinin TBDY'ye göre kontrolü.

Ek sönümleyicili yapıya ait görelî kat ötelemelerinin ASCE/SEI 7-22'ye göre kontrolü ise aşağıda yer almaktadır. Üstteki durumdan farklı olarak burada DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde gerçekleştirilen kontrole ait sonuçlar Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24'te yer almaktadır.

Çizelge 4.23 : Ek sönümleyicili yapıda DD-1 yer hareketi düzeyi için elde edilen görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği değerleri.

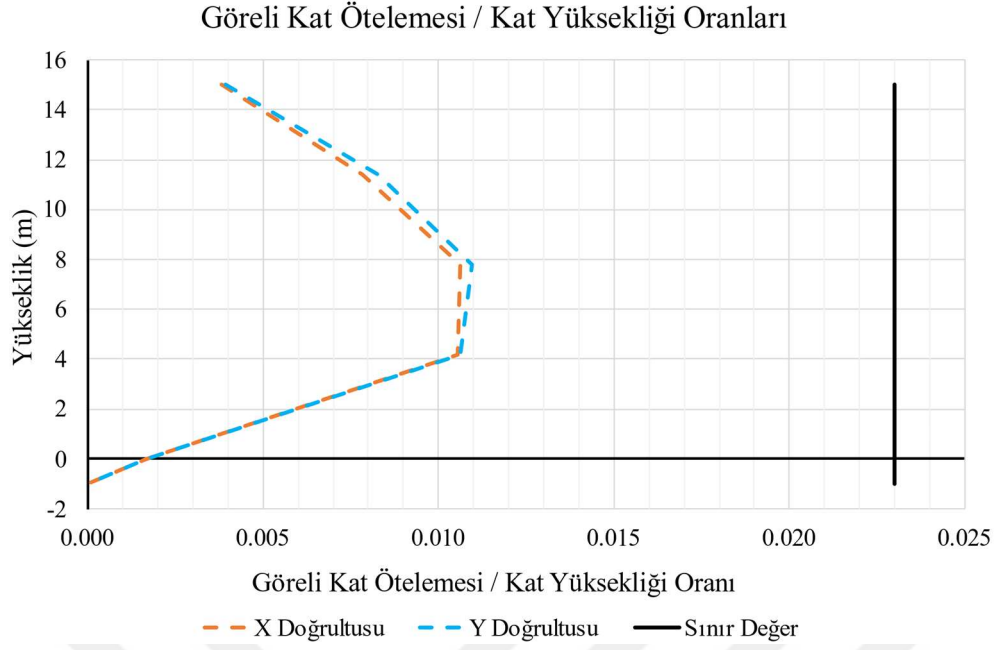
Kat	Görelî Kat Ötelemesi / Kat Yüksekliği					
	Temel Durum		%5 X		%5 Y	
	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$
4. Kat	0.0032	0.0033	0.0032	0.0036	0.0032	0.0033
3. Kat	0.0065	0.0069	0.0067	0.0080	0.0069	0.0071
2. Kat	0.0089	0.0091	0.0092	0.0107	0.0095	0.0095
1. Kat	0.0088	0.0088	0.0091	0.0105	0.0095	0.0092
Yalıtım Katı	0.0014	0.0014	0.0015	0.0017	0.0015	0.0015

Çizelge 4.24 : Ek sönümleyicili yapı için DD-1 yer hareketi düzeyinde elde edilen görelî kat ötelemesi artırma katsayıları ve nihai görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği değerleri.

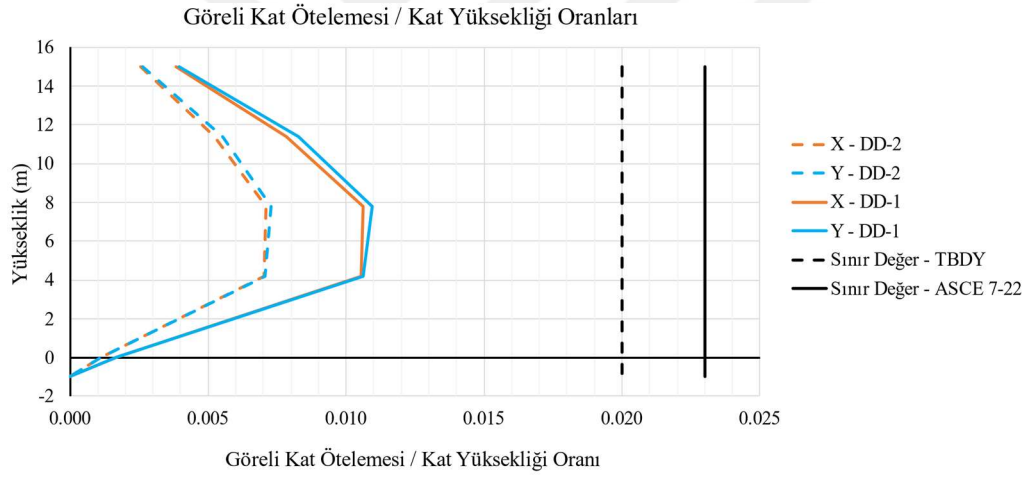
Kat	Görelî Kat Ötelemesi Artırma Katsayıları				Nihai Görelî Kat Ötelemesi / Kat Yüksekliği Değerleri	
	%5 Dışmerkezlik - X		%5 Dışmerkezlik - Y		$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$
4	1.01	1.09	1.01	1.01	0.0038	0.0039
3	1.03	1.16	1.06	1.04	0.0078	0.0083
3	1.03	1.18	1.07	1.04	0.0106	0.0109
1	1.04	1.19	1.08	1.05	0.0106	0.0106
Yalıtım Katı	1.06	1.20	1.08	1.07	0.0017	0.0017
En Büyük Değer	1.06	1.20	1.08	1.07	0.011	0.011

Elde edilen nihai değerlerin sınır değer olan %2.3 ile karşılaştırılması her iki doğrultu için Şekil 4.16'da görülmektedir. Şekilden ek sönümleyicili yapıda görelî kat ötelemesi değerlerinin TBDY'ye benzer şekilde ASCE/SEI 7-22'de verilen sınır değeri de kolaylıkla sağladığı ve en büyük değer yaklaşık 0.011 mertebelerinde olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

İlgili yapı için iki yönetmelikte yer alan görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması ile ilgili kontrollerin karşılaştırılması ise Şekil 4.17'de verilmiştir. Yapıda elde edilen en büyük görelî kat ötelemelerinin sınır değerlere oranları TBDY için %36; ASCE/SEI 7-22 için ise %48 mertebelerindedir. Buna göre ek sönümleyicili yapılar için standart yapılardan farklı sınır değerler belirleyen ASCE/SEI 7-22 koşullarının TBDY'ye kıyasla daha kısıtlayıcı olduğu ilgili yapıda görülmüştür.



Şekil 4.16 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen görelî kat ötelemelerinin ASCE/SEI 7-22'ye göre kontrolü.



Şekil 4.17 : Ek sönümleyicili yapıda elde edilen görelî kat ötelemelerinin ve sınır değerlerin karşılaştırılması.

4.3.4 Kat ivmeleri

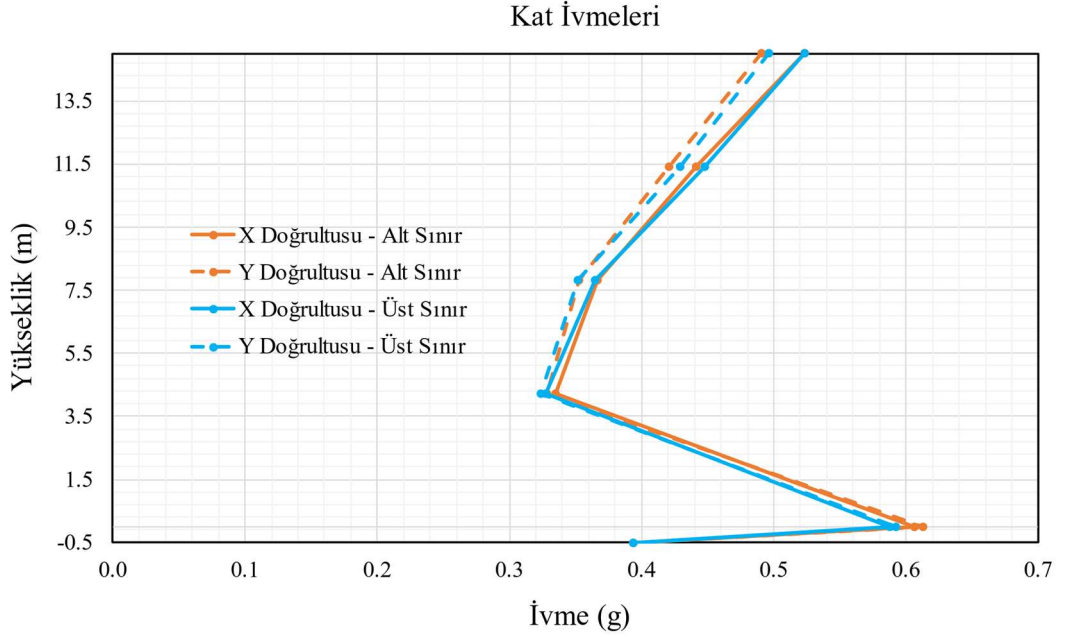
Standart tasarım deprem yer hareketi düzeyinde kesintisiz kullanım performansı sergilemesi beklenen yapının ek sönümleyicili olarak tasarlanması durumunda elde edilecek kat ivmelerine ait sonuçlar bu alt bölümde verilmiştir. Kat ivmelerinin yapısal ve yapısal olmayan elemanlar açısından önemi üstte bölüm 4.2.4'te açıklanmıştır.

Ek sönümleyicili yapıda DD-2 standart deprem yer hareketi düzeyinde sönümleyici birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ve üst sınır değerleri ile gerçekleştirilen analizlere ait en büyük değerlerin ortalamaları alınarak elde edilen kat

İvmeleri Çizelge 4.25'te özetlenmiştir. Çizelge deprem yalıtımlı yapıya ait sonuçların ele alındığı bölümdekine benzer şekilde her kat ve her 3 temel doğrultuya ait sonuçları içerecek şekilde oluşturulmuştur. Yine Çizelge 4.25'te özetlenen kat ivmelerinin yapı üzerindeki dağılımı alt sınır ve üst sınır durumları için Şekil 4.18'de görülmektedir.

Çizelge 4.25 : Ek sönümleyicili yapıda kat ivmelerinin dağılımı.

Kat	İvme					
	Alt Sınır			Üst Sınır		
	X (g)	Y (g)	Z (g)	X (g)	Y (g)	Z (g)
4	0.523	0.491	0.520	0.523	0.497	0.384
3	0.441	0.421	0.506	0.448	0.429	0.399
2	0.366	0.352	0.402	0.365	0.352	0.287
1	0.335	0.328	0.525	0.327	0.324	0.487
Yalıtım Katı	0.607	0.613	0.263	0.588	0.592	0.534
Temel	0.393	0.393	0.000	0.393	0.393	0.000



Şekil 4.18 : Ek sönümleyicili yapıda kat ivmelerinin dağılımı.

Çizelge 4.25 ve Şekil 4.18'den görülebileceği üzere yapı yatay doğrultularındaki ivme değerleri alt ve üst sınır durumlarında ihmal edilebilecek düzeyde düşük farklılıklara sahiptir. Yine her ne kadar bazı katlarda yatay doğrultulardaki ivme değerleri temelden aktarılan değerlerden daha düşük olsa da yapı yüksekliği boyunca üniform bir yayılım gösterdikleri söylenebilir. Daha rijit taşıyıcı sisteme sahip yalıtım katı en yüksek ivme değerlerine sahip olduğu ve 1. kattan üst katlara çıkıldıkça ivmelerin azaldığı görülmektedir. Çıkarılan sonuçlardan bir diğeri deprem yalıtımlı yapının aksine ek sönümleyicili yapının yatay deprem yer hareketinden dolayı yapıda düşey (Z)

doğrultuda önemli miktarlarda ivmeler oluşturduğudur. Örneğin her iki sınır durum için 1. katta düşey doğrultuda maruz kalınan ivme yatay doğrultularda maruz kalınan ivmelerin yaklaşık 1.5 katıdır.

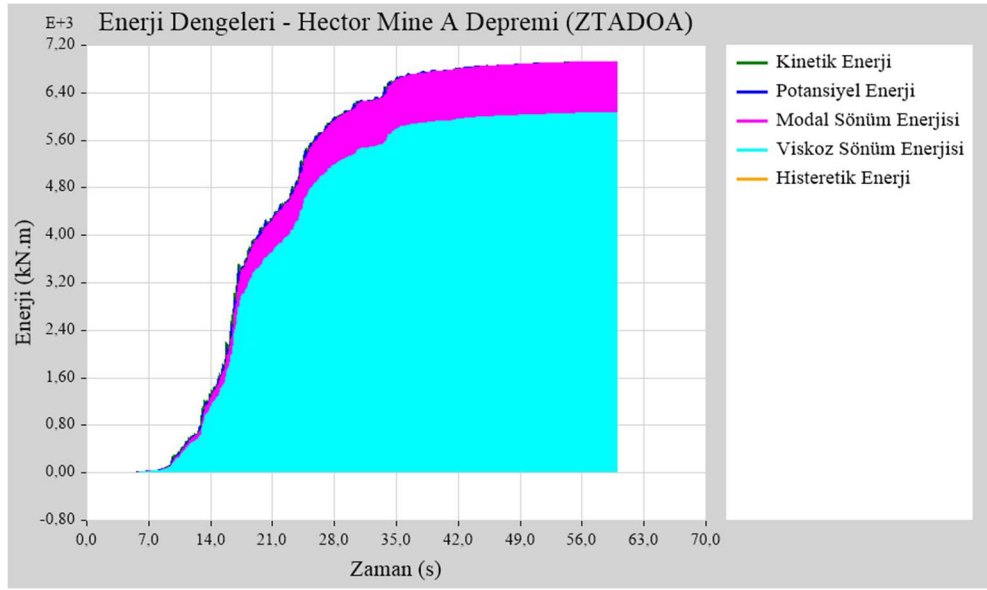
4.3.5 Enerji dengeleri

Doğrusal olmayan davranış gösteren sıvı viskoz sönümleyicilerin etkinliğini belirlemede en yararlı parametrelerden biri enerji dengelerindeki değişimlerin incelenmesidir. NEHRP (2015) enerji dengelerinin değişimini gösteren grafiklerin incelenmesinin yapıda oluşacak hasarın bir göstergesi olan histeretik enerjideki azalmayı ve bu enerjinin tamamlayıcı sönümleme sistemlerine aktarılışını göstermesi bakımından özellikle de güçlendirme projeleri için yararlı olduğunu belirtir. Buna göre bu alt bölümde ek sönümleyicili olarak tasarlanan yapının ZTADOA sonuçları enerji dengeleri bakımından ele alınmıştır.

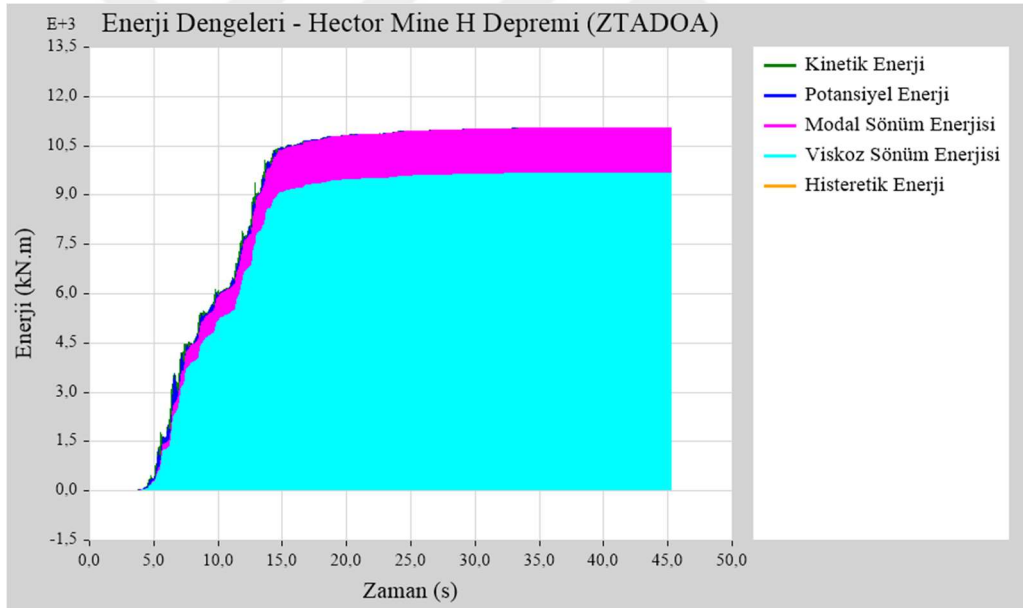
Çizelge 4.26'da DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde sönümleyici birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile gerçekleştirilen 22 analize ait enerji dengeleri sonuçları yer almaktadır. Burada her ne kadar iki sınır değere ait analizler çok yakın sonuçlara sahip olsa da güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla taban kesme kuvvetleri açısından daha elverişsiz sonuçlar veren üst sınıra ait değerler dikkate alınmıştır. Buna göre yapıya aktarılan ortalama deprem enerjisinin 11848 kN.m'nin 10442 kN.m'lik kısmı (%88) sönümleyici birimleri (sönümleyici biriminin içerisinde bulunan sıvının orifisten geçmesi esnasında havaya ısı olarak) tarafından, 1505 kN.m'lik kısmının ise içsel sönüm ile tüketilmesi beklenmektedir. Deprem yalıtımlı yapıya ait bölümde açıklandığı üzere enerji girdilerinin en düşük, ortalama ve en yüksek olduğu ivme kayıtları için deprem süresince enerji dengelerinin değişimi yine sırasıyla Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.26 : Ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengeleri.

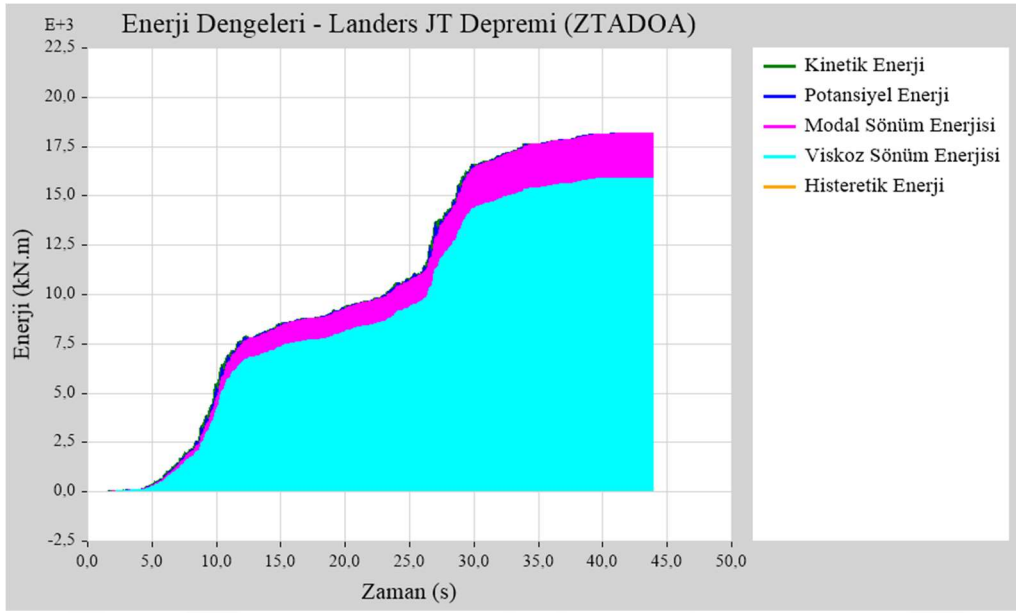
Deprem Enerjisi	Kinetik Enerji	Potansiyel Enerji	Modal Sönüm Enerjisi	Viskoz Sönüm Enerjisi	Histeretik Enerji
kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m
11948	1153	772	1505	10442	0



Şekil 4.19 : Hector Mine - Amboy Depremi için ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengeleri.



Şekil 4.20 : Hector Mine - Hector Depremi için ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengeleri.



Şekil 4.21 : Landers - Joshua Tree Depremi için ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengeleri.

Ek sönümleyicili yapının ZTADOA'ine ait üst kısımda özetlenen enerji dengeleri sonuçları incelendiğinde yapıya deprem tarafından iletilen enerjinin büyük kısmının ek sönümleyici birimleri tarafından sönümlendiği görülmektedir. Yine ASCE/SEI 7-22'de belirtildiği üzere %3 olarak belirtilen ve yapıda modellenen modal sönümün de enerji tüketimine katkısı Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de görülmektedir. Çizelge 4.26'da viskoz sönüm ve modal sönüm için verilen ortalama değerlerin birbirlerine oranları $10442 / 1505 \cong 7$ incelendiğinde, yapıya ek sönümleyici sistemi tarafından eklenen sönümün tasarımda hedeflenen değer olan %20'ye ($7 \times \%3 = \%21$) ulaştığı anlaşılmaktadır. Enerjinin bu türden sönümlenmesi deprem yalıtımlı yapıdakine benzer şekilde yapısal ve yapısal olmayan hasarı azaltarak yapı performansını artıracaktır.

4.4 Deprem Yalıtımlı Yapı ile Ek Sönümleyicili Yapının Karşılaştırılması

Genel yapı parametrelerine ait analiz sonuçları önceki bölümlerde verilen deprem yalıtımlı yapı ile ek sönümleyicili yapının yine aynı parametreler üzerinden karşılaştırılmasına bu alt bölümde yer verilmiştir. İlerleyen kısımlarda sırasıyla her iki yapıya ait sonuçlar taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, göreceli kat ötelemeleri, kat ivmeleri ve enerji dengeleri açısından kıyaslanmıştır. Karşılaştırma her iki yönetmelik (TBDY ve ASCE/SEI 7-22) tarafından üstyapı taşıyıcı sisteminin tasarımında belirleyici olduğu belirtilen DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde deprem

yalıtımı birimleri/ek sönümleyici birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile yapılmıştır. Her ne kadar gerçekte ek sönümleyicili yapıda tasarıma esas değerlerin elverişsiz sonuçları veren sınır durumdan alınması gerektiği belirtilse de incelenen yapı için bu durum üst sınır duruma karşılık gelmektedir ve kıyaslamaya açısından uygundur. Yine sonuçlar açısından yararlı olduğu düşünülen kısımlarda ankastre yapıya ait sonuçlar da verilmiş ve karşılaştırmalara dahil edilmiştir.

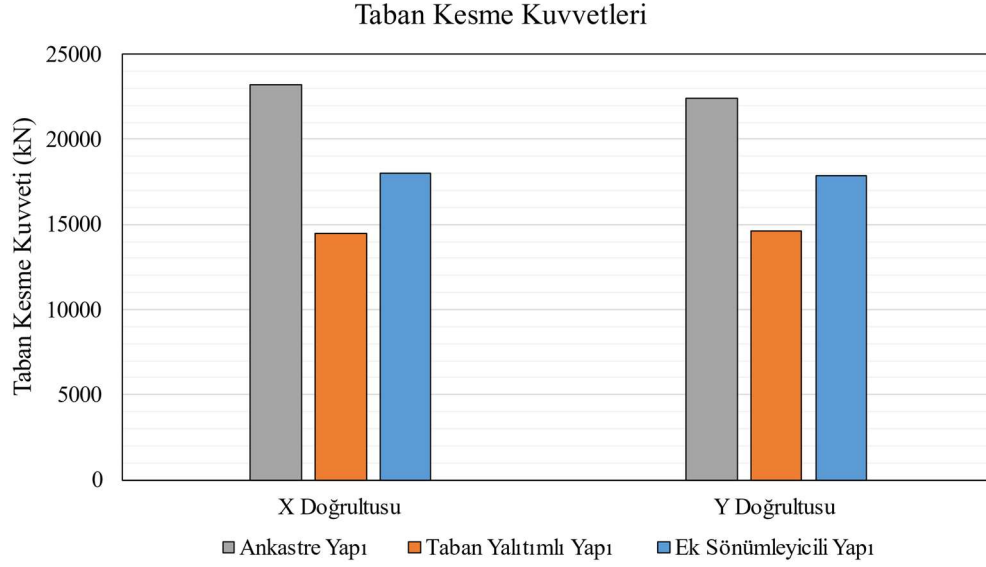
4.4.1 Taban kesme kuvvetleri

Deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapıya ait tasarıma esas taban kesme kuvvetleri değerlerinin karşılaştırılması her iki doğrultu için Çizelge 4.27’de ve Şekil 4.22’de verilmiştir. Üst bölümlerde gösterildiği üzere burada verilen sonuçlarda her iki yapı için de ZTADOA sonuçları belirleyici olmuş, yönetmeliklerde bu türden analizlerin sonuçlarının doğrusal yöntemler ile sınırlandırılmalarına ait sonuçlar etkili olmamıştır. Yine ankastre yapıya ait sonuçlar da ilgili çizelge ve şekilde yer almaktadır. Ankastre yapıya ait taban kesme kuvvetlerinin eldesinde TBDY bölüm 4.8.2’de yer alan Mod Birleştirme Yöntemi’nden yararlanılmıştır. Her üç yapıya ait sonuçları makul şekilde kıyaslayabilmek için ankastre yapıda taban kesme kuvveti elastik deprem yükleri için elde edilmiştir.

Çizelge 4.27 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Yapı	Taban Kesme Kuvveti	
	X doğrultusu (kN)	Y doğrultusu (kN)
Ankastre Yapı	23210 (% 26.9)	22384 (% 26.0)
Deprem Yalıtımlı yapı	14487 (%16.8)	14613 (%17.0)
Ek Sönümleyicili Yapı	18011 (% 20.9)	17833 (%20.7)

Çizelge 4.27 ve Şekil 4.22 incelendiğinde deprem yalıtımı ve ek sönümleme sistemlerinin geleneksel taşıyıcı sistemlere kıyasla taban kesme kuvvetleri açısından önemli azalmalar sağladığı görülmektedir. Ankastre yapı ile kıyaslandığında deprem yalıtımlı yapıda yaklaşık %36 oranında taban kesme kuvveti değeri azalmıştır. Benzer şekilde ek sönümleyicili yapıdaki taban kesme kuvveti değeri ise %21 oranında azalmıştır.



Şekil 4.22 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

4.4.2 Kat kesme kuvvetleri

Deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapıya ait tasarıma esas taban kesme kuvvetleri değerlerinin karşılaştırılması her iki doğrultu için Çizelge 4.27’de ve Şekil 4.22’de verilmişti. Üst bölümde gösterildiği üzere, burada verilen sonuçlarda her iki yapı için de ZTADOA sonuçları belirleyici olmuş, yönetmeliklerde bu türden analizlerin sonuçlarının doğrusal yöntemler ile sınırlandırılmalarına ait sonuçlar etkili olmamıştır. Yine ankastre yapıya ait sonuçlar da ilgili çizelge ve şekilde yer almaktadır. Ankastre yapıya ait taban kesme kuvvetlerinin eldesinde TBDY bölüm 4.8.2’de yer alan Mod Birleştirme Yöntemi’nden yararlanılmıştır. Her üç yapıya ait sonuçları makul şekilde kıyaslayabilmek için ankastre yapıda taban kesme kuvveti elastik deprem yükleri için elde edilmiştir.

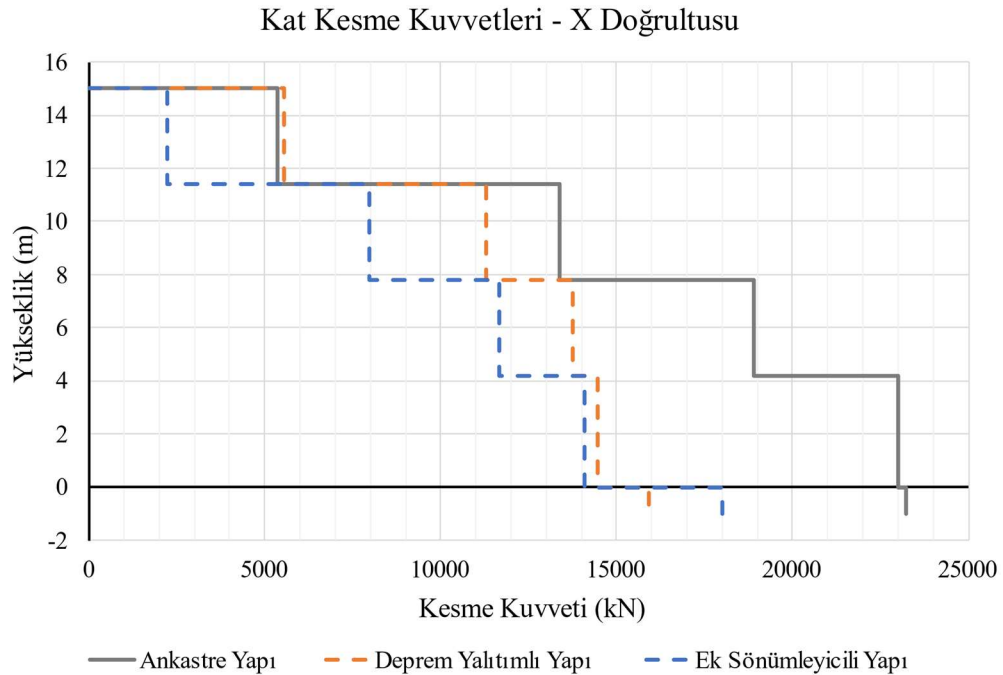
Ankastre yapı, deprem yalıtımlı yapı ve ek sönümleyicili yapıya ait kat kesme kuvvetlerinin yapı yüksekliği boyunca dağılımının karşılaştırılması her iki doğrultu için Çizelge 4.28’de yer almaktadır. Yine X ve Y doğrultularına ait kat kesme kuvvetlerinin dağılımlarına ait karşılaştırmalar sırasıyla Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’te verilmiştir.

Burada ankastre yapı için kat kesme kuvvetleri uygun şekilde Mod Birleştirme Yöntemi’nden elde edilen değerlerin TBDY 4.8.4.1 maddesinde açıklanan eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı β_{IE} ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Burada deprem yalıtımlı yapıya ait sonuçlar tasarıma esas olan iç kuvvetlerde belirleyici olan

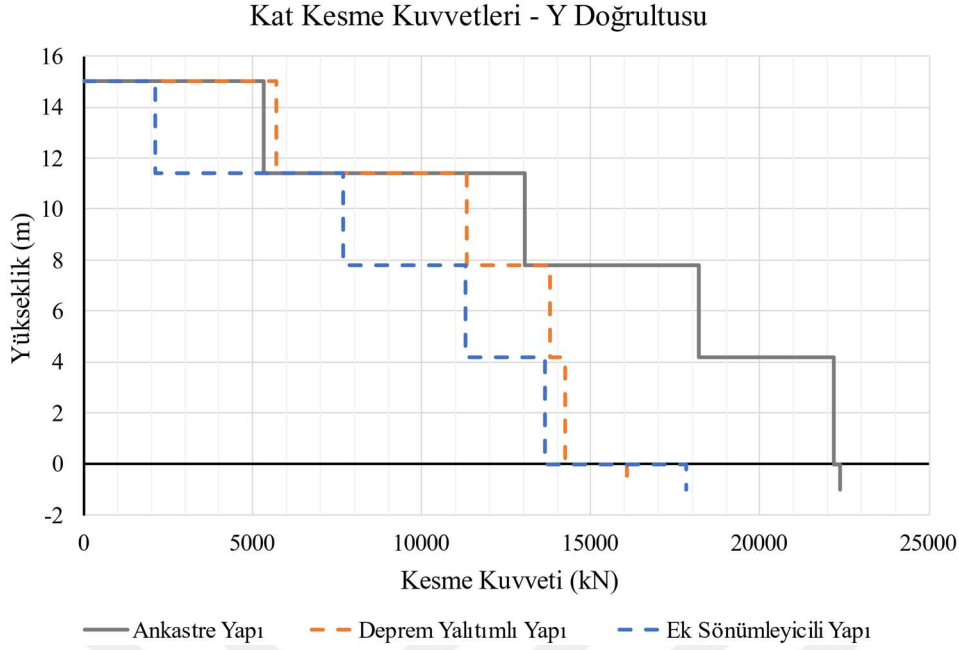
ve üst bölümde daha elverişsiz sonuçlar verdiği görülen ZTADOA sonuçlarıdır. Benzer şekilde ek sönümleyicili yapıya ait sonuçlar da ZTADOA'lerden elde edilen ve üst bölümde özetlenen değerlerdir. Burada makul bir kıyaslama yapabilmek amacıyla her üç yapıda da ek dışmerkezlilik etkisini içeren sonuçlar kullanılmıştır. Deprem yalıtımlı yapıya ait kat kesme kuvvetleri ilgili bölümde kat kesme kuvvetleri için elde edilen 1.10 kuvvet artırma katsayısı ile artırılmış değerlerdir. Ek sönümleyicili yapıda ise ek dışmerkezliliğin talepleri artırıcı bir etkiye sahip olmadığı görüldüğünden temel durumda elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Ankastre temelli yapı için ise ek dışmerkezlilik etkisi TBDY 4.5.10'a uygun olarak kat kütle merkezine etkiyen yatay deprem yüklerinin göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılarak etki ettirilmesi yöntemi ile her iki doğrultu için ayrı ayrı modellenmiştir.

Çizelge 4.28 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait kat kesme kuvveti dağılımlarının karşılaştırılması.

Kat	Kat Kesme Kuvveti (kN)					
	Ankastre Yapı		Deprem Yalıtımlı Yapı		Ek Sönümleyicili Yapı	
	X	Y	X	Y	X	Y
4. Kat	5352	5343	5541	5688	2214	2112
3. Kat	13397	13064	11293	11339	7972	7680
2. Kat	18896	18202	13764	13779	11683	11288
1. Kat	22998	22169	14469	14241	14092	13639
Yalıtım Seviyesi	23210	22384	15936	16074	18011	17833



Şekil 4.23 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait kat kesme kuvveti dağılımlarının karşılaştırılması (X doğrultusu).



Şekil 4.24 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait kat kesme kuvveti dağılımlarının karşılaştırılması (Y doğrultusu).

Çizelge 4.28 ile Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'ten her ne kadar büyüklük olarak farklı değerlere sahip olsalar da kat kesme kuvveti dağılımlarının ankastre yapı ve ek sönümleyicili yapı için 1. mod şekline uygun şekilde benzer dağıldığı görülmektedir. Deprem yalıtımlı yapıda ise kat kesme kuvvetlerinin yapı yüksekliği boyunca daha üniform bir dağılım göstermektedir. Yine her ne kadar deprem yalıtımlı yapıda taban kesme kuvveti değeri ek sönümleyicili yapıya kıyasla daha düşük olsa da kat kesme kuvvetleri açısından ek sönümleyicili yapı daha olumlu sonuçlar vermiştir. Deprem yalıtımlı yapı ile ek sönümleyicili yapıya ait kat kesme kuvvetlerinin birbirine en yakın değerler aldığı durum yaklaşık %5 fark ile yapı en alt katında; en uzak değerler aldığı durum ise %40 fark ile yapı en üst katındadır. Ayrıca modellenen yapı için en üst katta kat kesme kuvveti açısından deprem yalıtımının etkisinin göz ardı edilebilir düzeyde olduğu, özellikle Y doğrultusunda ise talebin %5 oranında arttığı görülmektedir.

4.4.3 Göreli kat ötelemeleri

Tezde ele alınan iki farklı türden pasif kontrol sisteminin göreli kat ötelemeleri açısından yapıda oluşturduğu değişikliklerin her iki doğrultu için karşılaştırılması Çizelge 4.29'da yer almaktadır. Yine Şekil 4.25'te X doğrultusu, Şekil 4.26'da ise Y doğrultusu için her üç yapıya ait göreli kat ötelemelerinin birbirleri ve sınır değerler ile kıyaslaması gösterilmektedir. Burada ankastre yapı ile deprem yalıtımlı yapıda

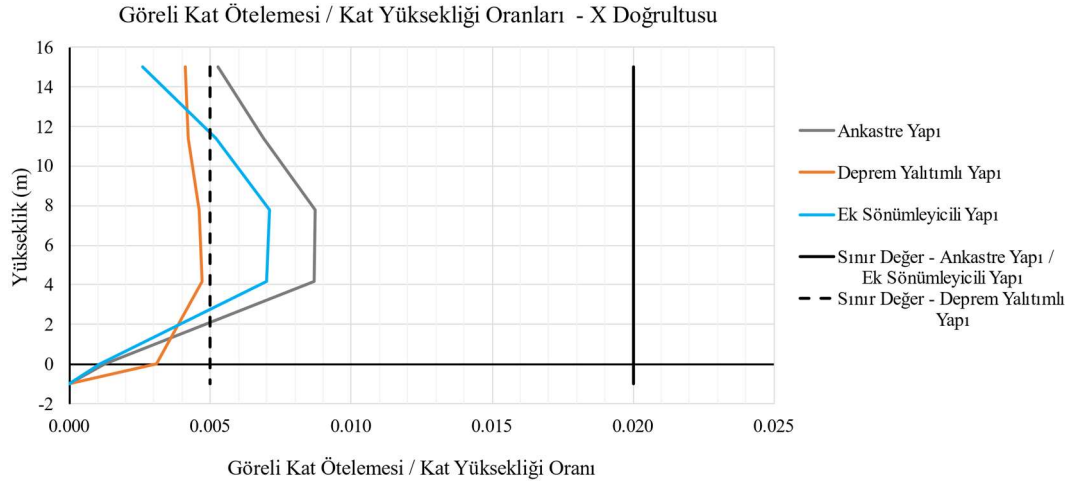
yalnızca birer sınır değeri bulunmakta ve bu değeri göreli kat ötelemesi/kat yüksekliği oranı cinsinden ankastre yapı için %2, deprem yalıtımlı yapı için ise %5'tir. Ek sönümleyicili yapıda ise üst bölümde bahsedildiği üzere iki farklı sınır bulunmaktadır fakat burada aynı deprem düzeyi için kıyaslama yapmak tutarlı olduğundan yalnızca DD-2 depremi için TBDY tarafından verilen sınır değeri olan %2 değeri şekillerde gösterilmiştir.

Ankastre yapıya ait göreli kat ötelemeleri üst bölümde kat kesme kuvveti sonuçlarına yer verilen modelden elde edilmiştir ve TBDY bölüm 4.5.10'a uygun biçimde ek dışmerkezlilik etkisi göz önüne alınmıştır. Deprem yalıtımlı yapıya ait sonuçlar yine ilgili bölümde verildiği üzere temel duruma ait değerlerin göreli kat ötelemesi artırma katsayısı 1.34 ile çarpılması ile elde edilen nihai değerlerdir. Aynı yaklaşımın kullanıldığı ek sönümleyicili yapıya ait değerler ise 1.20 katsayısı ile temel duruma ait değerlerin çarpılmasıyla elde edilmiştir. Burada temel durum ZTADOA sonucu elde edilen göreli kat ötelemeleri değerlerini ifade etmektedir. Göreli kat ötelemelerinin her yapı özelinde incelendiği üst bölümler ile uyumlu biçimde bu bölümde yer alan tüm kıyaslamalar da maksimum göreli kat ötelemesi/kat yüksekliği sonuçları üzerinden gerçekleştirilmiştir.

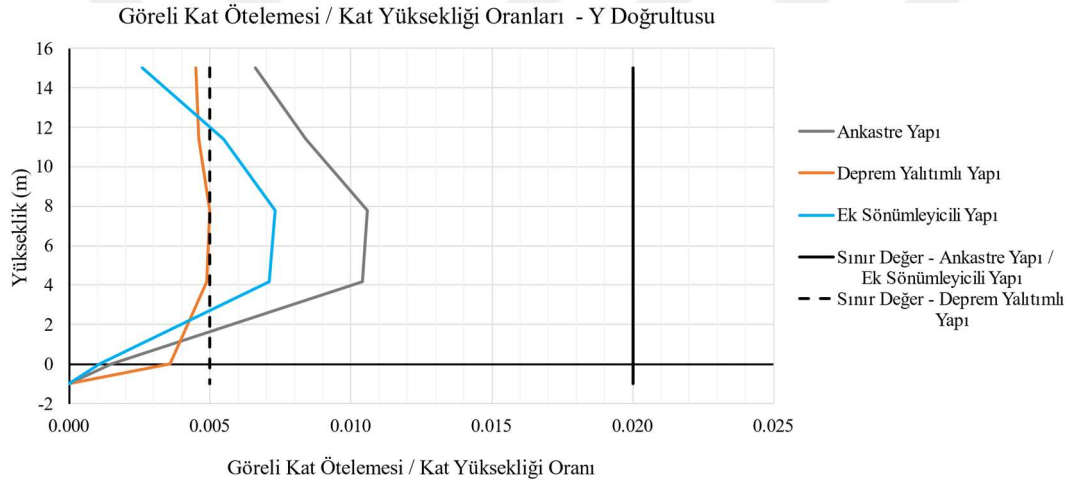
Çizelge 4.29 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait göreli kat ötelemesi/kat yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması.

Kat	Göreli Kat Ötelemesi / Kat Yüksekliği					
	Ankastre Yapı		Deprem Yalıtımlı Yapı		Ek Sönümleyicili Yapı	
	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$	$\Delta_{i,max}^X/h_i$	$\Delta_{i,max}^Y/h_i$
4. Kat	0.0053	0.0066	0.0041	0.0045	0.0026	0.0026
3. Kat	0.0069	0.0084	0.0042	0.0046	0.0052	0.0055
2. Kat	0.0087	0.0106	0.0046	0.0050	0.0071	0.0073
1. Kat	0.0087	0.0104	0.0047	0.0049	0.0070	0.0071
Yalıtım Katı	0.0013	0.0015	0.0031	0.0036	0.0011	0.0011

Sonuçların karşılaştırılmasından görüleceği yapıya hem deprem yalıtımı hem de ek sönümleme sistemlerinin ayrı ayrı eklenmesi durumlarında göreli kat ötelemesi değerleri önemli ölçüde azalmaktadır. Özellikle deprem yalıtımı sistemi, göreli kat ötelemelerinin en yüksek değerlere ulaştığı 2. katta %50 mertebelerinde bir azalış sağlamıştır.



Şekil 4.25 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği değerlerinin birbirleri ve sınır değerler ile karşılaştırılması (X doğrultusu).



Şekil 4.26 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapılara ait görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği değerlerinin birbirleri ve sınır değerler ile karşılaştırılması (Y doğrultusu).

Ek sönümleyicili yapıda ise üst bölümde kat kesme kuvvetlerinin dağılımındaki benzerliğe uygun şekilde ankastre yapı ile görelî kat ötelemelerinin dağılımı benzerlik göstermektedir. Yine en yüksek görelî kat ötelemesi değerlerine sahip olan 2. katta ankastre yapı ile ek sönümleyicili yapı arasında X doğrultusunda %18; Y doğrultusunda ise %32 oranında görelî kat ötelemesi farkı olduğu görülmektedir. Ayrıca ek sönümleyicili yapı görelî kat ötelemeleri açısından deprem yalıtımlı yapıya kıyasla 1. kat ve 4. katta daha iyi performans göstermektedir.

4.4.4 Kat ivmeleri

Aynı taşıyıcı sisteme sahip yapıya sırasıyla deprem yalıtımı ve ek sönümleme sistemlerinin eklenmesinin yapının güçlü yer hareketi esnasında maruz kaldığı

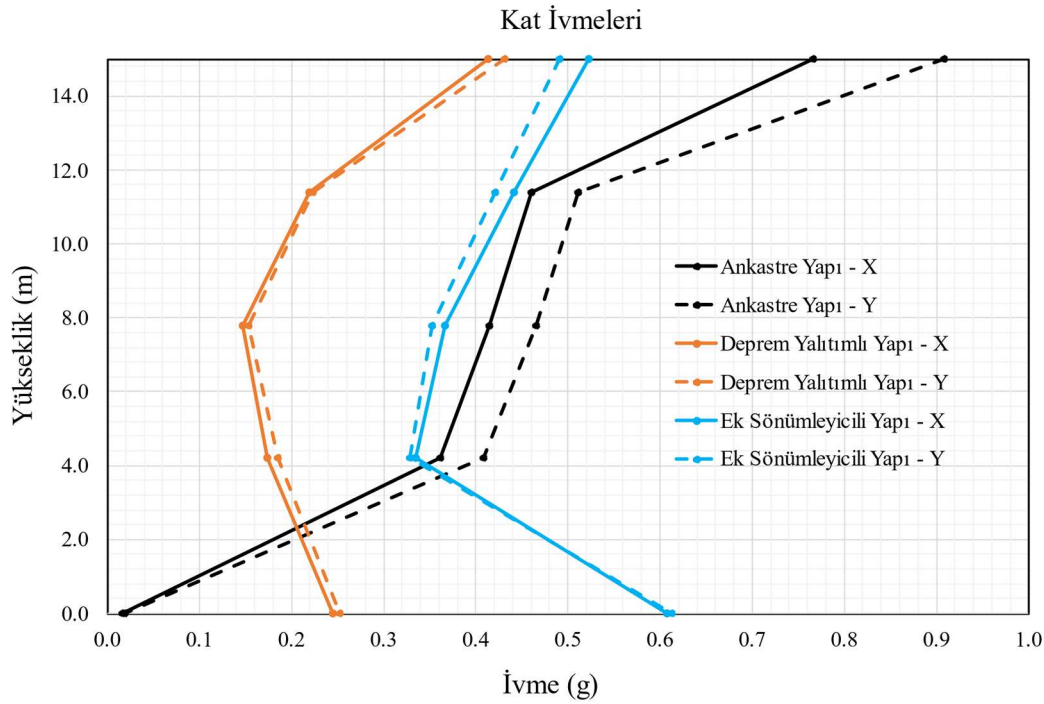
ivmelerde yol açtığı değişiklikliklerini karşılaştırılması bu bölümde incelenmiştir. Etkileri üst bölümlerde tekil olarak incelenen bu sistemlerin ankastre yapı ile kıyaslanabilmesi için ankastre yapıda deprem esnasında oluşan ivmeler üst bölümde gerçekleştirilen Mod Birleştirme Yöntemi'ne ait analizden elde edilmiştir. Her üç tür yapıya ait kat ivmeleri sonuçları Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31'de yer almaktadır. Deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili olarak ayrı ayrı modellenen yapıya ait sonuçlar ilgili bölümlerden alınmış zaman tanım alanında analizlere ait sonuçlardır. Yine Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31'de her iki doğrultu için verilen sonuçlar Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de gösterilmektedir. Üstyapı taşıyıcı sistemi ve deprem yalıtım sistemi ile ek sönümleme sistemi simetrik olduğundan her iki doğrultu arasındaki ivme farkları ortalama olarak %3'ü geçmemektedir. Ayrıca ankastre yapıda böyle bir durum söz konusu olmasa da hem deprem yalıtımlı hem de ek sönümleyicili yapıda bu sistemlere ait birimlerin alt sınır ve üst sınırları bulunduğu (sınır analizi gerçekleştirildiğinden) her iki sınıra ait sonuçlar incelenmiştir. Şekil 4.27'de deprem yalıtımı ve ek sönümleme birimlerine ait parametrelerin alt sınırları ile gerçekleştirilmiş analizlerin sonuçlarına; Şekil 4.28'de ise aynı birimlerin üst sınırları ile gerçekleştirilmiş analizlerin sonuçlarına yer verilmiştir. Bu iki sonuç incelenirken ilgili birimlerin deprem esnasında sınır değerlerden daha çok nominal değerlerine yakın davranışlar göstermesinin beklenildiğini ve bu iki sınırın ortalamasının göz önünde tutulmasının makul bir yaklaşım olduğunu göz önünde bulundurmak faydalıdır. Yine örneğin deprem yalıtımlı yapı için TBDY 14.3.10'da belirtildiği üzere kat ivmelerinin belirlenmesinde nominal değerlerin kullanılmasına izin verilmektedir. Sonuçların incelenmesinde ankastre yapıda Z doğrultusunda herhangi bir analiz yapılmadığından bu doğrultudaki sonuçlara; herhangi bir zaman tanım alanında analiz yapılmadığından da temel düzeyindeki sonuçlara yer verilmemiştir.

Çizelge 4.30 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapılara ait kat ivmelerinin karşılaştırılması (Alt sınır).

Kat	İvme					
	Ankastre Yapı		Deprem Yalıtımlı Yapı		Ek Sönümleyicili Yapı	
	X (g)	Y (g)	X (g)	Y (g)	X (g)	Y (g)
4	0.766	0.908	0.414	0.431	0.523	0.491
3	0.460	0.511	0.219	0.223	0.441	0.421
2	0.415	0.466	0.147	0.154	0.366	0.352
1	0.361	0.409	0.174	0.185	0.335	0.328
Yalıtım Katı	0.016	0.019	0.245	0.252	0.607	0.613

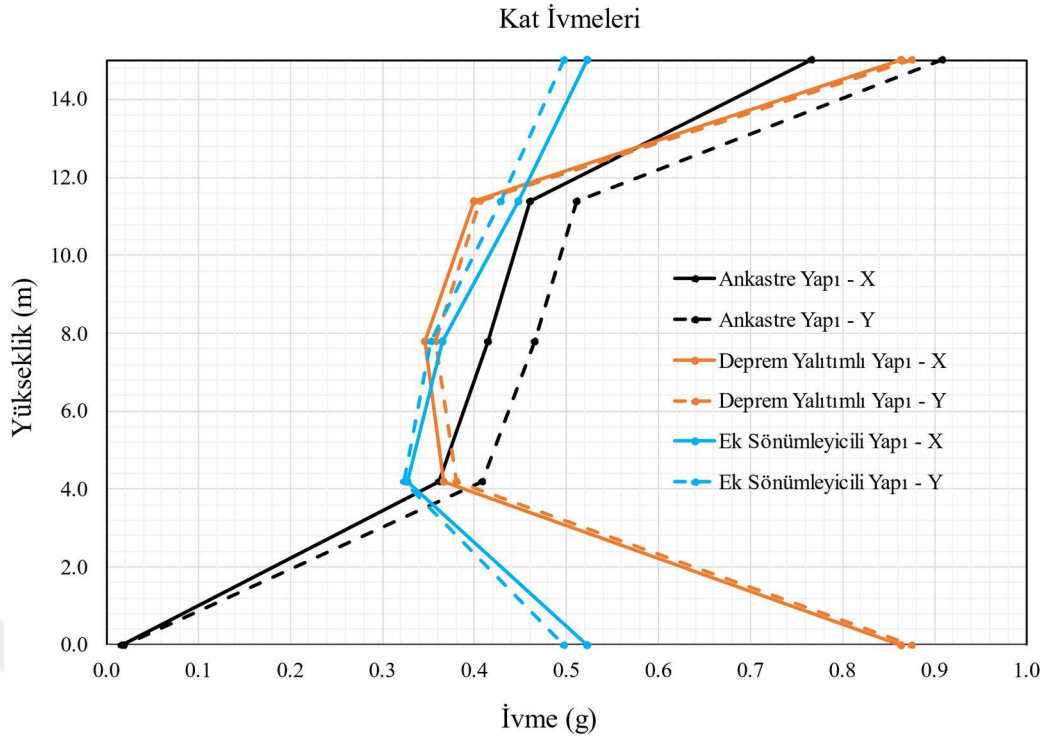
Çizelge 4.31 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapılara ait kat ivmelerinin karşılaştırılması (Üst sınır).

Kat	İvme					
	Ankastre Yapı		Deprem Yalıtımlı Yapı		Ek Sönümleyicili Yapı	
	X (g)	Y (g)	X (g)	Y (g)	X (g)	Y (g)
4	0.766	0.908	0.864	0.875	0.523	0.497
3	0.460	0.511	0.400	0.406	0.448	0.429
2	0.415	0.466	0.346	0.358	0.365	0.352
1	0.361	0.409	0.366	0.381	0.327	0.324
Yalıtım Katı	0.766	0.908	0.864	0.875	0.523	0.497



Şekil 4.27 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapılara ait kat ivmelerinin karşılaştırılması (Alt sınır).

Çizelge ve şekiller incelendiğinde her iki sınır durumunda da her iki tür pasif kontrol sisteminin yapıda deprem esnasında oluşması beklenen ivmeler açısından performansı artırdığı görülmektedir. Bu performans artışı ek sönümleyicili yapıda görece 4. kat dışında yüksek olmamakla beraber deprem yalıtımlı yapıda genel olarak çok daha yüksektir. Her ne kadar ek sönümleme sistemi için alt sınır ve üst sınır analiz sonuçlarında belirgin bir farklılık görülme de deprem yalıtımlı yapıda sınır değerlerinin yüksek farklı nedeniyle ivmelerin azaltılmasından büyük farklılıklar görülmektedir. Burada üst sınıra ait sonuçlardan elde edilen ortalama %55’lik kat ivmesi azalışına karşın alt sınıra ait sonuçlardan elde edilen ortalama kat ivmesi azalışı %8 mertebelerindedir. Bu değerler ek sönümleyici yapıda ise her iki sınır durum için de %20 mertebelerindedir.



Şekil 4.28 : Ankastre, deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapılara ait kat ivmelerinin karşılaştırılması (Üst sınır).

Deprem yalıtımlı yapıda en yüksek ivme azalışının görüldüğü kat 2. kat olup azalma değeri %65'tir. Ek sönümleyicili yapıda en yüksek ivme azalışının görüldüğü kat yine 2. kat olup azalma değeri %16'dır. Yine alt sınır analizi sonuçlarının yer aldığı Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31 ile Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'den anlaşılabileceği üzere deprem yalıtımlı yapıda elde edilen kat ivmesi değerlerinin ek sönümleyicili yapıda elde edilen kat ivmesi değerlerine oranı X doğrultusunda ortalama olarak %45, Y doğrultusunda ise %40 olarak elde edilmiştir. Son olarak yapıda en alt kısımda bulunan yalıtım katında temel amacı P-Δ etkilerine karşı güçlü bir arayüz oluşturmak olan rijit bir kat düzenlemenin, beklendiği üzere bu doğrudan kullanıma kapalı katta (non-occupied crawlspace) ivmelerin artışına neden olduğu görülmektedir. Veri depolama aygıtları ve elektronik bileşenler türünden ivme hassas cihazların yaygın olarak yoğun bulunduğu giriş kat seviyesinde ise, deprem yalıtımlı yapıda ivmelerin büyük oranda azaltıldığı ve bu sayede aletlerin depremin zararlı etkilerine karşı korunabileceği, depremin hemen sonrasında ise işlevini kesintisiz sürdürebileceği söylenebilir.

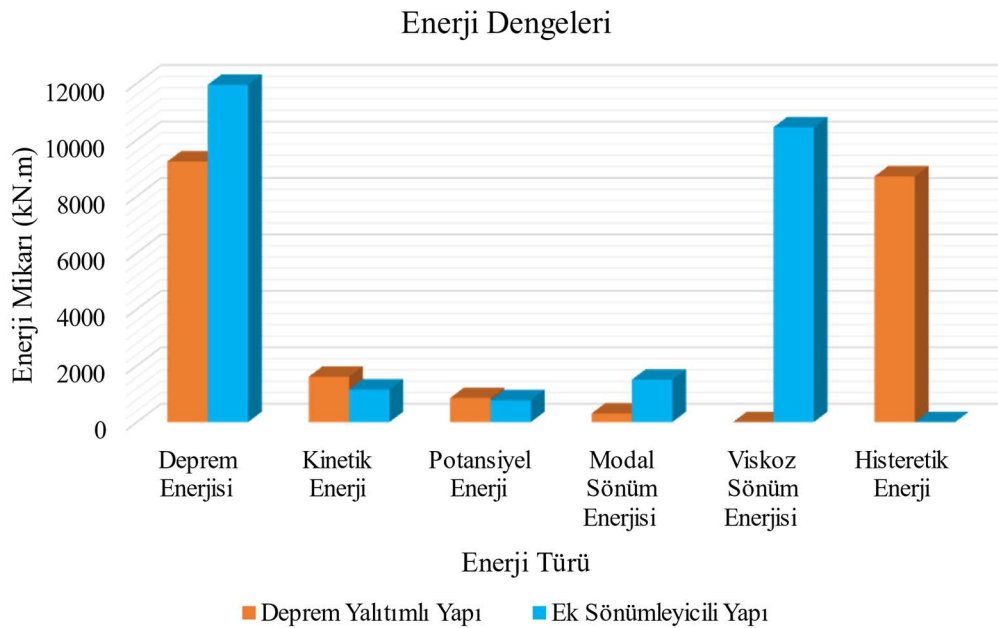
4.4.5 Enerji dengeleri

Deprem yalıtımlı yapıya ve ek sönümleyicili yapıya ait sonuçların tekil olarak incelenmesine paralel olarak iki yapının karşılaştırılmasına aşağıda yer verilmiştir.

Burada diğer genel yapı parametrelerinin kıyaslanmasından farklı olarak ankastre yapı doğrusal olmayan biçimde modellenmediğinde ve zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilmediğinden makul bir biçimde yalnızca deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapının kıyası yapılmıştır. Ankastre yapıda, yapıya aktarılan deprem enerjisinin tamamına yakınının yapı elemanları tarafından plastik şekil değiştirmeler ile hasar oluşarak sönümleneceği (içsel sönüm) bilinmektedir. Aşağıda Çizelge 4.32’de ve Şekil 4.29’da deprem yalıtımlı ve ek sönümleyici yapıların enerji dengeleri açısından karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Üst bölümlerde verilen sonuçlar ile uyumlu olarak çizelge ve şekilde yer alan değerler hem deprem yalıtımlı yapıda hem de ek sönümleyicili yapıda DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde ilgili birimlere ait parametrelerin üst sınır değerleri ile gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlardır.

Çizelge 4.32 : Deprem yalıtımlı yapı ile ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengelerinin karşılaştırılması (Üst sınır).

Yapı	Deprem Enerjisi	Kinetik Enerji	Potansiyel Enerji	Modal Sönüm Enerjisi	Viskoz Sönüm Enerjisi	Histeretik Enerji
Deprem Yalıtımlı Yapı	9230	1607	852	304	0	8701
Ek Sönümleyicili Yapı	11948	1153	772	1505	10442	0



Şekil 4.29 : Deprem yalıtımlı yapı ile ek sönümleyicili yapıya ait enerji dengelerinin karşılaştırılması (Üst sınır).

Çizelge 4.32 ve Şekil 4.29 incelendiğinde göze çarpan ilk sonuç deprem yalıtımlı yapının ek sönümleyicili yapıya kıyasla daha az deprem enerjisi girdisine maruz kaldığıdır. Deprem yalıtımı birimlerinin yapıya eklenmesi ile yapının doğal titreşim periyodunun artmasına bağlı olarak maruz kalınan ivmenin ve dolayısıyla sönümlenmesi gereken enerjinin azalması beklenen bir sonuçtur. Burada ek sönümleyicili yapıya kıyasla deprem yalıtımlı yapının %23 mertebelerinde daha az deprem enerjisi girdisine maruz durumdadır. Yine her iki yapının enerji tüketme mekanizmalarının öngörülen mekanizmalara uygun olduğu; deprem yalıtımlı yapının enerjiyi temel olarak deprem yalıtım birimlerinin şekil değiştirmesi ile histeretik enerji biçiminde sönümlendiği, ek sönümleyicili sistemin ise enerjiyi viskoz sönüm ile sönümlendiği görülmektedir.

Yapının temel taşıyıcı sistemi olan betonarme çerçevelerin doğrusal modellendiği göz ardı edilmeden deprem yalıtımlı yapıda histeretik enerjinin toplam enerjinin yaklaşık %90'ını, ek sönümleyicili yapıda ise viskoz sönüm enerjisinin toplam enerjinin yaklaşık %88'lik kısmını tüketmesi öngörülmektedir. Yine güncel çalışmalara ve yönetmelik kurallarına uygun biçim modellenen içsel sönümün (yapısal elemanlarda ve yapısal olmayan elemanlarda hasarın kaynağı) de ek sönümleyicili yapıda daha yüksek bir değer alması makul bir sonuçtur. Ankastre yapıya kıyasla deprem yalıtımlı yapı ile ek sönümleyicili yapıda enerjinin büyük çoğunluğu ilgili sistemler tarafından sönümlenerek taşıyıcı sistem elemanları ve yapısal olmayan elemanlarda bu sistemlerin kullanılmadığı durumlarda oluşabilecek hasar önlenecektir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde yapı pasif kontrol sistemlerinden deprem yalıtımı ve ek sönümleyici sistemlerin yapı performansında oluşturduğu değişiklikler ve performans iyileşmeleri karşılaştırmalı olarak yapı genel parametreleri üzerinden incelenmiştir. Geleneksel taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve olarak belirlenen düzenli ve simetrik bir konfigürasyona sahip olan yapı deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili olarak iki farklı şekilde modellenmiştir. Deprem yalıtım birimleri kurşun çekirdekli elastomer olarak, ek sönümleyici birimleri ise sıvı viskoz sönümleyiciler olarak seçilmiştir. Deprem yalıtımlı yapı TBDY'e ve ASCE/SEI 7-22'ye uygun olarak tasarlanmıştır. Ek sönümleyicili yapı ise ASCE/SEI 7-22'ye uygun olarak tasarlanmıştır. Yapıların analizinde 400'e yakın Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz (ZTADOA) gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan 11 deprem kaydı takımı yine TBDY'de verilen kurallara uygun olarak seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. Her iki tür sistem için de sınır analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapıların analizlerinde ek dışmerkezlilik etkisi ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Her iki yapıya ait analiz sonuçları elde edilmiş ve iki yapı taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat ivmeleri ve enerji dengeleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Sunulan sonuçlar tezde ele alınan yapı ile benzerlik gösteren (az katlı, düzenli ve simetrik bir konfigürasyona sahip) belirli bir grup yapı için bir araştırma niteliğindedir ve sonuçların tüm yapılar için genellenmesi ileri araştırmalara bağlıdır. Elde edilen sonuçlar farklı türden yapılarda önemli değişkenlik gösterebilir. Takip eden alt bölümlerde bu sonuçlar özetlenmiş ve sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

5.1 Sonuçlar

Deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili olarak tasarlanan yapının analiz sonuçlarının birbirleriyle ve ankastre yapı ile karşılaştırılarak değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Yine uygun durumlarda sonuçlar tezde kullanılan iki standart için de karşılaştırılmıştır.

- Deprem yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetleri ZTADOA, TBDY Etkin Deprem Yüğü Yöntemi ve ASCE/SEI 7-22 Eşdeğer Yanal Kuvvet Prosedürü ile 3 farklı şekilde elde edilerek karşılaştırılmıştır. Burada ASCE/SEI 7-22 Eşdeğer Yanal Kuvvet Prosedürü'nün ZTADOA sonuçlarına daha yakın değerler verdiği görülmüştür. Üstyapı tasarımında esas alınan DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde deprem yalıtım birimlerinin ait parametrelerin üst sınır değerleri ile gerçekleştirilen analizler göz önüne alındığında ZTADOA ile ASCE/SEI 7-22 sonuçları arasındaki farkın yalnızca %2 mertebelerinde olduğu görülürken; ZTADOA ile TBDY sonuçları arasındaki farkın %25'lere ulaşabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Yine TBDY'ye göre elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinin incelenen tüm durumlar için en düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.
- Deprem yalıtımlı yapıda ZTADOA sonucu elde edilen kat kesme kuvveti değerlerinin yapı yüksekliği boyunca dağılımının taban kesme kuvvetlerine benzer şekilde TBDY'ye kıyasla ASCE/SEI 7-22'ye daha yakın olduğu görülmüştür. Örneğin yalıtım seviyesinde TBDY için %25, ASCE/SEI 7-22 için %2 mertebelerinde görülen bu fark; yapı en üst katında %80 ve %7 mertebelerindedir. Ek dışmerkezlik etkilerinin %10 mertebelerinde kat kesme kuvvetlerinde artışa neden olabileceği belirlenmiştir.
- Tezde ele alınan deprem tasarım sınıfına sahip deprem yalıtımlı yapıda üstyapı boyulandırmasını belirleyici koşul görelî kat ötelemeleri olmuştur. Yine burada ek dışmerkezlik etkisinin %34 oranında görelî kat ötelemelerini artırabileceği görülmüştür.
- Ek sönümleyicili yapıda taban kesme kuvveti değerleri açısından ZTADOA sonuçları ile ASCE/SEI 7-22 tarafından izin verilen minimum taban kesme kuvveti değeri sonuçlarının birbirlerine yakın elde edildikleri ve DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde aradaki farkın %3.5; DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde ise %18.5 seviyelerinde olduğu görülmüştür. Her iki deprem yer hareketi düzeyinde de ZTADOA sonuçları daha yüksek olarak elde edilmiştir.
- Kat kesme kuvvetlerinin bina yüksekliğince dağılımı ek sönümleyicili yapıda TBDY'de verilen dağılıma benzer bulunmuştur. Ek dışmerkezlik etkisinin kat kesme kuvvetlerini artırmaktan çok bazı durumlarda %3 seviyelerinde

azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumlarda güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla dışmezkezlilik içermeyen sonuçları nihai tasarımıda esas almak gerekmektedir.

- Ek sönümleyicili yapıda görelili kat ötelemelerinin kontrolü ve karşılaştırılması TBDY’de standart yapılar için verilen şekilde DD-2 deprem yer hareketi seviyesinde yapılmıştır. Aynı kontrol yine ASCE/SEI 7-22’ye uygun şekilde DD-1 deprem yer hareketi seviyesinde de gerçekleştirilmiştir. Buna göre ek sönümleyicili yapılar için standart yapılardan farklı sınır değerler belirleyen ASCE/SEI 7-22 koşullarının TBDY’ye kıyasla daha kısıtlayıcı olduğu ilgili yapıda görülmüştür. Ek sönümleyicili yapıda elde edilen görelili kat ötelemelerinin sınır değerlere oranı TBDY için %40, ASCE/SEI 7-22 için ise %48 mertebelerindedir. Yine ek dışmerkezlik etkisinin %20’ye ulaşan mertebelerde görelili kat ötelemelerini artırıcı etkisi olabildiği ortaya konulmuştur.
- Aynı üstyapıya sahip deprem yalıtımlı yapıda, ankastre yapıya kıyasla taban kesme kuvveti değerli %36 oranında önemli bir azalma göstermiştir. Ek sönümleyicili yapıda ise taban kesme kuvveti oranı %21 mertebelerinde azalmıştır. Bu durumda deprem yalıtımlı yapıdaki taban kesme kuvveti azalışının ek sönümleyicili yapıdaki taban kesme kuvveti azalışına oranı 1.7 kattır.
- Ek sönümleyicili yapı ile ankastre yapı, kat kesme kuvvetlerinin yayılışı bakımından benzerlik göstermekte ve kat kesme kuvvetleri yapı yüksekliği boyunca 1. moda uygun biçimde ters üçgen biçiminde yayılmaktadır. Deprem yalıtımlı yapıda ise kat kesme kuvvetleri daha üniform bir dağılıma sahiptir. Deprem yalıtımlı yapı ile ek sönümleyicili yapının kat kesme kuvvetleri açısından birbirine en yakın değerler aldığı durum %5 fark ile yapı en alt katında; en uzak değerler aldığı durum ise %40 fark ile yapı en st katındadır. Yine deprem yalıtımlı yapıda taban kesme kuvveti değerli ek sönümleyicili yapıya kıyasla daha az elde edilmiş olmasına rağmen kat kesme kuvvetleri ek sönümleyicili yapıda daha düşük elde edilmiştir.
- Hem deprem yalıtımlı yapı hem de ek sönümleyicili yapıda görelili kat ötelemesi değerlerinin ankastre yapıya kıyasla önemli ölçüde azalığı görülmüştür.

Özellikle deprem yalıtım sistemi, görelî kat ötelemelerinin en yüksek değerlerine ulaştığı katta %50 mertebelerinde bir azalış sağlamıştır. Ek sönümleyicili yapıda ise kat kesme kuvvetlerinin dağılımındaki benzerliğe uygun şekilde ankastre yapı ile benzer dağılıma fakat daha düşük değere sahip bir dağılım görülmüştür. Burada en yüksek görelî kat ötelemesi sonuçlarına sahip olan 2. kat için ankastre yapı ile ek sönümleyicili yapı arasında X doğrultusunda %18; Y doğrultusunda ise %32 oranında görelî kat ötelemesi farkı elde edilmiştir. Yine ek sönümleyici yapı, en üst ve en alt katlarda görelî kat ötelemeleri açısından deprem yalıtımlı yapıya kıyasla daha iyi performans göstermiştir.

- Her iki yapı da deprem esnasında yapıda oluşması beklenen kat ivmeleri açısından ankastre yapıya kıyasla daha iyi performans göstermektedir. Bu performans artışı ek sönümleyicili yapıda görece en üst kat dışında düşük düzeyde olsa da deprem yalıtımlı yapıda çok daha yüksektir. Ek sönümleyicili yapıda ivme azalışı her iki sınır durum için de tüm katlara ait ortalamalar göz önüne alındığında %20 mertebelerinde iken deprem yalıtımlı yapıda üst sınır analizinde %55; alt sınır analizinde ise %8 mertebelerindedir. Yine her iki pasif kontrol sistemi karşılaştırıldığında deprem yalıtımlı yapıda elde edilen kat ivmesi değerlerinin ek sönümleyicili yapıda elde edilen kat ivmesi değerlerine oranı X doğrultusunda %45, Y doğrultusunda ise %40 mertebelerindedir.
- Enerji dengeleri açısından çıkarılan temel sonuç deprem yalıtımlı yapının ek sönümleyicili yapıya kıyasla beklenildiği üzere daha az deprem enerji girdisine maruz kaldığıdır. Deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili yapı arasındaki bu enerji girdisi farkı %23 dolaylarındadır. Yapının temel taşıyıcı sistemi olan betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışının modellenmediği göz ardı edilmeden deprem yalıtımlı yapıda yalıtım birimlerinin histeretik hareketinin toplam enerjinin yaklaşık %90'ını, ek sönümleyicili yapıda ise viskoz sönümün toplam enerjinin yaklaşık %88'ini tüketmesi öngörülmektedir.

Yukarıda nicel veriler üzerinden incelenen sonuçlardan elde edilen genel çıkarımlar ise aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Pasif kontrol sistemlerinin alt ve üst sınırları analiz ve tasarım sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle ilgili yönetmelikler tarafından güvenli tarafta kalmak için önerilen yüksek sınır değerlerin kullanımından mümkün oldukça kaçınmak için bu sınır değerlerin belirlenmesinde yine yönetmeliklere uygun biçimde gerçekleştirilmiş prototip veya üretim kontrol deneylerinden yararlanmak ekonomik ve makul bir yaklaşımdır.
- Yine Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler’de kullanılan deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi analiz ve tasarım sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Burada ilgili yer hareketlerinin seçimi ve ölçeklendirilmesi için yapının yer aldığı bölgeye ait yer hareketi tehlikesi konusunda deneyimli bir uzmandan yardım alma seçeneği tercih edilebilir.
- Tezde incelen türden az katlı, düzenli ve simetrik bir konfigürasyona sahip kısıtlı bir yapı grubu için TBDY bölüm 14’te verilen Etkin Deprem Yüğü Yöntemi’ne ait taban kesme kuvveti sonuçları Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizler’den elde edilen sonuçlardan kayda değer miktarda farklı elde edilmiştir. Bu nedenle daha ayrıntılı bir analiz yöntemi olan zaman tanım alanında analizin kullanımının bazı durumlarda daha güvenli tarafta sonuçlar verebildiğı (zaman tanım alanında analizlerin daha yüksek taban kesme kuvveti değeri vermesi yönüyle) çıkarımı yapılmıştır. Aynı durumun ASCE/SEI 7-22 kapsamında incelenen ek sönümleyicili yapı için de geçerli olduğu görülmüştür.
- Hız bağımlı davranış gösteren sıvı viskoz sönümleyici türünden ek sönümleyici sistemlerin tezde incelenen türden görece rijit bir üstyapıya sahip yapılarda verilen konfigürasyon için verimli olmadığı görülmüştür. Rijit yapılar için deprem esnasında elde edilen hız ve yerdeğıştirme değelerinin düşük olması bu tür sistemlerin etkinliğinin az olmasının başlıca nedenidir.
- Hem deprem yalıtımlı hem de ek sönümleyicili yapılarda ek dışmerkezlilik etkisi sonuçlar üzerinde önemli değışikliklere sahip olabilmektedir.
- Sonuç olarak az katlı, düzenli ve simetrik bir taşıyıcı sisteme sahip yapılarda; deprem yer hareketine karşı dinamik tepkilerin azaltılarak yapı performansının iyileştirilmesinde deprem yalıtımı son derece etkin bir yöntemdir. Bu tarz yapılarda ek sönümleme sistemlerinin etkinliği ise üstyapı taşıyıcı sisteminin

rijitliğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Tezde ele alınan türden görece rijit bir taşıyıcı sisteme sahip yapılarda ek sönümleme sistemlerinin etkinliği sınırlı düzeyde kalmaktadır. Bu türden sönümleme sistemlerinin görece elastik bir üstyapıya sahip yapılarda kullanımı daha verimli olacaktır.

5.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında deprem yalıtımlı ve ek sönümleyicili olarak tasarlanan iki yapının genel yapı parametreleri üzerinden karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bulunan sonuçlar bir önceki alt bölümde özetlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan yola çıkılarak gelecek çalışmalar için şu önerilerde bulunulabilir:

- Tez kapsamında yalnızca tek tür deprem yalıtım birimi ve yine tek tür ek sönümleyici birimi ele alınmıştır. Bu iki farklı pasif kontrol sisteminin tezde ele alınan türden yapılarda etkinliğinin karşılaştırılmasına ait sonuçları genelleyebilmek için farklı türde deprem yalıtım birimleri ve ek sönümleyici birimleri için analizler gerçekleştirilmeli ve davranışlar incelenmelidir.
- Yine yapıların deprem yer hareketine karşı tepkilerinin deprem yalıtımı ve ek sönümleme içermeye durumları için ayrı ayrı incelendiği tezde ele alınan bu karşılaştırmaya ek olarak bu iki sistemin beraber kullanıldığı durum da ayrı bir inceleme konusudur.
- Tezde ele alınan yapıda doğrusal olmayan modelleme deprem yalıtım sistemi ve ek sönümleme sistemi ile sınırlı tutulmuş, üstyapının doğrusal olmayan davranışı ile ilgilenilmemiştir. Yapıların performans değerlendirmelerinin ve karşılaştırmalarının daha ayrıntılı ve daha makul şekilde gerçekleştirilebilmesi için üstyapının doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınması uygun bir yaklaşımdır.
- Tez kapsamında yalnızca belirli bir gruba ait yapıların davranışlarındaki farklılıklar incelenmiştir. Farklı türden yapı yüksekliği ve/veya taşıyıcı sisteme sahip yapılarda ilgili sonuçların karşılaştırmaları incelemeye açıktır.
- İki yapının karşılaştırılması tez kapsamında üstyapı taşıyıcı sistemi sabit tutularak genel yapı parametreleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bunun yerine ekonomik ve/veya çevresel etkilerin kıyaslanması ya da bunların

optimizasyonu için üstyapının değiştirilmesi durumları ileri çalışmaların inceleme konusu olabilir.

- Deprem yalıtımlı yapılar özelinde, üstyapı ile deprem yalıtım sistemi arasındaki burulma davranışını azaltmak için yalıtım birimlerinin özel şekilde yerleştirilmeleri durumunda yapı davranışında olan değişiklikler ve diğer tür pasif kontrol sistemleri ile karşılaştırılması gerçekleştirilebilir.
- Ek sönümleyici yapılar özelinde, bu sistemlerin görece daha elastik yapılarda etkinliği gelecek çalışmalarda incelenebilir. Yine sönümleyicilerin yapı içerisinde farklı kombinasyonlarda dağılımları ya da bu cihazların yerleştirildikleri açıklıklarda farklı türden konfigüre edilmelerinin yapı davranışı üzerindeki etkileri araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- Al-Hussaini T., Zayas V. A., Constantinou M. C.** (1994). *Seismic Isolation of Multi-Story Frame Structures Using Spherical Sliding Isolation Systems*, Technical Report MCEER-94-0007, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- ASCE** (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* (ASCE/SEI 7-16).
- ASCE** (2022). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* (ASCE/SEI 7-22).
- Basu D., Constantinou M. C., Whittaker A. S.** (2014). An equivalent accidental eccentricity to account for the effects of torsional ground motion on structures, *Engineering Structures*, 69, 1-11.
- Boğaziçi Üniversitesi** (2019). İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi. İstanbul : Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Bowles, J. E.** (1997). Foundation Analysis and Design. *Chapter 9: Special Footings and Beams on Elastic Foundations* (5th ed., p. 505). Singapore : McGraw-Hill Companies, Inc.
- CERC** Canterbury Earthquakes Royal Commission Final Report, *Volume 3 Low Damage Building Technologies*. Christchurch, New Zealand : Canterbury Earthquakes Royal Commission.
- Chioccarelli E., Iervolino I.** (2012). Near-source hazard and design scenarios, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42, 603-622.
- Cheng F. Y., Jiang H., Lou K.** (2008). *Smart Structures Innovative Systems for Seismic Response Control* (1st ed.). Boca Raton, Florida : CRC Press.
- Christenson R. E.** (2001). *Semi active control of civil structures for natural hazard mitigation: analytical and experimental studies* (Doktora tezi). University of Notre Dame, USA.
- Christopoulos C., Filiatrault A.** (2006). Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation. pp. 1-190, 301-354. Pavia, Italy : IUSS Press.
- Constantinou, M. C., Mokha A. S., Reinhorn A.M.** (1990). *Experimental and Analytical Study of A Combined Sliding Disc Bearing and Helical Steel Spring Isolation System*, Technical Report MCEER-90-0019, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.

- Constantinou, M. C., Kalpakidis, I., Filiatrault, A., Ecker Lay, R. A.** (2011). *LRFD-Based Analysis and Design Procedures for Bridge Bearings and Seismic Bearings*, Technical Report MCEER-11-0004, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Constantinou, M. C., Tsepelas P., Kasalanati A., Wolff E.D.** (1999). *Property Modification Factors for Seismic Isolation Bearings*, Technical Report MCEER-99-0012, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Constantinou, M. C., Whittaker, A. S., Kalpakidis, Y., Fenz, D. M. and Warn, G. P.** (2007). *Performance of Seismic Isolation Hardware under Service and Seismic Loading*, Technical Report MCEER-07-0012, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Domenico D. De, Ricciardi G., Takewaki I.**, (2019). Design strategies of viscous dampers for seismic protection of building structures: A review, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 118, 144-165.
- Erkuş B., Yıldırım S., Güler M. D., Özer C., Sütçü F., Alhan C.** (2019). Sönümleyicili Yapıların Sismik Tasarımı, Bölüm II: Türkiye Uygulamaları için Tasarım Esasları Önerisi, 5. *International Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. Ankara, Türkiye : 8-11 Ekim.
- ETABS** (Version 21.1.0) [Building Analysis and Design Software]. Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- FEMA** (2015). *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures* (FEMA P-1050-1, 2015 ed.), Chapter 17-18. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA** (2016). *2015 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples* (FEMA P-1051), Chapter 15-16. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA** (2020). *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures* (FEMA P-2082-1), Chapter 18. Federal Emergency Management Agency.
- Fenz, D. M., Constantinou, M. C.** (2008). *Development, Implementation and Verification of Dynamic Analysis Models for Multi-Spherical Sliding Isolators*, Technical Report MCEER-08-0018, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Gentile R., Galasso C.** (2020). Accounting for directivity-induced pulse-like ground motions in building portfolio loss assessment, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 6303-6328.
- Güngör E., Yıldırım E., Demirhan K. E.** (2019). Köprülerde Kullanılan Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler İçin CE Sertifikalandırılması ve Üretim Kontrol Değerlendirilmesi, 4. *Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu*. Ankara, Türkiye : 1-2 Kasım.

- Housner G. W.** (1984). Historical View of Earthquake Engineering, *Proceedings of the 8th World Conference on Earthquake Engineering*, (pp. 764-777). San Francisco : CA, July 21-28.
- Housner G. W., Bergman L. A., Caughey T. K., Chassiakos A. G., Claus R. O., Masri S. F., Skelton R. E., Soong T. T., Spencer B. F., Yao J. T. P.** (1997). Structural Control: Past, Present, and Future, *Journal of Engineering Mechanics*, 123:9, 897-971.
- Iervolino I., Cornell C. A.** (2008). Probability of Occurrence of Velocity Pulses in Near-Source Ground Motions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98, 2262-2277.
- Ismail M.** (2018). Seismic isolation of structures, Part I: Concept, review and a recent development, *Hormigón y Acero*, 69:285, 147-161.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi** (2009). İstanbul Olası Deprem Kayıp Tahminleri. İstanbul : İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü Kurumsal Raporu.
- Kalpakidis, I. V., Constantinou, M. C.** (2008). *Effects of Heating and Load History on the Behavior of Lead-Rubber Bearings*, Technical Report MCEER-08-0027, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Kumar M.** (t.y.). *Modeling Seismic Isolators in SAP2000*, [PowerPoint slides]. Presented at University at Buffalo, The State University of New York.
- Lee, D., Constantinou, M. C.** (2015). *Quintuple Friction Pendulum Isolator Behavior, Modeling and Validation*, Technical Report MCEER-15-0007, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Lin W. H., Chopra A. K.** (2002) Earthquake response of elastic SDF systems with non-linear fluid viscous dampers, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, 31, 1623-1642.
- McVitty, W. J., Constantinou, M. C.** (2015). *Property Modification Factors for Seismic Bearings: Design Guidance for Buildings*, Technical Report MCEER-15-0005, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- McVitty, W. J., Taylor A.** (2016). *Seismically Isolated Structures* [PowerPoint slides]. 2015 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Training and Instructional Materials.
- McVitty, W. J., Taylor A.** (2016). *Structures with Supplemental Energy Dissipation Devices* [PowerPoint slides]. 2015 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Training and Instructional Materials.
- Miranda E., Mosqueda G., Retamales R., Pekcan G.** (2012). Performance of Nonstructural Components during 27 February 2010 Chile Earthquake, *Earthquake Spectra*, 28(S1), 453-471.
- NEHRP** (2015). *Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures*, FEMA P-1050.

- NIST** (2011). *Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response-History Analyses*, NIST GCR 11-917-15.
- Ocak A., Niğdeli S. M., Bekdaş G.** (2023). Pasif kontrol sistemleri. In Bekdaş G., Niğdeli S.M (Eds.), *Ayarlı kütle sönümleyicilerinin optimum ayarlanması* (pp. 1-7). İstanbul : İÜC Yayınevi.
- Pekcan, G., Mander J. B., Stuart S. C.** (1999). *Design and Retrofit Methodology for Building Structures with Supplemental Energy Dissipating Systems*, Technical Report MCEER-99-0021, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Roussis, P. C., Constantinou M. C.** (2005). *Experimental and Analytical Studies of Structures Seismically Isolated with an Uplift-Restraint Isolation System*, Technical Report MCEER-05-0001, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Roussis, P. C., Constantinou, M. C., Erdik M., Durukal E., Dicleli M.** (2002). *Assessment of Performance of Bolu Viaduct in the 1999 Duzce Earthquake in Turkey*, Technical Report MCEER-02-0001, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Saaed T. E., Nikolakopoulos G., Jonasson J-E., Hedlund H.** (2015). A state-of-the-art review of structural control systems, *Journal of Vibration and Control*, 21(5), 919-937.
- Saiful Islam A. B. M., Jameel M., Uddin M. A., Ahmad S. I.** (2011). Simplified design guidelines for seismic base isolation in multi-storey buildings for Bangladesh National Building Code (BNBC), 6(23), pp. 5467-5489.
- Sarkisian M., Lee P., Hu L., Doo C., Zayas V., Constantinou M., Bachman R.** (2012). Property Verification of Triple Pendulum™ Seismic Isolation Bearings, *20th Analysis & Computation Specialty Conference*. Chicago, Illinois : March 29-31.
- Sarlis A. A. S., Constantinou, M. C.** (2010). *Modeling Triple Friction Pendulum Bearings in Program SAP2000*, Technical Report released to the engineering community.
- Sigahar-Boyle, A. N., Constantinou, M. C.** (2004). *Scissor-Jack-Damper Energy Dissipation System*, Technical Report MCEER-04-0010, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Skolnik D., Wallace J.** (2010). A Critical Assessment of Interstory Drift Measurements, *Journal of Structural Engineering*, 136(12), 1574-1584.
- Structural Engineers Association of California** (2014). *2012 IBC SEAOC Structural/Seismic Design Manual*, Volume 5: Examples for Seismically Isolated Buildings and Buildings with Supplemental Damping, Published January 2014.

- SEAOC Seismology Committee** (2019). “When to Consider Seismic Isolation”, August 2019, *The SEAOC Blue Book: Seismic Design Recommendations*, Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA.
- Taylor Devices Inc.** (2022). *Fluid Viscous Dampers General Guidelines for Engineers Including a Brief History*.
- Tchamo J. M., Zhou Y.** (2018). Innovative and Advanced Techniques for Seismic Retrofitting, *The 15th International Symposium on Structural Engineering*. Hangzhou, China : October 24-27.
- Thompson A. C. T., Whittaker A. S., Fenves G. L., Mahin S. A.** (2000). Property Modification Factors for Elastomeric Seismic Isolation Bearings, *12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand : January 30-February 4, 1-8.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği** (2018). *T. C. Resmi Gazete*, 30364, 18 Mart 2018.
- TSE** (1997). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri* (TS 498).
- TSE** (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları* (TS 500).
- Vargas R.E., Bruneau M.** (2006). *Analytical Investigation of the Structural Fuse Concept*. Technical Report MCEER-06-0004, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Vilca-Cordova F., Quiroz L. G., Torres-Matos M.** (2017). Performance Assessment of Lead Rubber Bearing System and Triple Friction Pendulum System at Piura’s Hospital, in Peru, *16th World Conference on Earthquake*. Santiago, Chile : January 9-13.
- Warn G.P., Whittaker A.S.** (2007). *Performance Estimates for Seismically Isolated Bridges*. Technical Report MCEER-07-0024, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- Welch D.P., DeBock D.J., Canney N.E., Harris J.R.** (2022). Practical Design Procedure for Steel Moment Frames with Fluid Viscous Dampers, *2022 SEAOC Convention Proceedings*. CA, USA : August 31-September 3.
- Wolff, E. D., Ipek, C., Constantinou, M. C., Morillas, L.** (2014). Torsional Response of Seismically Isolated Structures Revisited, *Engineering Structures*, 59, 462-468.
- Yıldırım S., Güler M. D., Özer C., Sütcü F., Alhan C., Erkuş B.** (2019). Sönümleyicili Yapıların Deprem Tasarımı, Bölüm I: Uluslararası Yönetmeliklerin İncelenmesi, *5. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. Ankara, Türkiye : 8-11 Ekim.
- York, K., Ryan, K.** (2008). Distribution of Lateral Forces in Base-Isolated Buildings Considering Isolation System Nonlinearity, *Journal of Earthquake Engineering*, 12:7, 1185-1204.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ramazan Özgür İRİDERE

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek lisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2022-... Araştırma Görevlisi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.