

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ TABAN İZOLASYONLU BİNADA
İLAVE SÖNÜMLEYİCİLER İLE DAVRANIŞ İYİLEŞTİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan ŞAHİN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ercan YÜKSEL

TEMMUZ 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ TABAN İZOLASYONLU BİNADA
İLAVE SÖNÜMLEYİCİLER İLE DAVRANIŞ İYİLEŞTİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan ŞAHİN

(501221008)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ercan YÜKSEL

TEMMUZ 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**IMPROVEMENT OF THE SEISMIC BEHAVIOR OF A BASE-ISOLATED
STRUCTURE SUBJECTED TO NEAR FAULT GROUND MOTIONS
WITH ADDITIONAL DAMPING DEVICES**

M. Sc. THESIS

Batuhan ŞAHİN

(501221008)

**Department of Civil Engineering
Structural Engineering Programme**

Thesis Advisor: Prof. Dr. Ercan YÜKSEL

JULY 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501221008 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Batuhan ŞAHİN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ TABAN İZOLASYONLU BİNADA İLAVE SÖNÜMLEYİCİLER İLE DAVRANIŞ İYİLEŞTİRMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ercan YÜKSEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan ÖZKAYNAK
Beykent Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Mayıs 2025

Savunma Tarihi : 09 Temmuz 2025





Sevgili aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bana her anlamda yardımcı olan saygı değer hocam Sayın Prof. Dr. Ercan YÜKSEL ve Araş. Gör. Furkan ÇALIM hocama teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim öğretim sürecinde TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2211- Yurtiçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında aldığım burs desteğinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, benim hayatım boyunca hep yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem Fikriye ŞAHİN'e ve sevgili babam Sami ŞAHİN'e sevgilerimi iletirim.

Temmuz 2025

Batuhan ŞAHİN
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
KISALTMALAR	xv
SEMBOLLER	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tez Çalışmasının Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	3
2. TABAN İZOLASYONU, FELSEFESİ ve UYGULAMALARI	7
2.1 Taban İzolasyonlu Yapı Modeli	7
2.2 Taban İzolasyonu Felsefesi	9
2.3 Deprem Yüğü Altında Yapılardaki Enerji Dengesi	12
2.4 Yakın Fay Etkisi Altındaki Yapıların Davranışı	13
2.5 Dünya'daki Taban İzolasyonu Örnekleri	15
2.5.1 The Salt Lake city and county binası, ABD	15
2.5.2 San Francisco belediye binası, ABD	15
2.5.3 Oakland belediye binası, ABD	16
2.5.4 Oiles teknik binası, Japonya	16
2.5.5 The computer center of the Tohoku electric power, Japonya	16
2.5.6 William Clayton binası, Yeni Zelanda	17
2.5.7 Yeni Zelanda parlamento binası, Yeni Zelanda	17
2.6 Türkiye'deki Taban İzolasyonu Örnekleri	18
2.6.1 Tarabya oteli güçlendirme projesi	18
2.6.2 Atatürk havalimanı	18
2.6.3 Erzurum eğitim ve araştırma hastanesi	19
2.6.4 Başakşehir çam ve sakura şehir hastanesi	19
2.6.5 Kartal Lutfi Kırdar eğitim ve araştırma hastanesi	20
2.6.6 Kocaeli Üniversitesi hastanesi	20
2.6.7 Tekirdağ Fehmi Cumalıoğlu şehir hastanesi	20
3. TABAN İZOLASYONU YALITIM BİRİMİ TÜRLERİ	21
3.1 Kauçuk İzolatörler	21
3.1.1 Düşük sönümlü kauçuk izolatör – (LDRB)	22
3.1.2 Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler – (HDRB)	23
3.1.3 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB)	24
3.2 Sürtünmeli İzolatörler	25
3.2.1 Düz yüzeyli sürtünmeli izolatörler	25
3.2.2 Eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip izolatörler (FPS)	25

4. SİSMİK YALITIM BİRİMLERİNİN TASARIM ESASLARI.....	27
4.1 Sismik İzolatörlerin Tasarım Detayları	27
4.2 Kauçuk Yalıtım Birimleri için Tasarım Esasları.....	28
4.3 Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için Tasarım Esasları	33
4.4 Hesap Yöntemleri.....	34
5. TABAN İZOLASYONLU YAPI İÇİN SAYISAL UYGULAMA	37
5.1 Yapı Modeli.....	37
5.2 Tasarım Spektrumlarının Elde Edilmesi	39
5.3 Analizde Kullanılan Deprem Kayıtlarının İvme Zaman Grafikleri	43
5.4 Analizde Edilecek Yapının SAP 2000’de Modellenmesi	47
5.5 Sismik Yalıtım Birimlerinin Ön Tasarımı.....	52
5.6 Sismik Yalıtım Birimi Parametrelerinin SAP 2000’e Tanımı ve Analiz.....	57
5.7 İzolasyonlu Yapının Deprem Kayıtları Altında İncelenmesi.....	59
5.8 İzolasyonu Yapı Sistemine İlave Sönümleyicilerin Eklenmesi	66
5.9 Üst Yapının Davranışının İncelenmesi	69
5.9.1 Kat yerdeğiştirmelerinin değişimi	69
5.9.2 Kat ötelenmelerinin değişimi	70
5.9.3 Kat ivmelerinin değişimi	71
5.9.4 Taban kesme kuvvetlerinin değişimi.....	74
6. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR.....	77
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	93

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
EAFZ	: East Anatolian Fault Zone
FPS	: Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli İzolatör
HDRB	: Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör
KAF	: Kuzeydoğu Anadolu Fayı
KH	: Kontrollü Hasar Performans Hedefi
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Hedefi
LDRB	: Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatör
LRB	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör
NAFZ	: North Anatolian Fault Zone
SAP	: Structural Analyze Programe
SH	: Sınırlı Hasar Performans Hedefi
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



SEMBOLLER

A	: Elastomer yalıtım birimin brüt kesit alanı
A_L	: Elastomer katmanı kenar yüzeyi alanı
A_p	: Kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinde kurşun çekirdeğin alanı
A_r	: Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüzey alanı
b	: Yapının en uzun plan boyu d'ye dik doğrultudaki en kısa plan boyu
c_s	: Yapı sönümü
c_b	: İzolatör sönümü
B	: Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı
B_L	: Kurşun çekirdek çapı
D_M	: DD-1 yer hareketinde, yalıtım sisteminde oluşacak yerdeğiştirme
E_c	: Düşey yük altındaki anlık basınç modülü
K₁	: Elastik rijitlik
K₂	: Akma sonrası rijitlik
K_{eff}	: Efektif rijitlik
K_H	: Yatay rijitlik
K_v	: Düşey rijitlik
k_b	: Yalıtım birimi rijitliği
k_s	: Yapı rijitliği
M_w	: Moment büyüklüğü
m	: Üst yapı kütlesi
m_b	: İzolasyon katı kütlesi
P	: Düşey yük ve deprem etkisi altındaki en büyük düşey yük
P_{cr}	: Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda burkulma yükü
P'_{cr}	: Yatay yerdeğiştirme olduğu durumda burkulma yükü
PGA	: En büyük yer ivmesi [g]
PGV	: En büyük yer hızı
R_c	: Yalıtım birimi kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S₁	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_{ds}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1}	: 1.0 periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
P_{str}	: Yalıtım birimlerinin, şekil değiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi
T_D	: Yalıtımlı yapının DD-2 yer hareketinde etkin titreşim periyodu
T_M	: Yalıtımlı yapının DD-1 yer hareketinde etkin titreşim periyodu
T_p	: Yapı hâkim periyodu
T_r	: Kauçuk toplam kalınlığı
u_b	: Taban katın deplasmanı
u_g	: Zeminin yerdeğiştirmesi
u_s	: Yapının toplam yerdeğiştirmesi
W	: Binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığı
W_d	: Tüketilen enerji (kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin içinde kalan alan)
β_e	: Etkin sönüm oranı
τ_{yp}	: Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi
γ_c	: Kayma şekil yer değiştirmesi
$\gamma_{c,E}$	: Deprem etkisinde basınçtan meydana gelen birim şekil değiştirme
$\gamma_{c,st}$	: Basınçtan meydana gelen birim şekil değiştirme
$\gamma_{s,E}$	: Yatay yer değiştirmeden meydana gelen birim şekil değiştirme
$\gamma_{s, st}$	: Diğer etkilerden meydana gelen birim şekil değiştirme
$\gamma_{r,st}$	: Göreli dönmeden meydana gelen birim şekil değiştirme
μ	: Sürtünme katsayısı
Δ_s	: Yatay yüklemekten meydana gelen yatay yerdeğiştirme miktarı
θ_s	: Tasarım dönme açısı
ξ	: Etkin sönüm yüzdesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları.....	28
Çizelge 4.2 Elastomer mesnetler için alt ve üst sınır değerleri.....	29
Çizelge 4.3 Sürtünmeli izolatörler için alt ve üst sınır değerleri	33
Çizelge 5.1 Yapıya ait bilgiler	38
Çizelge 5.2 Malzeme bilgisi	38
Çizelge 5.3 Tasarım parametreleri.....	39
Çizelge 5.4 Yapı yükleri	39
Çizelge 5.5 Tasarım spektrumu parametreleri	41
Çizelge 5.6 Betonarme taşıyıcı sistem etkin keist rijitlik çarpanları	43
Çizelge 5.7 Ankastre mesnetli yapının farklı modlara ait periyotları.....	46
Çizelge 5.8 İzolatörler üzerine etkiyen düşey yükler ($G+0.3Q$).....	47
Çizelge 5.9 İzolatörler üzerine etkiyen düşey yükler ($1.4G+1.6Q$).....	48
Çizelge 5.10 İzolatörler üzerine etkiyen yükler ($1.2G+Q+Ed$)	50
Çizelge 5.11 Yalıtım birimi parametreleri (DD-2)	55
Çizelge 5.12 Yalıtım birimi parametreleri (DD-1)	55
Çizelge 5.13 İzolatörlü yapının farklı modlara ait periyotları	58
Çizelge 5.14 Uzak fay etkisi içeren deprem kayıtları	60
Çizelge 5.15 Uzak deprem kayıtları için izolatör deplasmanları	62
Çizelge 5.16 Yakın fay etkisi içeren deprem kayıtları.....	63
Çizelge 5.17 Yakın deprem kayıtları için izolatör deplasmanları.....	65
Çizelge 5.18 Yakın deprem kayıtları için damperli model izolatör deplasmanları ...	68
Çizelge 5.19 Uzak-yakın deprem kayıtları için ortalama kat yerdeğiştirmeleri	69
Çizelge 5.20 Uzak-yakın deprem kayıtları için ortalama görelî kat ötelemeleri	70
Çizelge 5.21 Uzak-yakın deprem kayıtları için ortalama kat ivmeleri	71
Çizelge 5.22 Uzak-yakın deprem kayıtları için ortalama taban kesme kuvvetleri	74



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Anadolu levhası	1
Şekil 1.2 : Anadolu levhasının hareket yönü.	2
Şekil 1.3 : TBDY 2018’e göre performans hedefleri	2
Şekil 2.1 : Ankastre ve taban izolasyonlu yapı modelinin davranışı	7
Şekil 2.2 : Sismik izolatörlü bina modeli	8
Şekil 2.3 : İzolasyonlu yapıda periyot ötelenmesi ve ivme değişimi	9
Şekil 2.4 : İzolasyonlu yapıda periyot ötelenmesi ve yerdeğiştirmenin değişimi	10
Şekil 2.5 : Farklı zeminlerde taban izolasyonu davranışı	11
Şekil 2.6 : Yapılarda deprem enerji dengesi	12
Şekil 2.7 : Uzak – yakın deprem kayıtları için hız-zaman grafikleri	13
Şekil 2.8 : Viskoz sıvı sönümleyici kesiti	14
Şekil 2.9 : The Salt Lake City and Country binası	15
Şekil 2.10 : Oakland Belediye binası mod şekilleri	16
Şekil 2.11 : Thouku elektrik güç şirketi data merkezi	17
Şekil 2.12 : William Clayton binası	17
Şekil 2.13 : Büyük Tarabya oteli	18
Şekil 2.14 : Atatürk Havalimanı çatısında kullanılan izolatör sistemi	19
Şekil 2.15 : Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi	19
Şekil 3.1 : Sismik kontrol yöntemleri	21
Şekil 3.2 : Kauçuk izolatör	22
Şekil 3.3 : Düşük sönümlü kauçuk izolatör (LDRB)	22
Şekil 3.4 : Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (LRB)	24
Şekil 3.5 : Düz yüzeyli sürtünmeli izolatör	25
Şekil 3.6 : Sarkaç sistem çalışma prensibi	26
Şekil 3.7 : Eğri yüzeyli sürtünmeli izolatör	26
Şekil 4.1 : Çift serbestlik dereceli taban izolasyon modeli	27
Şekil 4.2 : Elastomer mesnet kuvvet – yer değiştirme ilişkisi (TBDY 2018)	29
Şekil 4.3 : Elastomerik mesnet enkesit görünümü	31
Şekil 4.4 : Elastomerik mesnedin etkin alanı (TBDY 2018)	32
Şekil 4.5 : Sürtünmeli izolatöre için kuvvet-yer değiştirme ilişkisi	33
Şekil 4.6 : Dış merkezlik hesabı için total yerdeğiştirme için plan boyutları	36
Şekil 5.1 : Yapı kalıp planı	38
Şekil 5.2 : Yapının koordinatları	39
Şekil 5.3 : Yatay elastik ivme tasarım spektrumu DD-1	40
Şekil 5.4 : Yatay elastik ivme tasarım spektrumu DD-2	40
Şekil 5.5 : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu DD-1 ve DD-2	41
Şekil 5.6 : Düşey elastik ivme tasarım spektrumu DD-1	42
Şekil 5.7 : Düşey elastik ivme tasarım spektrumu DD-2	42
Şekil 5.8 : Düşey elastik tasarım ivme spektrumu DD-1 ve DD-2	43
Şekil 5.9 : Malzeme özelliklerinin tanımlanması	44
Şekil 5.10 : Sargılı beton ve çelik malzeme özellikleri	44

Şekil 5.11 : Yapının 1. modu $T= 0,781s$	45
Şekil 5.12 : Yapının 2. modu $T= 0,724s$	45
Şekil 5.13 : Yapının 3. modu $T= 0,658s$	46
Şekil 5.14 : $G+0.3Q$ kombinasyonu yük dağılımı	48
Şekil 5.15 : $1,4G+1.6Q$ kombinasyonu yük dağılımı	49
Şekil 5.16 : $1,2G+Q+Ed$ kombinasyonu yük dağılımı	50
Şekil 5.17 : Dm tasarım deplasmanının hesaplanması için iteratif akış diyagramı ...	53
Şekil 5.18 : Tasarlanan izolatöre ait alt-üst-nominal parametreler	56
Şekil 5.19 : Tasarlanan izolatöre ait teknik çizim.....	56
Şekil 5.20 : İzolatör düşey özellikleri (U_1).....	57
Şekil 5.21 : İzolatör yatay özellikleri (U_2, U_3)	57
Şekil 5.22 : Taban yalıtımlı bina için mod şekilleri.....	58
Şekil 5.23 : PEER veri tabanında uzak ve yakın deprem kayıtlarının seçimi	60
Şekil 5.24 : Uzak deprem kayıtları için ivme – zaman grafiği	61
Şekil 5.25 : Uzak deprem kayıtları için spektral ivme – zaman grafiği.....	61
Şekil 5.26 : Uzak deprem kayıtları için izolatör deplasmanları.....	62
Şekil 5.27 : Yakın deprem kayıtları için ivme – zaman grafiği	64
Şekil 5.28 : Uzak deprem kayıtları için spektral ivme – zaman grafiği.....	64
Şekil 5.29 : Yakın deprem kayıtları için izolatör deplasmanları	65
Şekil 5.30 : Viskoz sönümleyicilerin yerleşim planı	66
Şekil 5.31 : Viskoz sönümleyici damper eleman (Morgan, 2021)	67
Şekil 5.32 : Viskoz sönümleyici damperlere ait parametreler	67
Şekil 5.33 : Sönümleyici eleman link özellikleri	67
Şekil 5.34 : Yakın deprem kayıtları için damperli model izolatör deplasmanlar	68
Şekil 5.35 : Uzak – yakın deprem kayıtları için ortalama kat yer değiştirmeleri	69
Şekil 5.36 : Uzak – yakın deprem kayıtları için ortalama görel kat ötelemeleri	70
Şekil 5.37 : Uzak – yakın deprem kayıtları için ortalama kat ivmeleri	71
Şekil 5.38 : Beşinci kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi (2402 kaydı).	72
Şekil 5.39 : Birinci kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi (2402 kaydı).	72
Şekil 5.40 : Beşinci kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi (4615 kaydı).	73
Şekil 5.41 : Birinci kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi (4615 kaydı).	73
Şekil 5.42 : Uzak – yakın deprem kayıtları için ortalama taban kesme kuvvetleri ...	74
Şekil A.1 : Uzak fay deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri	82
Şekil B.1 : Yakın fay deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri	85
Şekil C.1 : Uzak – yakın deprem kayıtları için kat yer değiştirmeleri	88
Şekil D.1 : Uzak – yakın deprem kayıtları için görel kat ötelemeleri.	89
Şekil E.1 : Uzak – yakın deprem kayıtları için kat ivmeleri.....	90
Şekil F.1 : Uzak – yakın deprem kayıtları için taban kesme kuvvetleri	91

YAKIN FAY ETKİSİ ALTINDAKİ TABAN İZOLASYONLU BİNADA İLAVE SÖNÜMLEYİCİLER İLE DAVRANIŞ İYİLEŞTİRMESİ

ÖZET

Türkiye, bulunduğu coğrafi konum itibariyle sismik aktivitenin yoğun olarak yaşandığı Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almaktadır. Ülkemizde farklı tipte pek çok aktif fay hattı bulunmaktadır. Bunlar arasında Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF) ve Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) en kritik olanlarıdır. Geçmişten günümüze bu fay hatlarında çok fazla deprem meydana gelmiştir. Doğrultu atımlı karaktere sahip bu aktif fay hatları, normal ve ters atımlı faylara kıyasla daha fazla enerji biriktirebildiklerinden dolayı, bu faylar üzerinde meydana gelen depremler genellikle daha yüksek büyüklükte ve yıkıcı olmaktadır.

Türkiye’de mevcut yapı stoğunun önemli bir bölümü yeterli mühendislik hizmeti almamış yapılardan oluşmakta olup, bu durum geçmişte yaşanan büyük depremlerde ciddi can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Yakın geçmişte meydana gelen 6 Şubat 2023 tarihli Pazarcık ($M_w = 7,8$) ve Elbistan ($M_w = 7,6$) depremleri bu durumu ön plana çıkaran çarpıcı örnekler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, mevcut yapıların durumu dikkate alınarak, ekonomik koşullar çerçevesinde yapı sistemleri depreme karşı dayanıklı hale getirilmeli; depreme dayanıksız yapılar güçlendirilmeli ya da kentsel dönüşüm programlarına dahil edilerek yıkılıp yeniden inşa edilmelidir.

Depreme karşı güvenli yapı tasarımı için pek çok yöntem bulunmaktadır. Yapı türüne ve kullanım amacına bağlı olarak farklı performans hedefleri tanımlanmıştır. Konut yapılarında genellikle 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan (475 yıllık dönüş periyodu) DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kontrollü hasar (KH) performans düzeyi esas alınarak tasarım yapılmaktadır. Bu performans düzeyinde yapının göçmeden ayakta kalması hedeflenmektedir.

Depreme karşı daha yüksek performans talep edilen yapılar için kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi tercih edilebilmektedir. Bu performans düzeyinde, taşıyıcı sistemde yapısal hasar oluşmaması veya hasarın göz ardı edilebilecek düzeyde kalması hedeflenir. Söz konusu performans hedefinin sağlanması için kullanılan en etkili yollardan biri taban izolasyonu yöntemidir. Taban izolasyonu, son dönemde en yaygın tercih edilen sismik kontrol yöntemleri arasında yer almaktadır. Taban izolasyonu, hastaneler, veri merkezleri ve stratejik öneme sahip kamu binalarında yaygın olarak kullanılmakta olup, ülkemizde 100 yatak ve üzeri devlet hastanelerinde kullanımı zorunlu hâle gelmiştir. Özellikle hastane gibi faaliyetlerine deprem esnasında bile kesintisiz devam edebilmesi gereken yapılarda oldukça etkili bir yöntem olarak tercih edilmektedir.

Geleneksel tasarım yöntemiyle karşılaştırıldığında, taban izolasyonu sistemlerin deprem gibi dinamik etkilerle yapıya aktarılan enerjiyi sınırlandırması ve bu etkilerin üst yapıya minimum düzeyde transferini sağlaması en önemli avantajları olarak ön plana çıkmaktadır.

Taban izolasyonu sayesinde yapı periyodu uzamakta ve yakın fay etkisi taşıyan yüksek genlikli deprem kayıtlarının impuls periyotlarıyla 2–5 saniye aralığında çakışabilmektedir. Bu durum, yalıtım arayüzünde bulunan sismik izolatörlerin tasarım deplasman kapasitelerinin yetersiz kalmasına neden olabilmektedir. Yakın fay etkisi nedeniyle artan izolatör deplasman taleplerini azaltmak için, sismik yalıtım birimlerinin yatay deplasman kapasiteleri sınırlandırılarak-bilmekte ancak bu durumda üst yapıya aktarılan kuvvetler artmaktadır.

Bu çalışmada, yakın fay etkisi altındaki taban izolasyonlu yapı sisteminin ilave sönümleyici elemanlarla birlikte yapısal davranışı incelenmiştir. Bu amaçla, beş katlı ve dört açıklıklı tipik bir betonarme çerçeve yapı modeli üzerinde üç farklı senaryo oluşturularak yapısal davranış analizleri yapılmıştır. Öncelikle ankastre mesnetli olarak analiz edilen betonarme çerçeve daha sonra ankastre modelden elde edilen çeşitli yük kombinasyonları ve TBDY 2018 Bölüm 14'teki kurallar doğrultusunda ön boyutlandırılması yapılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (LRB) içeren taban izolasyonlu yapı modeli olarak yeniden analiz edilmiştir. İzolatörlü yapı modeli, her bir deprem setinde 11 kayıt olan uzak ve yakın fay etkisini içeren iki deprem seti için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile analiz edilmiştir. Yakın fay etkisine bağlı olarak yetersiz kalan izolatör yerdeğiştirme kapasiteleri, yalıtım arayüzüne viskoz sönümleyicilerin yerleştirilmesi sonrasında yeterli duruma dönüşmüştür. Viskoz sönümleyiciler yapı planında en dış akslarda iki adet X ve iki adet Y doğrultusunda olmak üzere birbiri ile kuvvet çifti oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ankastre mesnetli, izolatörlü ve izolatörlere ilave olarak viskoz sönümleyici eklenmiş üç farklı yapı modeli için, kat yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri, kat ivmeleri ve taban kesme kuvvetleri parametreleri altında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Ankastre mesnetli sistem, sismik izolatörlü sistem, sismik izolatöre ilave viskoz sönümleyici eklenmiş sistem, bulundukları konuma uygun olarak seçilmiş uzak deprem seti ve yakın fay etkisi içeren deprem seti etkisinde sayısal olarak incelenmiştir. Yapıya sismik izolatör eklendiğinde, hâkim titreşim periyodu 0,78 s den 2,66 s ye uzamış, böylece yapıya etkiyen spektral ivme büyüklüğü yaklaşık %70 oranında azalmıştır. Ancak yakın fay etkisinde izolatör yerdeğiştirme talebi 506,6 mm'ye ulaşarak, izolatör kapasitesi olan 520 mm'ye çok yaklaşmıştır. Bu nedenle sisteme viskoz sönümleyici elemanlar eklenerek en büyük ortalama yerdeğiştirme 298,5 mm seviyesine düşürülmüştür. Analiz sonuçları, sismik izolasyonun yapının görelî kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri, kat ivmeleri ve yapısal elemanlardaki iç kuvvetler üzerinde önemli ölçüde azaltıcı etkisi olduğunu kanıtlamıştır. İlave sönümleyici elemanlar, yapının yatay rijitliğini bir miktar artırarak sistemin deprem etkisindeki davranışını daha kontrollü hâle getirmiştir. Özellikle katlar arası yerdeğiştirmelerin azalması, yapısal olmayan elemanların hasar görmesini önlemekte ve genel sistem güvenliğini artırmaktadır.

Çalışmada sismik izolasyon sistemlerinin tasarımında yakın fay etkisinin önemi ortaya konmuştur. İzolasyon arayüzüne yerleştirilen yeterli sayıdaki sönümleyici eleman ile yakın deprem etkisinde izolasyon sisteminde ortaya çıkan kapasite aşılımlarının engellenebileceği gösterilmiştir.

IMPROVEMENT OF THE SEISMIC BEHAVIOR OF A BASE-ISOLATED STRUCTURE SUBJECTED TO NEAR-FAULT GROUND MOTIONS WITH ADDITIONAL DAMPING DEVICES

SUMMARY

Türkiye is located within the seismically active Alpine-Himalayan earthquake zone due to its geographical position. There are several active fault lines in Türkiye. The well-knowns are North Anatolian Fault (NAF) and East Anatolian Fault (EAF). These strike slip faults, which are capable of accumulating significantly more strain energy than normal or reverse faults, have historically generated numerous destructive earthquakes of high magnitudes.

A large portion of the existing building stock in Türkiye consists of structures constructed without proper engineering services. This structural deficiency has led to significant casualties and property losses during major past earthquakes. The February 6, 2023 Pazarcık (Mw 7,8) and Elbistan (Mw 7,6) earthquakes serve as prominent and recent examples highlighting this vulnerability.

The current structural conditions, seismic resilience must be achieved within the bounds of economic feasibility. Non ductile or seismically deficient buildings should be either retrofitted or incorporated into urban renewal programs. New constructions must be designed in full compliance with the Turkish Building Earthquake Code (TBEC 2018), and field implementations must strictly follow the approved design documents.

Various strategies are available for designing earthquake-resistant buildings. The primary principle is to ensure that structures are designed and constructed according to the performance criteria defined in the TBEC 2018. Depending on the structural type and intended function, different seismic performance objectives may be required.

For typical residential buildings, design is generally based on the Controlled Damage (CD) performance level under the DD-2 level earthquake ground motion, which has a 10% probability of exceedance in 50 years (corresponding to a 475-year return period). In this scenario, structural collapse is prevented, although damage may occur that necessitates repair or strengthening.

For buildings where higher seismic performance is required, such as hospitals and emergency facilities, the Continuous Occupancy (CO) performance level is adopted. This level aims to prevent structural damage entirely or limit it within elastic bounds. One of the most effective approaches to achieving this objective is the use of base isolation systems.

Base-isolated structures have recently become one of the most widely adopted seismic protection techniques. Base isolation is commonly applied in hospitals, data centers, and strategically important public buildings.

In fact, its use has become mandatory for state hospitals with 100 beds or more in Türkiye. This method is particularly favored for facilities such as hospitals, where continuous operation during and after an earthquake is essential.

Equipment housed in data centers can be highly sensitive to even minimal ground accelerations. Earthquake-induced interruptions in these systems can disrupt communication networks and lead to widespread service outages. For this reason, base isolation is frequently implemented in data centers and other mission-critical facilities.

Compared to conventional seismic design methods, the primary advantage of base-isolated systems is their ability to decouple the superstructure from ground motion, thereby reducing the energy input to the structure and minimizing the seismic demands transmitted to the upper structure.

Base isolation systems effectively lengthen the structure's fundamental period, which can coincide with the dominant pulse periods (typically 2–5 seconds) of near-fault ground motions. This overlap can significantly increase the displacement demands on seismic isolators, potentially exceeding their design capacities.

To mitigate such increased demands, the lateral displacement capacities of isolation units can be limited; however, this often leads to increased force transfer to the superstructure. Although the TBEC 2018 emphasizes the importance of addressing near-fault effects in long-period structures, it lacks clear technical guidance on how to evaluate these effects in practice.

In this study, a representative five-story, four-bay reinforced concrete frame structure was analyzed under both far-fault and near-fault ground motions. Initially, the reinforced concrete frame structure was modeled and analyzed with fixed supports. Based on the load combinations derived from this model, and in accordance with Section 14 of TBEC 2018, the structure was redesigned to incorporate lead rubber bearings (LRBs) and reanalyzed as a base-isolated system. When base isolation is active, the fundamental period of the structure increased from 0,78 seconds to 2,66 seconds, resulting in a 70% reduction in spectral acceleration. The structural behavior of a base-isolated building system under near-fault seismic effects is investigated with the supplemental damping devices.

The base-isolated models were analyzed using nonlinear time history analyses for two ground motion sets representing far-fault and near-fault seismic effects, each containing 11 earthquake records. Due to insufficient displacement capacity under near-fault conditions, supplemental viscous dampers were added at the isolation interface to reduce displacement demands to acceptable levels. A total of four dampers were used, arranged in pairs along both X and Y axes at the outermost bays of the structural system to provide balanced damping forces.

The performance of the three structural configurations fixed-base, base-isolated, and base-isolated with viscous dampers was comparatively evaluated in terms of story displacements, interstory drift ratios, floor accelerations, and base shear forces.

However, under near-fault conditions, the displacement demand reached 506,6 mm, approaching the isolator's maximum capacity of 520 mm. By incorporating viscous dampers into the system, the average peak displacement was reduced to 298,5 mm. The analysis results demonstrated that seismic isolation significantly reduces interstory drifts, base shear forces, floor accelerations, and internal forces in structural members.

Moreover, the addition of supplemental damping elements increased the overall stiffness of the system, resulting in more controlled structural response during seismic events. In particular, reductions in interstory drifts help prevent damage to non-structural components and enhance the overall safety and integrity of the system.

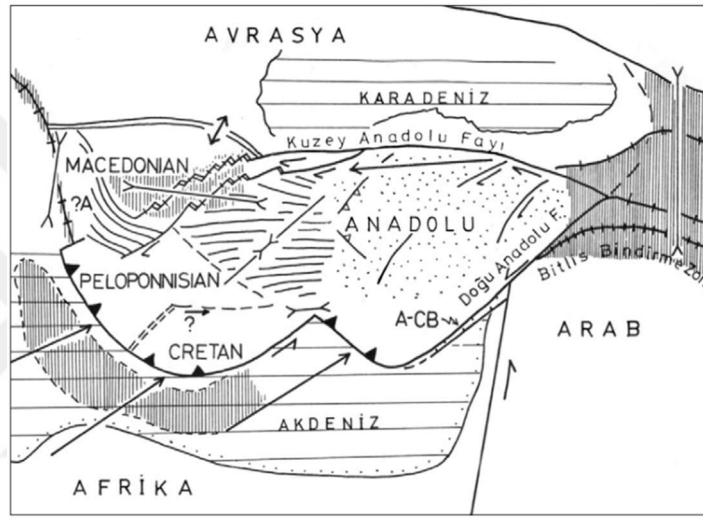
The study verified the importance of the impact of the near fault effect in the design of seismic isolation systems. It has been demonstrated that with a sufficient number of damping elements placed at the isolation interface, capacity exceedances in the isolation system in near-earthquake impacts can be prevented.





1. GİRİŞ

Türkiye bulunduğu konum itibari ile levha kesişim bölgesinde yer almaktadır. Güney yönünden Afrika levhası, güneydoğu istikametinden ise Arabistan levhası tarafından sıkıştırılan Anadolu levhasının kuzeyinde ise Avrasya levhası bulunmaktadır.

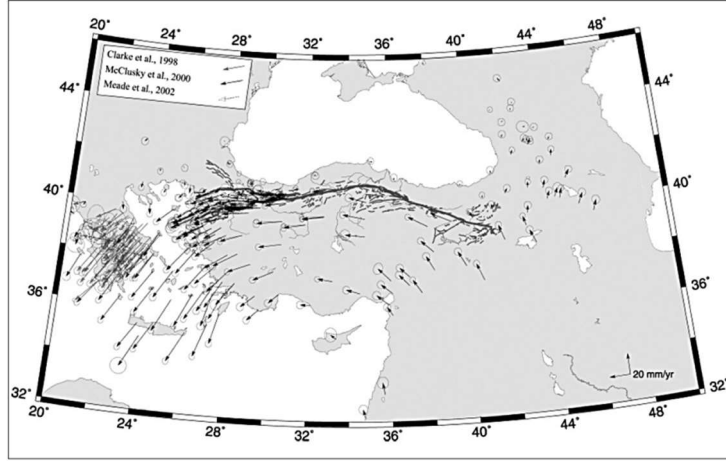


Şekil 1.1: Anadolu levhası [1].

Tektonik hareketler sonucunda levha kesişim bölgelerinde büyük deprem üretme potansiyeli yüksek olan doğrultu atımlı faylanmalar oluşmaktadır. Bu tür faylar normal faylara göre daha büyük ölçekli depremler üretebilmektedir.

Şekil 1.1’de yer aldığı üzere levha kesişim bölgelerinde Türkiye’nin iki önemli fay hattı olan KAF ve DAF bulunmaktadır. Geçmişten günümüze ülkemizde meydana gelen yıkıcı büyük depremlerin bu bölgelerde yaşanması görüldüğü üzere tesadüf değildir.

Şekil 1.2’de yer aldığı üzere Levha hareketleri sebebiyle Türkiye’nin bulunduğu Anadolu levhası saat yönünün tersi istikamette dönmekte ve aynı zamanda batı yönüne doğru yılda yaklaşık 20 mm hızla hareket etmektedir, [1].

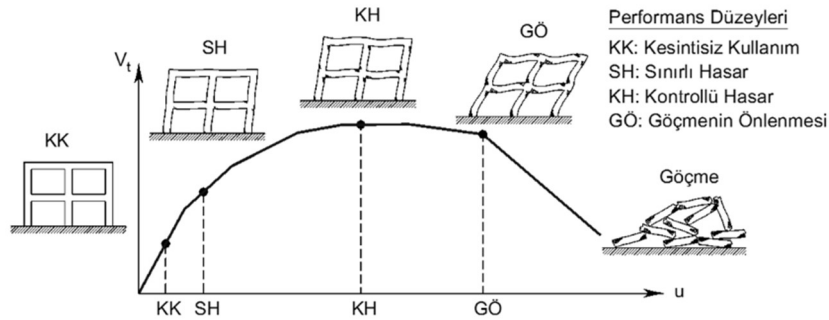


Şekil 1.2: Anadolu levhasının hareket yönü [1].

Levha hareketlerinden kaynaklı yaşadığımız coğrafyada geçmişte meydana gelen büyük depremler gibi yeni büyük ve yıkıcı depremlerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu sebepten dolayı inşaa ettiğimiz yapıları depreme karşı güvenli bir şekilde tasarlayıp sahada bu tasarıma uygun olarak uygulamasını gerçekleştirmek oldukça önem arz etmektedir.

Yapıları depreme karşı güvenli hale getirmenin temel mantığı binalara etkileyen deprem kuvvetlerinin azaltılmasına bağlıdır. Taban izolasyonu felsefesi tam olarak bu mantık üzerine kuruludur. Mevcut yapıların doğal titreşim periyodunu uzatarak binalara etkileyen deprem ivmelerinin minimum seviyelere inmesine olanak sağlamaktadır, [2].

Bu sayede yapıya etkileyen deprem kuvvetleri düşmekte ve yapılar kesintisiz kullanım performans hedefinde olduğu gibi depremden en düşük seviyede etkilenecek servis ömrüne devam edebilmektedir, Şekil 1.3.



Şekil 1.3: TBDY'ye göre performans hedefleri [3].

1.1 Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışması ile taban izolasyonlu betonarme çerçeve yapı sisteminin yakın fay etkisi altında artan izolatör deplasman taleplerinin ilave viskoz sönümleyici elemanlar ile düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Bu kapsamda taban izolasyonunun mantığından, taban izolasyonu amacıyla kullanılan sismik yalıtım birimi türlerinden, geçmişteki uygulama örneklerinden bahsedilip TBDY 2018’ de yer alan hesaplama adımları takip edilerek sismik yalıtım birimi boyutlandırmasına gerçekleştirilecektir.

Aynı zamanda SAP 2000 programından hareketle zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile farklı yapı modelleri arasında kat ivmeleri, görelî kat ötelenmeleri, kat kesme kuvvetleri ve taban kesme kuvvetleri incelenecek olup farklı yapı modellerinin birbirine göre farklılıkları ele alınacaktır.

Kısaca ifade etmek gerekirse taban izolasyonu uygulamasının yakın fay etkisi altında yetersiz kalan izolatör deplasman taleplerinin ilave sönümleyici elemanlar ile sınırlandırılması amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Taraması

Eyidoğan [1] tarafından 2011’ de Türkiye’nin depremselliği ve aktif fay hatları üzerine yapılan çalışmada ülkemizde yer alan fay hatları ve bunların karakteristik özellikleri incelenmiş, geçmişten günümüze mevcut fay hatlarında meydana gelen depremlerin bölgenin tektonik özelliği kapsamında ilişkisi üzerine durulmuştur.

Alasaf ve Öztürk [2] tarafından 2022’ de sismik yalıtım birimli binaların tasarımına etki eden etmenler incelenmiş, taban izolasyonu felsefenin ne anlama geldiği ifade edilmiş ve sismik izolatörlerin ön boyutlandırmasında dikkate alınan, yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetinin yatay deplasman ile olan ilişkisi üzerine durulmuştur.

Şengel, Erol ve Yavuz [4] tarafından 2009’da sismik izolasyon yöntemine değinilmiş, sismik izolasyonlu bir yapının davranışı Erzurum Devlet Hastanesi özelinde incelenerek analiz sonuçları, yapısal elemanlarda oluşan iç kuvvetler özelinde karşılaştırılmış taban izolasyonunun avantajları ile dezavantajları üzerine durulmuştur.

Bere ve diğ. [5] tarafından 2024’de farklı taban izolasyon sistemlerinin, yapının sismik davranışı üzerindeki etkileri analitik olarak inceleme gerçekleştirilmiştir. Farklı yapı modelleri, yatay sismik yüklere maruz bırakılmış ve sabit tabanlı yapılar ile taban izolasyonlu yapılar karşılaştırılmıştır. Analizlerde hem simetrik hem de asimetrik bina modelleri kullanılmış, analiz sonuçlarının değerlendirmesi tepki spektrumu yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, kat kesme kuvveti, taban kesme kuvveti, kat ötelemesi parametreleri ile izolasyon sistemlerinin etkileri detaylı şekilde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, LRB gibi izolasyon sistemlerinin sismik etkileri azalttığını, yapısal stabiliteyi artırdığını ve yapıların daha ekonomik şekilde tasarlanmasına olanak sağladığını göstermektedir.

Wen ve Baifeng [7] tarafından 2008’de sismik izolatörlü yapıların tasarımına yönelik iki temel yöntem üzerine durulmuştur. İlk aşamada basit bir yöntemle yapıya ait bazı datalar aracılığıyla yalıtım katmanı sayısının belirlenmesine olanak sağlarken ikinci aşamada ise detaylı şekilde zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak üst yapı, temel ve taban izolasyonunun ayrıntılarının nasıl belirlendiği üzerine incelemelerde bulunulmuştur.

Yenidoğan [8] tarafından 2021’de farklı tip yalıtım birimlerinden oluşan karma deprem yalıtım sistemlerinin sismik performansı sarsma masası deneyleri ile incelenmiştir. Kademeli olarak artırılan deprem kayıtları altında, yalıtım sistemlerinin kuvvet yer değiştirme davranışları ve üst yapı tepkileri analiz edilmiştir. Her iki sistemde de görelî kat ötelemeleri elastik sınırlar içinde tutulmuş ve başarılı bir yalıtım performansı elde edilmiştir. Sarsma masasının tek yönlü hareket kabiliyeti nedeniyle bazı sınırlamalar oluşmuş; bu nedenle ileride, sayısal modelleme ve çok yönlü deprem etkileriyle kapsamın genişletilmesi önerilmiştir. Çalışma, karma yalıtım sistemlerinin etkinliğine dair önemli deneysel bulgular sunmaktadır.

Erdik, Ülker, Şadan ve Tüzün [9] tarafından 2018’de yapılan çalışmada Türkiye’de deprem yalıtım sistemlerinin özellikle hastaneler gibi kritik yapılarda yaygınlaşmasının önemini ve gerekliliğini vurgulamaktadır. Deprem sonrası işlevselliğini koruyacak sağlık yapılarının tasarımında, deprem yalıtım teknolojisinin tek geçerli çözüm olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, etkili bir deprem yalıtımı tasarımı için dikkat edilmesi gereken mimari, yapısal, malzeme seçimi, montaj, test, bakım ve mühendislik süreçleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Alhan ve Hacıemiroğlu tarafından [11] 2023’de yapılan çalışmada Türkiye’deki güncel sismik izolasyon uygulamaları ve bu sistemlerin tasarımı, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kapsamında incelenmiştir. Örnek bir sismik izolasyonlu bina modeli oluşturularak, yakın-fay etkileri ve yüksek düşey ivme bileşenleri içeren deprem kayıtlarıyla analiz yapılmıştır. Çalışma, hız pulslarının izolasyon periyodu ile çakıştığı durumlarda izolatörlerdeki yerdeğiştirme taleplerinin arttığını ve kalkmaların meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca, kat ivmelerinin 2013 yönetmelik sınırını aştığı, ancak 2018 güncellemesiyle belirlenen sınırın altında kaldığı belirlenmiştir.

Yanık, Aldemir ve Bakioğlu [14] tarafından 2009’da yapılan çalışmada, depreme dayanıklı bina tasarımında pasif kontrol elemanları olarak kullanılan taban izolasyonları ve kütle sönümleyicilerin yapı davranışına etkileri ile sismik enerji dağılımları incelenmiştir. Hareket ve enerji denklemleri; taban izolasyonu, kütle sönümleyici ve iç sönüm etkileri göz önünde bulundurularak oluşturulmuş, doğrusal olmayan hareket denklemleri Wilson- θ yöntemiyle sayısal olarak çözülmüştür. Yapı; izolasyonsuz, sadece taban izolasyonlu ve hem izolasyon hem de kütle sönümleyici kullanılan üç farklı durumda değerlendirilmiştir.

Alavi ve Krawinkler [15] tarafından 2001’de yapılan çalışmada, yakın fay kaynaklı darbeli yer hareketlerinin yapılar üzerindeki elastik ve elastik olmayan etkileri incelenmiştir. Tek ve çok serbestlik dereceli yapı modelleri kullanılarak, bu tür depremlerin neden olduğu süneklik talepleri ve kat bazlı plastik şekil değiştirmeler analiz edilmiştir. Yakın fay yer hareketleri eşdeğer darbe modelleri ile temsil edilmiş, yapı yüksekliğine ve periyotlarına göre farklı davranış eğilimleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, taban kesme kuvvetlerinin sınırlandırılması için önerilen bir tasarım yöntemi sunulmuş ve perde duvarlarla yapılan güçlendirme çözümleri değerlendirilmiştir.

Constantinou, Whittaker ve Velivasakis [25] tarafından 2001’de yapılan çalışmada Atatürk Havalimanı’nın üç katlı betonarme terminal binası için, TBDY’de öngörülen seviyelerin üzerinde bir performans sağlamak amacıyla geleneksel ve yenilikçi güçlendirme stratejileri geliştirilmiştir. Bina sahibinin tercih ettiği güçlendirme yöntemi kapsamında, çelik uzay çatı sistemi sismik izolasyon ile izole edilmiş, mevcut betonarme kolonlar mantolama ile güçlendirilmiş ve bina modülleri arasındaki genişleme derzleri kaldırılmıştır. Mevcut ve güçlendirilmiş yapıların deprem performansları doğrusal olmayan statik analizlerle değerlendirilmiş, ayrıca güçlendirilmiş yapının davranışı doğrusal olmayan dinamik analiz ile test edilmiştir.

Öztürk [30] tarafından 2022’de yapılan çalışmada, 4 katlı betonarme bir yapının kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle tasarımı ve performansı incelenmiştir. Farklı zemin koşulları, izolasyon periyotları ve dayanım oranları, TBDY kapsamında kullanılan iki farklı hesap yöntemiyle analiz edilmiştir. Çalışmada, zemin türü, izolatör periyodu ve dayanım oranının yapının yer değiştirme, kesme kuvveti ve ivme gibi tepkilerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Sonuçlara göre, zemin kalitesi kötüleştikçe yerdeğiştirme ve taban kesme kuvvetleri artmaktadır. İzolasyon periyodu büyüdükçe bu kuvvetlerdeki değişim azalırken, dayanım oranı arttıkça yerdeğiştirme miktarı azalmaktadır.

Polat [32] tarafından 2019’da yapılan çalışmada, öncelikle klasik yöntemle analiz edilen okul yapısı daha sonrasında yapıya kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin eklenmesiyle yeniden analiz edilmiştir. İzolatörlerin eklenmesiyle yapının deprem sırasında maruz kaldığı ivme ve kesme kuvvetleri azalmış, katlar arası ötelenme küçülmüş ve yapı daha rijit bir şekilde davranmıştır. Sonuç olarak, sismik izolasyonun yapı üzerindeki deprem etkilerini önemli ölçüde azalttığı ve yapısal güvenliği artırdığı ortaya konmuştur.

Paul, Sundararajan ve Sabu [35] tarafından 2017’de yapılan çalışmada, 14 katlı bir betonarme binada farklı taban izolasyon sistemlerinin (LRB ve FPS) yapısal sismik performans üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Yapının doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi sonucunda, sabit temelli yapılarla karşılaştırıldığında taban izolasyonunun yapının doğal periyodunu artırdığı ve bu sayede kat öteleme, kat ivmesi, kat ötelenmesi ve taban kesme kuvvetlerinde önemli azalmalar sağladığı görülmüştür. Farklı izolatör tiplerinin ayrı ayrı ve hibrit biçimde uygulanmasının etkileri karşılaştırılmış; dış kolonlarda FPS, iç kolonlarda LRB kullanılan kombinasyonların hem sismik performans hem de ekonomik açıdan en uygun çözüm olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçlar, taban izolasyon sistemlerinin yüksek katlı yapılarda deprem etkilerini azaltmada etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

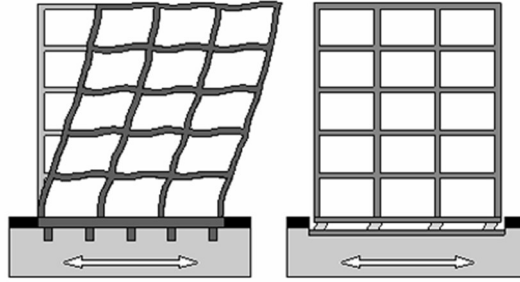
Domadzra, Bhandari ve Hasan [36] tarafından 2024’de yapılan çalışmada, LRB ve FPS tipi izolatörlerin, sismik izolasyonlu binaların deprem davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, her iki sistemin de taban kesme kuvvetini ve yapısal ivmeleri önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Ayrıca, LRB ve FPS sistemlerinin enerjiyi sönmüleme mekanizmaları sayesinde kat ötelemeleri ve yapıdaki deprem etkileri azaltılmaktadır.

2. TABAN İZOLASYONU, FELSEFESİ ve UYGULAMALARI

2.1 Taban İzolasyonlu Yapı Modeli

Taban izolasyonun felsefesi temel olarak üst yapı ile alt yapıyı birbirinden ayırmayı esas alır. Böylece yapı ve zemin arasındaki etkileşim düşük seviyelere indirilir ve zeminden gelen depremden kaynaklı sismik etkilerin üst yapıya minimum seviyede aktarılması hedeflenir, [4].

Şekil 2.1’de yer aldığı üzere iki farklı yapı modeli görülmektedir. İlk yapı modelinde yer alan çerçeve sistem ankastre mesnetli iken sağ tarafta yer alan yapı modeli ise taban izolasyonlu çerçeve sistemdir.



Şekil 2.1: Ankastre ve taban izolasyonlu yapı modelinin davranışı [4].

Ankastre mesnetli yapı modelinde zeminden gelen etkiler üst yapıya doğrudan aktarılırken, taban izolasyonlu sistemde ise yapı ve zemin birbiriyle doğrudan bağlanmadığından dolayı böyle bir davranış söz konusu değildir. Üst yapı ve alt yapı arasında dolaylı bir etkileşim söz konusudur, [5].

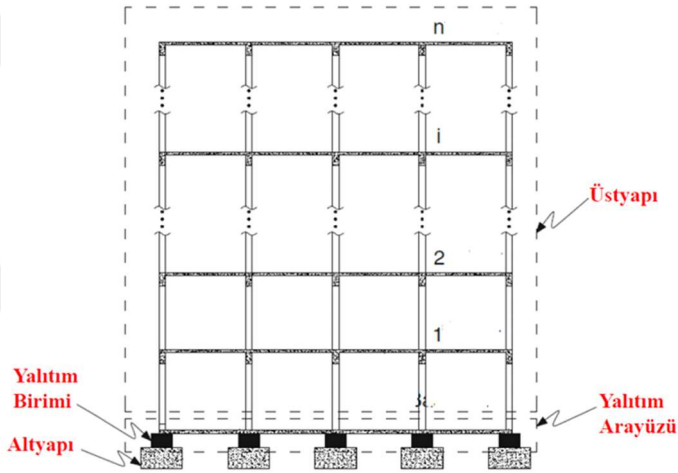
Normal ankastre mesnetli yapılarda katların toplam yerdeğiştirmeleri kat sayısı yükseldikçe artarken, taban izolasyonu uygulanmış yapılarda ise üst yapı tamamen rijit bir kütle gibi hareket etmektedir, [4].

Yerdeğiştirmelerin büyük bir kısmı izolasyon katında yer alan sismik izolatörler vasıtasıyla karşılanır ve böylece rijit kütle şeklinde hareket eden üst yapıda görece kat ötelemeleri minimum seviyelere iner.

Görelî kat ötelemeleri üst yapı hasarları oldukça önemli bir durumdur. Çünkü yapısal olmayan elemanların deprem esnasında oluşan sismik etki sonucunda hasar almasının en büyük etkilerinden biri görelî kat ötelemelerinin yüksek olmasından dolayıdır.

Taban izolasyonlu sistemde yapı modelleri temel olarak iki bölümden oluşsa da izolasyon katını da düşünöldüğünde üç bölümden oluşmaktadır. Bunlardan biri üst yapı bir diğeri alt yapı ve bir diğeri de sismik yalıtım birimlerinin bulunduğü izolasyon katıdır.

Üst yapı izolatör katında yer alan sismik izolatörlerin üzerinde oturmaktadır. Alt yapı ise sismik izolatörlerin konumlandırıldığı kaide betonarme elemanları ve bu elemanların bağı olduğı zeminden oluşmaktadır. Üst yapı ile alt yapının birleştiğı bu ara kat bölgesine ise izolasyon katı adı verilmektedir, Şekil 2.2.



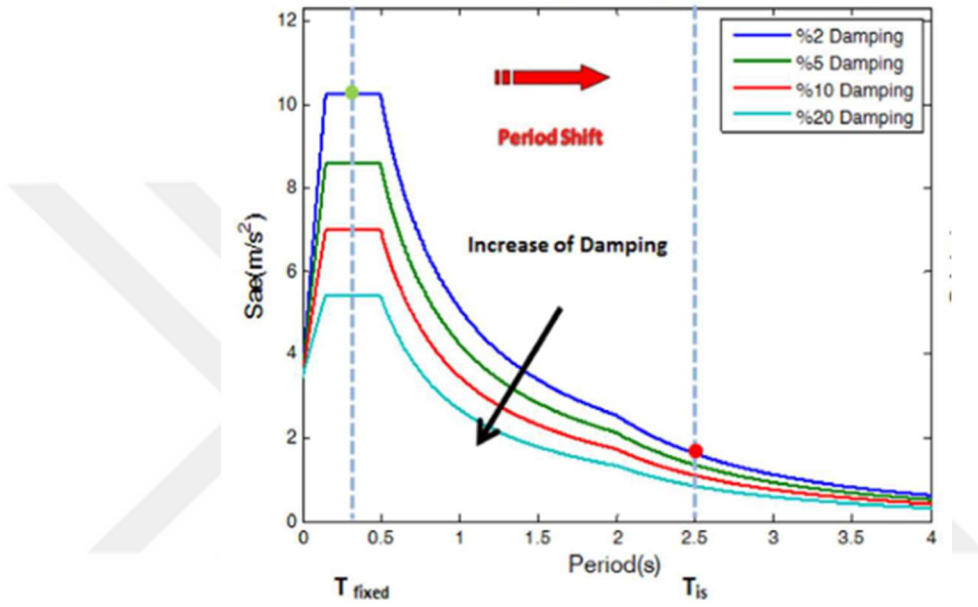
Şekil 2.2: Sismik izolatörlü bina modeli [6].

Sismik izolatörler düşeyde üst yapıyı taşıdığından dolayı yüksek düşey rijitliğe sahip olacak şekilde tasarlanırken, yatayda ise belirli miktarda deplasman yapabilen düşük rijitliğe sahip elemanlar olarak tanımlanabilir. Yatayda düşük rijitliğe sahip olması depremden dolayı oluşan sismik enerjinin üst yapıya aktarılmadan sismik yalıtım birimi tarafından sönlümlenebilmesi için oldukça kritik öneme sahiptir, [4].

Sismik boşluk sismik izolatörlerin yapabileceğı maksimum tasarım deplasmanına göre belirlenmektedir. Yapı ile zemin yüzeyi arasında gerekli sismik boşluk bırakılmaz ise üst yapı zeminle birlikte hareket edeceğinden dolayı üst yapı ankastre mesnet gibi davranır ve deprem esnasında üst yapıda hasarlar oluşabilir.

2.2 Taban İzolasyonu Felsefesi

Taban izolasyonunun temel amacı yapıların doğal titreşim periyodunu artırmak ve yapıya etkiyen deprem kuvvetlerini minimum seviyeye indirmektir. Şekil 2.3’de yer aldığı gibi taban izolasyonu ile mevcut yapıların doğal titreşim periyodu uzamakta ve yapılara etkiyen deprem ivmeleri ve dolayısıyla Newton’un II. Yasası gereği deprem kuvvetleri de azalmaktadır, [7].



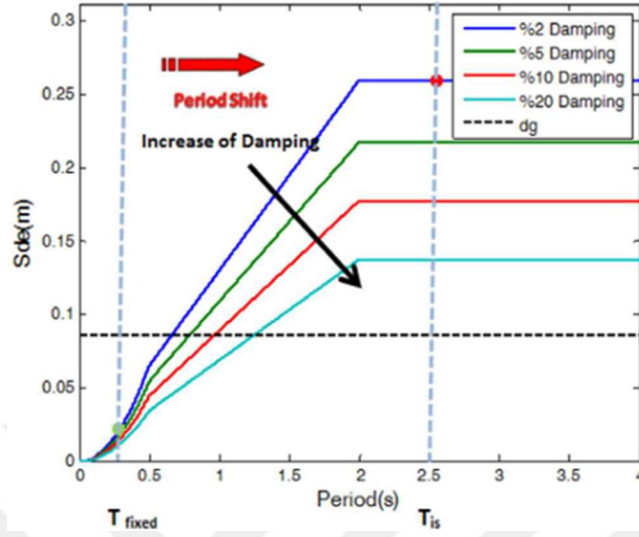
Şekil 2.3: İzolasyonlu yapıda periyot ötelenmesi ve ivme değişimi [8].

Hâkim titreşim periyodu, yapının kütlesi ve rijitliğine bağlıdır. Ankastre mesnetli bir yapıya taban izolasyonu uygulandığında kütlesi değişmeyen yapının yataydaki rijitliği düşmektedir. Periyot ile rijitliğin ters orantılı ilişkisinden dolayı rijitliğin düşmesi ile yapı periyodu artmaktadır, [9].

Günümüzdeki mevcut yapı stoğu göz önünde bulundurulduğunda kat sayısı da dikkate alındığında mevcut konut tipi yapıların doğal titreşim periyotları genellikle 0,1-1,0 sn geniş aralığında olduğu varsayılabilir. Şekil 3’de görüldüğü üzere bu tür periyoda sahip yapılara etkiyen deprem ivmeleri büyük seviyelerde yer almaktadır.

Taban izolasyonu yöntemiyle deprem etkilerinden yalıtılmış yapıların tipik hâkim periyot aralığı ise 2,5-3,0 sn civarlarındadır. Böylece periyodu uzayan yapının üzerine etkiyen deprem ivmeleri ve dolayısıyla deprem kuvvetleri de azalmaktadır, [6].

İzolasyonlu yapılarda periyot artışına bağlı olarak yapıya etkiyen deprem ivmeleri azalırken deprem etkileri sonucunda yapıda oluşan spektral yerdeğiştirme değerlerinde ise artışlar meydana gelmektedir, Şekil 2.4.



Şekil 2.4: İzolasyonlu yapıda periyot ötelenmesi ve yer değıştirmenin değışimi [10].

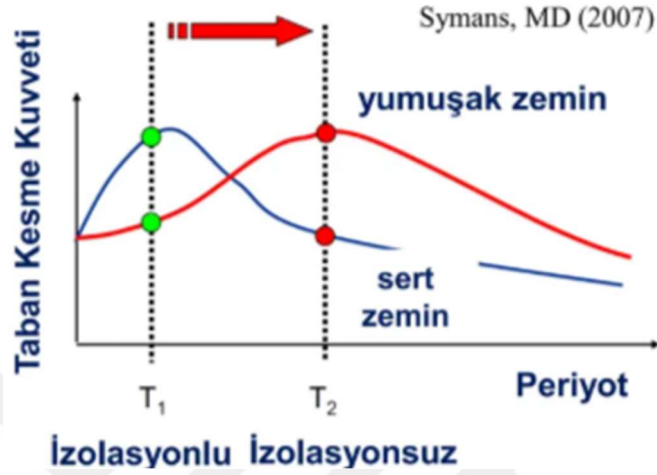
Ankastre mesnetli yapı sisteminde yerdeğıştirmelerin artışına bağlı olarak üst yapıda yapısal olmayan elemanlarda hasarlar meydana gelebilmektedir. Taban izolasyonlu sistemlerde üst yapı ile alt yapı birbirinden ayrı olduğu ve birbirlerine sismik yalıtım birimleri ile bağlı oldukları için deprem esnasında oluşan büyük yer değıştirme talepleri sismik yalıtım elemanları aracılığı ile karşılanır. Böylece üst yapı rijit bir blok olarak hareket eder ve katların görelî ötelenmeleri minimum seviyelerde yer alır.

Yapılarda kat sayısının artışına bağlı olarak doğal olarak yapının kütlesi de artmaktadır. Böylece yapının kütle ve rijitliğine bağlı olan hâkim titreşim periyodu doğal olarak artmaktadır. Bu sebepten dolayı çok katlı yüksek yapılarda yapının kendi doğası gereğî yüksek doğal titreşim periyodu bulunmaktadır.

Taban izolasyonunun genel felsefesi yapıların periyodunu artırmak olduğu için çok katlı yüksek yapılarda mevcut durumda zaten yüksek bir titreşim periyoduna sahiptir ve dolayısıyla taban izolasyonu bu tarz yapılarda çok etkili olarak performans sergileyemeyebilir. Bu tarz yüksek yapılarda deprem kuvvetlerinden daha çok rüzgar kuvvetleri ön plana çıkmaktadır.

Taban izolasyonu yüksek katlı yapılarda verimli olarak performans sergilemediğî düşünülse de görelî kat ötelemelerinin azalması bu yapılar için avantaj sağlamaktadır.

Çok katlı yüksek yapılarda taban izolasyonu yöntemi tek başına etkili bir çözüm sunamayabilir. Yüksek katlı yapılarda sismik izolasyon yöntemi ile birlikte sönümleyici damper elemanların kullanılmasıyla bu tür yapılarda etkin deprem yalıtım performansına erişilebilir, [11].



Şekil 2.5: Farklı zeminlerde taban izolasyonu davranışı [12].

Taban izolasyonunda değinilmesi gereken bir diğer husus ise her zemin yapısında sismik izolatör uygulamasının doğrudan yapılamamasıdır. Şekil 2.5’de yer aldığı üzere taban izolasyonu uygulaması ile yapı periyodu artırılmaktadır. Bu artışa bağlı olarak normal sert bir zemin yapısında bulunan yapı için deprem ivmeleri ve deprem kuvvetleri azalmaktadır, [6].

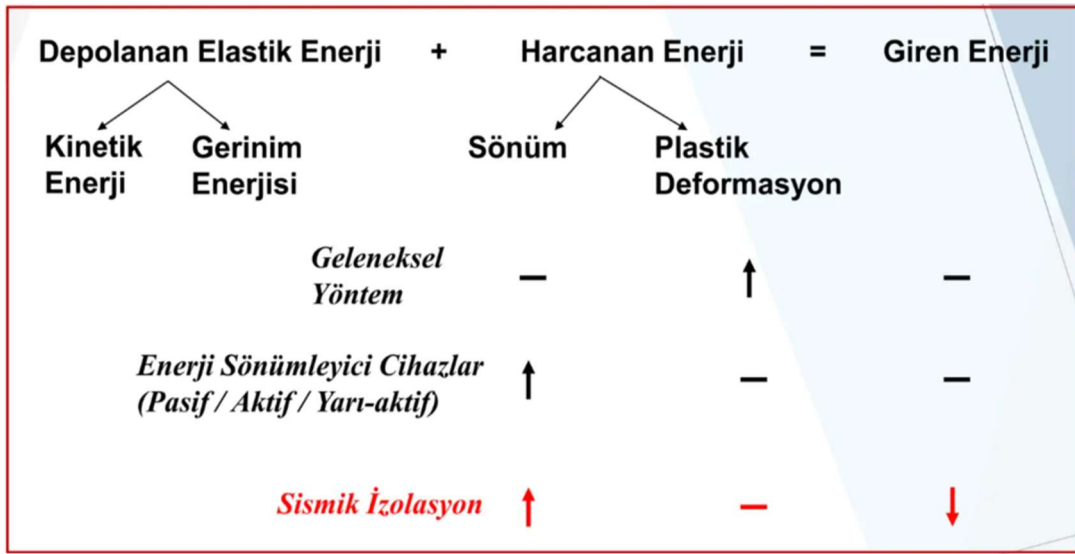
Yumuşak bir zemin yapısı üzerinde oturan bir yapıda periyodun artışına bağlı olarak ise deprem ivmeleri ve taban kesme kuvvetlerinde ciddi artışlar meydana gelmektedir, Şekil 2.5.

Bu durumun sebebi yumuşak zeminlerin titreşim periyodunun normal sert zeminlere göre daha yüksek seviyelerde olmasıdır. Taban izolasyonu ile birlikte yapıların doğal titreşim periyodu artırıldığında yapı ile zemin periyotları birbirine yaklaşmakta ve rezonans etkisinde olduğu gibi dinamik etkiler daha da artarak yapıya etkimektedir.

Sismik izolasyonun mantığı yapı ile zemini birbirinden ayırarak yapının titreşim periyodunu zeminin titreşim periyodundan uzaklaştırmaktır. Yumuşak zemindeki yapılarda tam tersi etki olduğundan dolayı bu tarz zeminlerde sismik izolasyon uygulamasının tercih edilmesi doğru olmamaktadır.

2.3 Deprem Yüğü Altında Yapılardaki Enerji Dengesi

Geleneksel yöntem ile inşaa edilmiş yapılarda deprem enerjisi yapısal elemanlar üzerinde plastik deformasyonlar oluşturarak harcanmaktadır, Şekil 2.6. Bir başka deyişle yapısal elemanlardan olan kirişlerin uçlarında plastik mafsallar oluşarak deprem enerjisi yapıda sönümlenir, [13].



Şekil 2.6: Yapılarda deprem enerji dengesi [6].

Geleneksel yöntemin dışında enerji sönümleyici sistemlerde ise deprem enerjisi sismik sönümleyici damper sistemlerinin yüksek sönümleyici etkisi ile sönümlenebilmekte ve yapının elemanlarında herhangi bir plastik deformasyon oluşmadan deprem enerjisi sönümlenebilmektedir, [14].

Taban izolasyonu yöntemiyle ise yapıya transfer edilen deprem enerjisinde hem azalma sağlamak hem de izolatörün kendi sönümleme özelliği ile deprem enerjisinin yapı tarafından sönümlenme kapasitesi artırılmaktadır, [6].

Taban izolasyonunun deprem enerjisinin sönümlenmesi konusunda yetersiz kaldığı durumlarda özellikle büyük tasarım deplasmanı koşullarının sağlanması gerektiği durumda sismik izolatörlere ek olarak sönümleyici damper sistemleri de yapı modelinde deprem enerjisinin ekstra şekilde sönümlenmesi için tercih edilebilmektedir, [11].

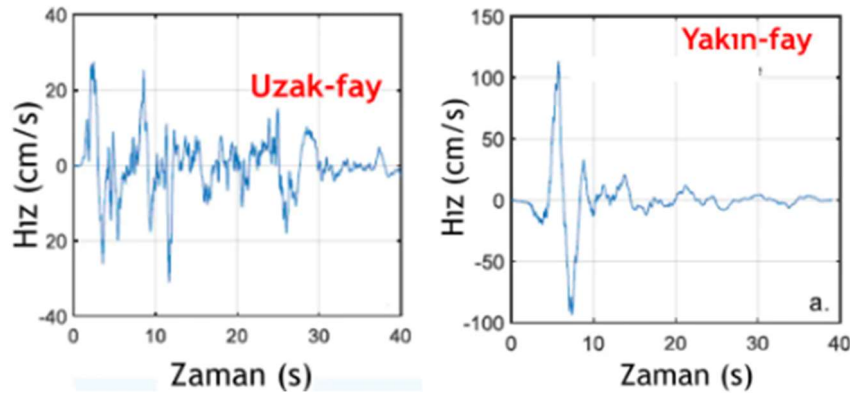
2.4 Yakın Fay Etkisi Altındaki Yapıların Davranışı

Yakın fay hareketine ilişkin ilk önemli sismik bulgular, 1952 yılında meydana gelen Kern County, California depremine ait şiddet dağılım modellerini inceleyen Benioff tarafından 1955 yılında ortaya konmuştur.

Benioff, fay kırığının hareketli bir kaynak gibi yayılması nedeniyle, kırılmanın başladığı ve sonlandığı uç noktalarda farklı yer hareketlerinin oluşabileceğini belirtmiştir. Buna göre, fayın kırılma yönünde yüksek frekanslı ve şiddetli yer hareketleri gözlenirken, ters yöndeki uçta daha düşük frekanslı ve daha az şiddetli yer hareketleri oluşmaktadır, [15].

Yakın fay etkisi içeren deprem hareketleri, yapılar üzerinde normal deprem kayıtlarına göre çok daha büyük yerdeğiştirme veya süneklik taleplerine sebep olabilmektedir. Faya olan mesafenin 10 km ve daha az olduğu deprem kayıtlarında sıklıkla gözlenmektedir, [16].

Yakın fay etkisi içeren deprem kayıtları genellikle yüksek genlikli ($PGV > 500$ mm/s) ve uzun periyotlu hız pulslarına sahiptir, Şekil 2.7. Taban izolasyonlu sistemlerde yapının periyodu 2,5-3,5 s aralığına uzatılıp üzerine etkiyen deprem ivmeleri ve deprem kuvvetleri azaltılmaktadır, [6].



Şekil 2.7: Uzak – yakın deprem kayıtları için hız-zaman grafikleri [6].

Yüksek genlikli yakın fay etkisi içeren deprem kayıtlarının puls periyotları ise tipik olarak 2,0 s ila 5,0 s aralığındaki izolasyon sistemi periyotları ile çakışabilmektedir. Bu sebepten ötürü deprem esnasında alt yapıdan üst yapıya aktarılan etkilerin büyüklüklerinde artış meydana gelebilmektedir.

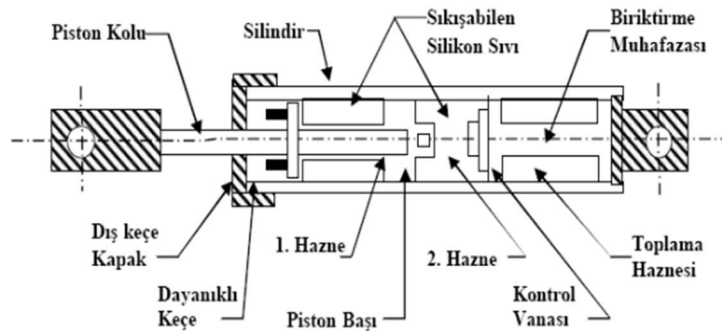
Yakın fay etkisi ile taban izolasyonlu sistemlerde 500 mm'den büyük yatay deplasman talepleri oluşabilirken; üst yapıda ise 0,5g değerinden büyük kat ivmeleri meydana gelebilmektedir. Artan yatay deplasman talebi taban izolasyonlu yapı sisteminin tek başına yeterli bir çözüm olmasının önüne geçebilmektedir.

Sönüm miktarı artırmak büyük yatay deplasman taleplerini sınırlandırmak için bir çözüm olabilir ve yakın-fay depremlerinde izolatör deplasmanlarını azaltabilir ancak binanın servis ömründe daha sık maruz kalacağı uzak-fay deprem etkilerinde kat ivmelerini arttırabilir.

Büyük yatay deplasmanlara ilave olarak yakın fay depremlerinde yüksek düşey ivmeler de üst yapıya etkiyebilmektedir. Artan düşey ivme değerleri izolatörlerde çekme kalkma hareketlerine sebep olabilmektedir, [6].

Sismik yalıtım birimlerinin çekme kuvvetlerine maruz kalmadan boyutlandırılması, sismik izolatör tasarımının temel hedeflerinin başında yer almaktadır. Kauçuk tabakalı izolatörler çekme kuvvetlerine nispeten daha dayanıklı olmasına karşın, eğri yüzeyli sürtünmeli izolatörlerin çekme kuvvetlerine karşı koyabilecek herhangi bir yapısal özelliği söz konusu değildir. Bu sebepten ötürü sismik yalıtım birimlerinin çekme etkisine maruz kalmaması oldukça önemli bir durumdur.

Büyük yatay deplasman taleplerini sınırlandırmak adına kullanılan bir diğer yöntem ise yapı sisteminin yalıtım arayüzünde sismik yalıtım birimlerine ilave olarak ilave viskoz sönümleyici elemanların kullanılmasıdır. Viskoz sönümleyici elemanlar silikon yağı ile doldurulmuş metal bir silindir, içinde boşluklu paslanmaz çelik piston ve akümülatörden oluşur. Akümülatörün kontrol vanalarıyla yönlendirdiği sıvı akışı, piston hareketiyle sıvının sıkışmasına neden olur ve bu da yay benzeri kuvvetler üretir, Şekil 2.8.



Şekil 2.8: Viskoz sıvı sönümleyici kesiti [16].

2.5 Dünya'daki Taban İzolasyonu Örnekleri

Taban izolasyonu uygulamaları geçmişten günümüze pek çok farklı ülkede gerçekleştirilmiştir. 1900'li yılların başında uygulanmaya başlanan bu yöntem ilk olarak yapıları depreme karşı güçlendirmek ve yeni yapılacak yapıları depreme karşı dayanıklı hale getirmek amaçlı kullanılmıştır. İzolatör teknolojisinin gelişmesiyle beraber ilerleyen yıllarda bu metot daha da yaygınlaşmıştır. [17]

2.5.1 The salt lake city and county binası, ABD

5 katlı, 34000 ton ağırlığına sahip bu yapı taban izolasyonu ile güçlendirilmiş ilk bina olarak yer almaktadır. Temel ile üst yapıyı ayırmak için 447 adet elastomerik mesnet kullanılmıştır. Wasatch fayına yaklaşık 2 mil uzaklıkta bulunan yapı sismik izolasyon yöntemi ile depremin etkilerinin 6 kat düşürülmesi ile sismik aktivitelere karşı dayanıklı hale getirilmiştir, Şekil 2.9.



Şekil 2.9: The Salt Lake city and Country binası [18].

2.5.2 San Francisco belediye binası, ABD

Bir diğer güçlendirme projesi olan San Francisco Belediye binasında 530 tane elastomerik mesnet kullanılmıştır. 1912 inşaa edilen bina 1989 yılında meydana gelen Lomer Priata depremi sonucunda hasar almıştır ve bu sebeple taban izolasyonu yöntemi ile güçlendirilme gereği duyulmuştur, [19].

2.5.3 Oakland belediye binası, ABD

1914'te inşaatı biten 18 katlı 99 m yüksekliğindeki bu yapıda 42 adet kurşun çekirdekli ve 69 adet kauçuk sismik izolatör kullanılmıştır, Şekil 2.10. 1914'te inşaa edilen bu yapı ABD'de ki sismik izolatörlü ilk yüksek katlı yapıdır. Binada üst yapının rijitliğini artırmak için ayrıca perde elemanlar da kullanılmıştır, [20].



Şekil 2.10: Oakland Belediye binası mod şekilleri [20].

2.5.4 Oiles teknik binası, Japonya

Japonya Fujisawa'da sismik izolasyon teknolojisiyle inşa edilen dördüncü yapı olan Oiles Teknik Binası, Sumitomo firması tarafından tamamlanmış ve Şubat 1987'de hizmete alınmıştır. Beş katlı yapı, zeminle etkileşimini azaltmak amacıyla, her biri 15 metre uzunluğunda olan toplam 30 derin temel kazığı üzerine oturtulmuştur. Yapının deprem güvenliği, 35 adet LRB ile sağlanmaktadır, [21].

2.5.5 The computer center of the Tohoku electric power company, Japonya

1990 yılında altı katlı bir elektrik üretim tesisi olarak inşa edilen bu yapı, içerisinde yüksek değere sahip ekipmanların bulunması nedeniyle taban izolasyon sistemi ile donatılmıştır, Şekil 2.11. İnşa edildiği dönem için Japonya'nın en büyük taban yalıtımlı yapısı olma özelliğini taşıyan bu yapıda 40 tane HDRB kullanılmıştır. Kullanılan izolatörlerin çapları 900 mm ile 1200 mm arasında değişmekte olup, her biri 400 ila 800 ton arasında düşey yük taşıma kapasitesine sahiptir, [22].



Şekil 2.11: Thouku elektrik güç şirketi data merkezi [23].

2.5.6 William Clayton binası, Yeni Zelanda

Yeni Zelanda'nın ilk sismik izolasyonlu yapısı olma özelliğine sahip bu bina, Wellington'da yer almaktadır. Yapıyı dünyada LRB izolatörlerin kullanıldığı ilk yapı olarak tarihte yerini almaktadır, Şekil 2.12. İzolatörler, 600 mm kenar uzunluğuna sahip kare kesitli olup, yükseklikleri 207 mm, kurşun çekirdek çapları ise 105 mm'dir. Bu izolasyon sistemi sayesinde yapının doğal periyodu 0,8 ile 2,0 saniye arasına çıkartılmıştır, [24].



Şekil 2.12: William Clayton binası [24].

2.5.7 Yeni Zelanda parlamento binası, Yeni Zelanda

Yapıda toplam 400 izolatör yer almakta olup, bunların yaklaşık %75'i kurşun çekirdekli yüksek sönümlü elastomerik mesnetlerden oluşmaktadır. Bu şekilde geliştirilen hibrit izolasyon sistemi, ilk defa bu projede uygulanmıştır. Taban izolasyonu için, yapının temeli kaldırılmış ve yerine 400'ün üzerinde kurşun çekirdekli elastomerik izolatörün yerleştirileceği yeni betonarme temel inşa edilmiştir. Güçlendirme ile yapının periyodu yaklaşık 3,0 saniyelere kadar uzatılmıştır, [24].

2.6 Türkiye’deki Taban İzolasyonu Örnekleri

Ülkemizde de Dünya’da olduğu gibi geçmişten günümüze pek çok sismik izolatör uygulaması gerçekleştirilmiştir. Özellikle yaşanan büyük depremlerden sonra gerek yeniden inşaa edilen yapılarda gerekse güçlendirme projeleri kapsamında pek çok projede bu tarz uygulamalara rastlanılmaktadır.

Mevcut durumda da günümüzde oldukça fazla yeni proje bulunmaktadır. Şu an için 100 yatak ve üzeri devlet hastanelerinde uygulanması zorunlu olan sismik izolatörlerin ilerleyen süreçte daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

2.6.1 Tarabya oteli güçlendirme projesi

Yaklaşık 1 ton taşıma kapasitesine sahip 139 adet eğri yüzeyli sürtünmeli izolatör kullanılmıştır. Güçlendirme çalışmaları iki aşamada yapılmış ve izolatörler yalnızca bazı kolonlara uygulanmıştır. İzolasyon düzlemi olarak, temel üzerindeki birinci kat döşemesi seçilmiş ve bu katman üzerindeki kolonlarda yalıtım sağlanmıştır, Şekil 2.13.



Şekil 2.13: Büyük Tarabya Oteli [24].

2.6.2 Atatürk Havalimanı

Atatürk Havaalanı’nın çatısında çatısında 130 adet sürtünmeli eğri yüzeyli sismik izolatör kullanılmıştır. Bu proje Türkiye’deki sismik yalıtımlı ilk güçlendirme projesi olarak tarihte yerini almaktadır. Terminalin çatı kafes sistemi 24 m aralıklarla konumlandırılmış olan 88 tane kolon üzerinde taşınmaktadır, [25].



Şekil 2.14: Atatürk Havalimanı çatısında kullanılan izolatör sistemi [25].

2.6.3 Erzurum Eğitim ve Araştırma Hastanesi

Bu yapı, 100 yatak ve üzeri kapasiteye sahip hastanelerde sismik izolasyon sistemlerinin zorunlu yapılmasının ardından hayata geçirilen ikinci projedir. 400 yatak kapasitesi ile tasarlanan bu yapıda, deprem sonrasında kesintisiz performans hedefiyle kullanılabilmesi adına çapları 800 mm ile 1100 mm arasında değişen toplam 386 adet LRB izolatör kullanılmıştır, [26].

2.6.4 Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi

İstanbul'un Başakşehir ilçesinde bulunan hastane yapısında toplamda 2068 adet sürtünmeli sismik izolatör kullanılmıştır. Sismik izolatörlerin tasarımının Amerikalı bir firma tarafından gerçekleştirildiği proje İstanbul'un Avrupa yakasında aynı projede en çok izolatör kullanılan yapı olma özelliğini taşımaktadır, Şekil 2.15.



Şekil 2.15: Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi [27].

2.6.5 Kartal Lutfi Kırdar Eğitim ve Araştırma Hastanesi

920 adet yatak kapasitesine sahip olunan projede 855 adet sürtünmeli sarkaç tipi sismik yalıtım birimi kullanılmıştır, [26].

2.6.6 Kocaeli Üniversitesi Hastanesi

62.500 m² kapalı alan üzerine inşa edilen yapıda toplam 256 adet sürtünmeli sarkaç tipi izolatör kullanılmıştır. Yapıda yer alan bu izolatörler 300 mm yatay deplasman kapasitesine sahip olacak şekilde dizayn edilmiştir, [17].

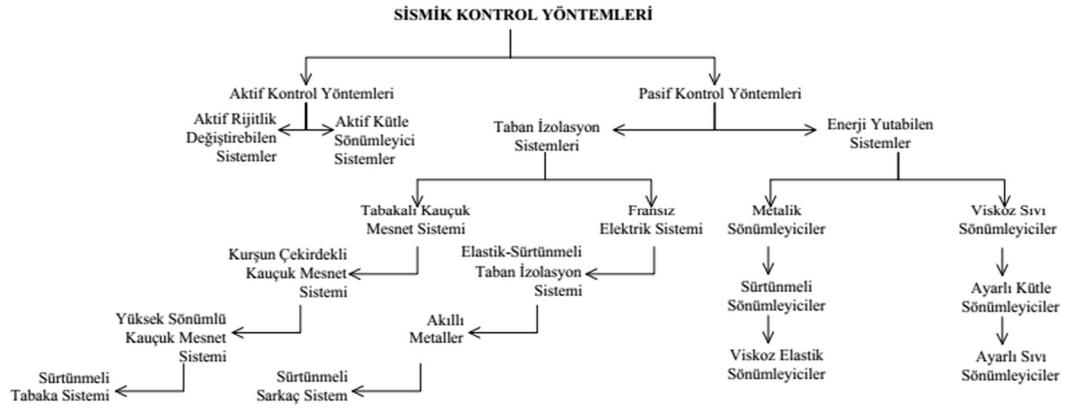
2.6.7 Tekirdağ Fehmi Cumaloğlu Şehir Hastanesi

114.313 m² alana inşaa edilen yapı toplamda 605 adet yatak kapasitesine sahiptir. Proje Akfen İnşaat tarafından Kamu Özel İş Birliği modeli üzerine inşaa edilmiş olup 2020 yılında faaliyete geçmiştir. Yapıda toplamda 651 adet sürtünmeli sarkaç tip izolatör kullanılmıştır, [28].

Türkiye’de pek çok sismik izolatör uygulaması bulunmaktadır. Bunların bir kısmının detayına yer verilirken aşağıda da bu projelerden bazılarının isimlerine yer verilmiştir:

- Turkcell Avrupa Veri Merkezi, Çorlu Tekirdağ
- Isparta Şehir Hastanesi
- Eskişehir Şehir Hastanesi
- Sakarya Akyazı V2 Viyadüğü
- Adana Entegre Sağlık Kampüsü Projesi
- Sabiha Gökçen Havaalanı Terminali
- Bursa Hızlı Tren Köprüsü
- TAG, Tarsus Adana Gaziantep Otoyolu Projesi Viyadükleri
- Muğla Milas Devlet Hastanesi
- Bursa Kestel Devlet Hastanesi
- Bursa Ali Osman Sönmez Devlet Hastanesi
- Erzincan Devlet Hastanesi
- Bilecik Devlet Hastanesi
- Hatay Dört Yol Devlet Hastanesi

3. TABAN İZOLASYONU YALITIM BİRİMİ TÜRLERİ



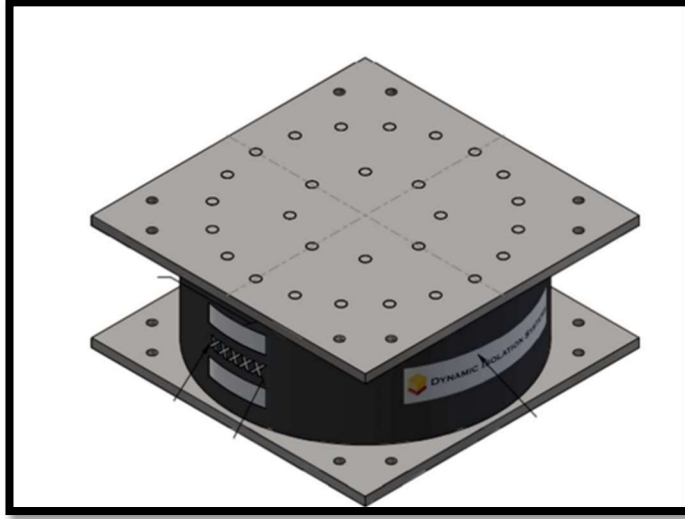
Şekil 3.1: Sismik kontrol yöntemleri [29].

Aktif kontrol sistemi, yapıya uygulanacak kuvvetin, deprem anında ayarlanması prensibini esas alırken, pasif kontrol sistemlerinde ise, meydana gelebilecek en büyük olasılıklı deprem etkileri dikkate alınarak önceden tasarlanır. Taban izolasyonu kapsamında temel olarak iki çeşit izolatör bulunmaktadır, Şekil 3.1. Bunlardan biri kauçuk izolatörler iken bir diğeri ise sürtünmeli sarkaç tip izolatörlerdir, [30].

Kauçuk izolatörler de kendi içinde üç ayrı gruba ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla düşük sönümlü yüksek sönümlü ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatör olarak adlandırılmaktadır. Sürtünmeli izolatörler ise düz yüzeyli ve eğri yüzeyli olarak iki ana gruba ayrılırken eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip izolatörler ise tek yüzeyli, çift yüzeyli ve üç yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip izolatör olarak 3 ayrı gruba ayrılır.

3.1 Kauçuk İzolatörler

Kauçuk izolatörler ince çelik plakaların kauçuk katmanları ile üst üste getirilmesi ve pres yöntemi ile vulkanize edilmesi sonucu üretilen sismik yalıtım birimi elemanlarıdır, Şekil 3.2. Kauçuk malzemenin mekanik özelliklerini, özellikle çekme dayanımını artırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri ilave edilebilmektedir. Malzemenin enerjiyi sönümleme kapasitesini yükseltmek için ise kauçuk içerisinde karbon siyahı katılabilir, [24].

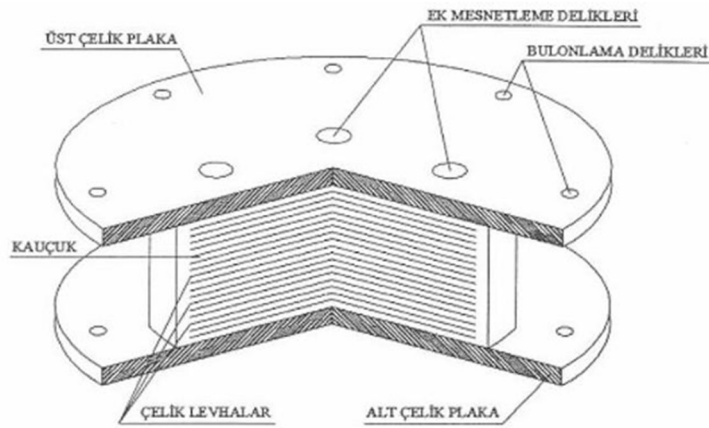


Şekil 3.2: Kauçuk izolatör [31].

Kauçuk izolatörlerde kauçuk türü olarak yüksek elastik şekil değiştirme kapasitesine sahip doğal kauçuk kullanılmaktadır. Sismik izolatör elemanları çok büyük çaplı bir sismik izolatör olmadığı takdirde 12-13 saatte 120-130 C° sıcaklıkta preslenebilmektedir.

3.1.1 Düşük sönümlü kauçuk izolatör – (LDRB)

Şekil 3.3’de yer aldığı üzere LDRB izolatörler kauçuk izolatörler arasında kullanılan ilk yalıtım tiplerinden biridir. İnce çelik sac plakaların üzerine kauçuk katmanların yerleştirilmesi ve preslenerek vulkanize edilmesi esasına dayanır, [24].



Şekil 3.3: Düşük sönümlü kauçuk izolatör (LDRB) [24].

Bu tür sismik izolatörler kolay bir şekilde üretilabilmektedir, aynı zamanda tasarımı da diğer izolatör türlerine oranla daha kolaydır. Isı, yaşlanma ve tekrarlı yükler altında nispeten daha iyi bir performans sergilemesi bu tür izolatörlerin avantajlı yönleri arasında yer almaktadır.

Bu tür sismik yalıtım elemanlarının en büyük dezavantajı %2 gibi düşük sönümleme etkisine sahip olmasıdır. Bu sebepten dolayı taban izolasyonu uygulamalarında bu tür izolatörler tek başlarına değil de ek sönümleyici sistemler ile kullanılırlar, [32].

Ek sönümleyici olarak vizkoz sönümleyici damper sistemler tercih edilebilmektedir. Ancak bu tür elemanların kullanılması da maliyet anlamında ek bir yük oluşturmaktadır. Bu durum da daha yüksek sönümleyici özelliğe sahip sismik izolatör ihtiyacını doğurmaktadır.

3.1.2 Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler – (HDRB)

Bu tür izolatörler de tıpkı düşük sönümleyici izolatörler gibi ince çelik plakaların kauçuk katmanları ile preslenmesi sonucu elde edilmektedir. Yüksek sönümleyici izolatörlerin düşük sönümleyici izolatörlerden farkı izolatörü oluşturan kauçuk malzemenin içerik anlamında bileşenlerinin farkı olmasıdır, [33].

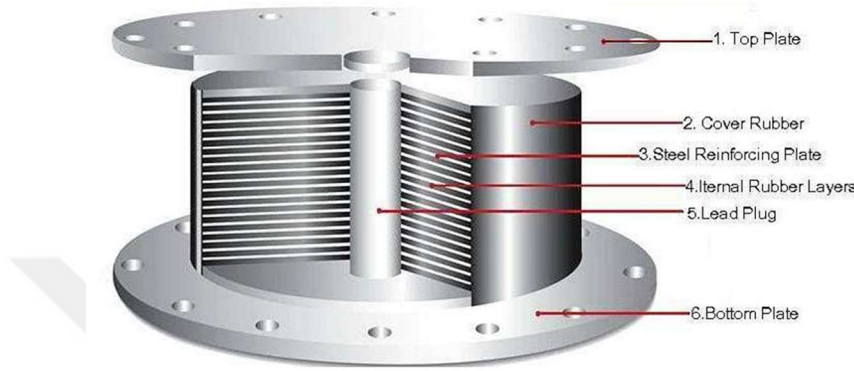
1982 yılında “Malaysian Rubber Producers Research Association” kurumu tarafından geliştirilen bu izolatör türünün elastomer malzemesi düşük sönümlü elastomer malzemeye göre aşırı karbon siyahı, yağlar, reçine ve çeşitli ilave katkı maddeleri içermektedir. Özellikle karbon siyahının artışına bağlı olarak elastomer malzeme şekil değiştirmeye karşı daha dirençli hale bürünmekte ve yüksek enerji sönümleme kapasitesine ulaşmaktadır, [34].

Bu sayede %100 şekil değiştirmede sönüm miktarı % 20 mertebelerine kadar arttırılabilmektedir. Yüksek sönümlü izolatörler diğer elastomer mesnetler gibi düşeyde düşük yatay rijitliğe sahip iken yüksek sönümleme kapasitesi ile deprem enerjisini bir sönümleyici eleman gibi yutarlar.

Üretim ve dizayn ve montaj anlamında LDRB’ de olduğu gibi büyük çaplı zorluk olmayan bu tür elastomerik izolatörler yoğun trafik akışının olduğu yerler veya metro hattının geçtiği bir bölgede bulunan bir yapı için, dinamik etkilerden kaynaklı düşey vibrasyonu sönümleme açısından etkili bir performans gösterebilmektedir, [34].

3.1.3 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ilk olarak 1975 yılında Yeni Zelanda’ da icat edilmiştir, Şekil 3.4. Bu tür izolatörlerde tabaka halinde sıkıştırılmış kauçuk ve çelik plakalara ilave olarak sönümü artırmak amacıyla kurşun çekirdek ilave edilir, [24].



Şekil 3.4: Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (LRB) [35].

Kurşun çekirdeğin boyutları, izolatör elemanın ihtiyaç duyduğu başlangıç rijitliği ve taşıyacağı yükün büyüklüğüne göre boyutlandırılır. İzolatör yatayda kuvvete tabii tutulduğunda, çelik plakalar tarafından kurşun çekirdek şekil değiştirerek deformasyona uğramaya zorlanır, [36]. Böylece kurşun çekirdekte plastik deformasyon meydana gelir ve dinamik enerji sönmülenebilir. Kauçuk tabakalara yapıştırılmış olan kurşun çekirdeğin bu davranışı ile izolatörün yatay deplasmanları sınırlandırılarak sistemin sismik performansı artırılır, [34].

LRB histeretik bir davranış modeli sergileyerek kuvvet yer değiştirme ilişkisinin nonlineer olduğu görülmektedir. Bu sayede LRB izolatörler düşük şiddetli deprem ve rüzgar kuvvetlerine karşı düşeyde rijit kalırken yatayda elastik davranış gösterir.

LRB izolatörler yapıda tek başına kullanılabilirdiği gibi LDRB izolatörler ile de birlikte kullanılabilir. LDRB izolatörlerin dış kolonlara LRB izolatörlerin ise iç kolonlara yerleştirilmesi pek olası bir çözümdür.

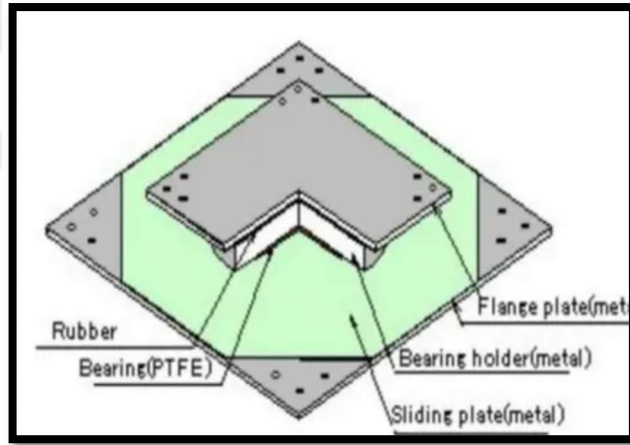
LRB izolatörlerin sönüm miktarı %15 - 30 aralığına çıkabilmekte iken bu tür yalıtım birimlerinin en büyük dezavantajı büyük depremler sonucunda kurşun çekirdeğin sağlam olup olmadığının gözlemlenememesidir. Geçmişteki Northridge ve Kobe depremlerinde bu tür izolatörlerin iyi bir performans sergilediği gözlenmiştir, [34].

3.2 Sürtünmeli İzolatörler

Bu tür yalıtım elemanları deprem enerjisini yer çekimi ve sürtünme kuvveti ile sönmleme prensibi ile çalışmaktadır, [22]. Genel yapısı iki çelik plaka arasında hareket etmeye olanak sağlayan ve kolaylaştıran eleman bulunur. Çelik plakaların yapısı iç bükey şeklindedir. Böylece salınım sonrasında kendini yeniden başlangıç konumuna getirebilme özelliğine sahip olur.

3.2.1 Düz yüzeyli sürtünmeli izolatörler

Bu tür yalıtım birimlerini oluşturan çelik plakaların iç yüzeyleri düz yüzeylidir, Şekil 3.5. Bu sebepten dolayı kendilerini merkezleme yeteneğine sahip değildirler. Yapı periyotlarını uzatma özelliği olmayan bu tür sürtünmeli izolatörler ancak yapıya etkileyen deprem kuvvetlerinin düşürülmesine olanak tanır. Bu sebepten dolayı sismik etkilere karşı performansı çok etkili değildir, [6].

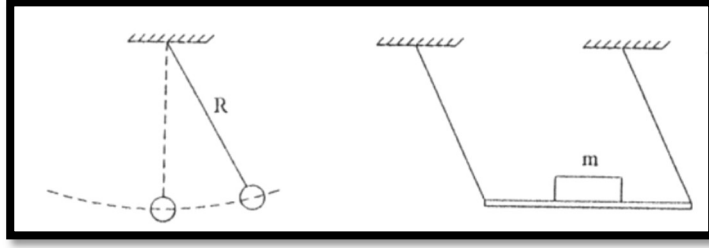


Şekil 3.5: Düz yüzeyli sürtünmeli izolatör [6].

3.2.2 Eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip izolatörler (FPS)

Eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip izolatörler sarkaç sistemi prensibi ile çalışmaktadır. Eğrisel bir yörüngede hareket eden kütle yer çekimi kuvveti ve sürtünme etkisi ile depremden kaynaklı elde ettiği enerjiyi sönmleyebilmektedir, Şekil 3.6.

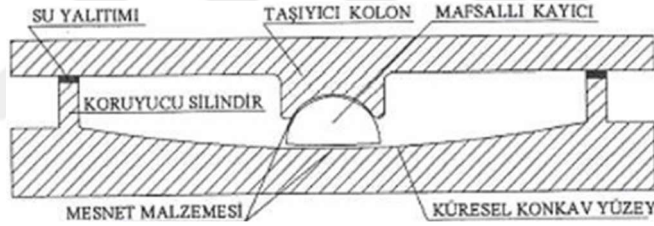
Bu elemanlarda titreşim periyodu sadece eğrilik yarıçapına bağlıdır. Dolayısı ile kütleden bağımsızdır. Bu sebepten ötürü tasarımı daha kolaydır, [6].



Şekil 3.6: Sarkaç sistem çalışma prensibi [24].

Deprem sırasında, üst yapı yatay etkiler altında içbükey bir yüzey boyunca kayarak yukarı doğru hareket eder. Böylece yapının sahip olduğu kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşür. Dinamik etkiler sona erdiğinde ise sistem, sarkaç hareketiyle başlangıçtaki denge konumuna dönene kadar salınımını sürdürür, [35].

Eğri yüzeyli sürtünmeli izolatörler tek yüzeyli sürtünmeli yüzeye sahip olduğu gibi birden fazla sürtünme yüzeyine sahip olacak şekilde de tasarlanabilmektedir. Genellikle izolatörler tasarım deplasmanlarının yüksek mertebede olduğu projelerde bu tarz uygulamalara yer verilmektedir, Şekil 3.7.



Şekil 3.7: Eğri yüzeyli sürtünmeli izolatör [24].

Deprem gibi dinamik etkilerin ardından eğrisel çelik iç yüzeylere sahip olan bu yalıtım birimleri kendilerini tekrardan ilk konumlarına getirebilme etkisine sahiptir. Deprem veya rüzgar kuvveti çelik plakalar arasındaki sürtünme kuvvetini yenemeyecek kadar düşük olduğu durumlarda yapıda herhangi bir salınım oluşmayacaktır. Çünkü dinamik etkiler sürtünme kuvvetini yenecek kadar büyük seviyelere ulaşmamış olacaktır.

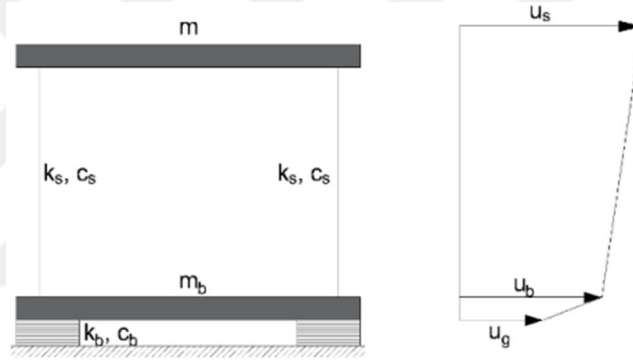
Deprem etkisi altında, sistemin yanal rijitliği ve her bir izolatör mafsallında oluşan sürtünme kuvveti, doğrudan üst yapının ağırlığıyla ilişkilidir. Bu nedenle, üst yapının ağırlık merkezi ile izolatör sisteminin rijitlik merkezinin çakışması gerekmektedir. Bu şart sağlandığında, yapıda burulma oluşumu engellenmiş olur, [35].

Sürtünmeli izolatörlerin zayıf noktası olarak yüksek düşey deprem etkilerinde çelik plakaların ayrılabilme ve tekrardan kendini merkezleyemeyebilme ihtimalidir.

4. SİSMİK YALITIM BİRİMLERİNİN TASARIM ESASLARI

4.1 Sismik İzolatörlerin Tasarım Detayları

Sismik yalıtım birimlerinden olan elastomerik ve sürtünmeli izoaltörlerin tasarımına yönelik detaylar TBDY 2018’de yer alan esaslar doğrultusunda aktarılacaktır. Bu detaylara yer verilmeden önce izolasyonlu bir yapıda temel hareket denkleminin ne şekilde değiştiği ele alınacaktır. Taban yalıtımlı bir yapıda katlar arasında meydana gelen göreceli kat yer değiştirmelerine ek olarak izolatörün yer değiştirmesinden kaynaklı ek bir deplasman daha söz konusudur, Şekil 4.1.



Şekil 4.1: Çift serbestlik dereceli taban izolasyon modeli [23].

Üst yapı kütlesi m ile ifade edilirken m_b izolatör katın ağırlığını ifade etmektedir. k_s yapı rijitliğini, c_s yapı sönümünü, k_b izolatör rijitliğini, c_b izolatör sönümünü temsil etmektedir. u_g zemindeki yer değiştirmeyi ifade ederken, u_b taban katın deplasmanını, u_s ise yapının toplam yer değiştirmesini temsil etmektedir.

Bu kapsamda basit bir şekilde yapıya ait dinamik hareket denklemi Denklem 4.3’teki gibidir. v_b yapı için göreceli deplasmanı v_s ise zemin için göreceli yer değiştirmeyi ifade eder.

$$(m + m_b)\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b)\ddot{u}_g \quad (4.1)$$

$$m\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_s\dot{v}_s + k_s v_s = -m\ddot{u}_g \quad (4.2)$$

$$\begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_b \\ \ddot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_b \\ \dot{v}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_b \\ v_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (4.3)$$

İzolasyonlu sistemlerde TBDY'ne göre pek çok tasarım detayı söz konusudur. Bu tarz yapılarda üst yapı DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre dizayn edilirken izolasyon katı ise DD-1 deprem düzeyine göre tasarlanmaktadır.

Üst yapı tasarımı yapılacak dayanım fazlalığı ve deprem yükü azaltma katsayılarına ilişkin detaylar Çizelge 4.1'de yer aldığı gibidir. Üst yapıda taban izolasyonu ile kesintisiz veya sınırlı hasar performans hedefi beklenirken kat ivmeleri izolatör özelliklerinin nominal değerleri ile hesaplanmaktadır, [6].

Çizelge 4.1: Deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları.

Performans Hedefi	R	D
KK	1,2	1,2
SH	1,5	1,5

İzolasyon katının tasarımında deprem yükü azaltma aktsayı $R=1.0$ olarak kullanılmaktadır. Yalıtım katı için kullanılacak yük kombinasyonlarına ait detaylar yönetmelikteki denklemlere göre ifade edilmiştir.

$$1,4G + 1,6Q \quad (4.4)$$

$$1,2G + Q + E_d \quad (4.5)$$

$$0,9G + E_d \quad (4.6)$$

Üst yapıda olası en büyük deprem kuvvetleri dikkate alınarak izolatör özelliklerinin üst değerleri kullanılırken, izolasyon katı ve alt yapı için en büyük olası izolatör yer değiştirmeleri esas alınarak izolatör alt sınır değerleri tasarımda esas alınır, [6].

4.2 Kauçuk Yalıtım Birimleri için Tasarım Esasları

Hesaplamalarda kullanılacak alt ve üst sınır değerleri Denklem 4.7 ve Denklem 4.8'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\lambda_{üst} = [1 + 0,75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deney,üst}\lambda_{spek,üst} \quad (4.7)$$

$$\lambda_{alt} = [1 - 0,75(1 - \lambda_{ae,üst})]\lambda_{deney,üst}\lambda_{spek,üst} \quad (4.8)$$

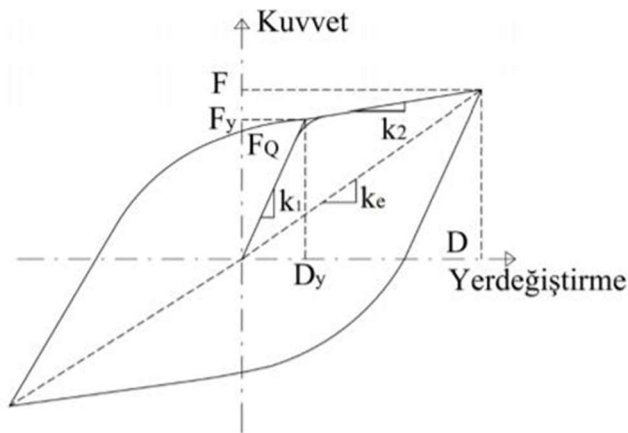
Elastomer mesnetlerde kullanılabilecek alt ve üst sınır değerlerinin izolator tipine göre ne alınacağı açıkça ifade edilmiştir. F_Q yalıtım biriminin karakteristik dayanımını ifade ederken k_2 ise yalıtım biriminin elastik ötesi rijitliğini ifade etmektedir, Çizelge 4.2.

λ_{ae} çevresel etkiler ile ilgili iken λ_{deney} yükleme esnasındaki hız ve ısınma kaynaklı etkileri ve λ_{spek} te üretim aşamasındaki değişken koşulları esas alan çarpanlar olarak işlev görmektedir.

Çizelge 4.2: Elastomer mesnetler için alt ve üst sınır değerleri.

Parametre	tip	F_Q		k_2	
		alt	üst	alt	üst
λ_{ae}	LRB	1,00	1,10	1,00	1,30
	HDRB	1,00	1,30	1,00	1,40
λ_{deney}	LRB	0,70	1,30	0,90	1,30
	HDRB	0,70	1,30	0,90	1,30
λ_{spek}	LRB	0,85	1,15	0,85	1,15
	HDRB	0,85	1,15	0,85	1,15

Elastomer izolatöre ait kuvvet yer değiştirme ilişkisini içeren histerik eğri yer almaktadır, Şekil 4.2. k_1 elastik rijitliği, k_2 akma sonrası rijitliği ve k_e ise efektif rijitliği temsil etmektedir. F_y akma dayanımı, F_Q karakteristik dayanımı, D_y de izolatorün elastik ötesi harekete başladığı deplasman miktarıdır.



Şekil 4.2: Elastomer mesnet kuvvet – yer değiştirme ilişkisi [3].

$$k_1 = \frac{F \cdot y}{D_y} \quad (4.9)$$

$$k_e = \frac{F}{D} \quad (4.10)$$

Kauçuk izolatörlerin mekanik özellikleri, kapsamlı araştırmalar ile geliştirilen analitik ifadeler aracılığıyla tanımlanmıştır. Bu formüller deneysel çalışmalarla doğrulanarak güvenilirlikleri artırılmış ve parametrik analizlerle öngörüler yapılmıştır, [3].

Bu kapsamda izolatörün sahip olduğu en önemli özellikler yatay ve düşey rijitlik değerleridir. Yatay rijitlik değeri Denklem 4.11’ deki gibi belirlenirken düşey rijitlik değeri ise Denklem 4.12’deki gibi tespit edilmektedir. Denklem 4.13 ve 4.14’te ise sırasıyla düşey rijitlik modülü ve basınç modülüne yer verilmektedir.

$$K_H = \frac{G \cdot A_r}{t_r} \quad (4.11)$$

$$K_v = \frac{E_v \cdot A_r}{t_r} \quad (4.12)$$

G: Elastomer kayma modülü, malzemenin kaymaya karşı gösterdiği rijitliktir.

Ar: Tek elastomer tabakanın, çelik levhaya yapışık ve yüklemeye maruz kalan etkin yüzey alanıdır.

tr: Toplam kauçuk kalınlığı; izolatörün düşey yöndeki elastomerik kısmının toplam yüksekliğini ifade eder.

E_v: Düşey rijitlik modülünü temsil etmektedir.

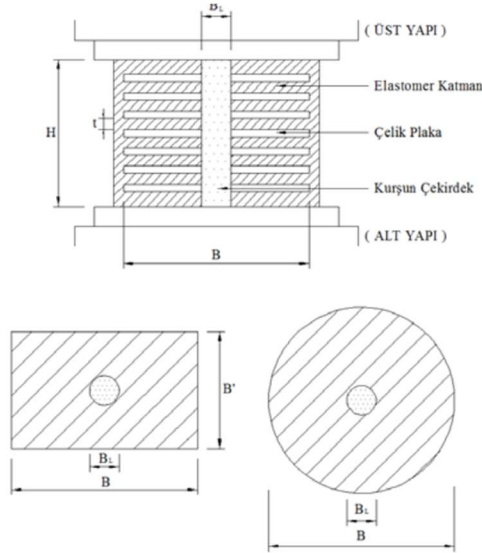
$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} \quad (4.13)$$

$$E_c = E_0(1 + 2kS^2) \quad (4.14)$$

E_c: Elastomer yalıtım elemanının basınç modülüdür ve E₀ = 4 G_v olarak belirlenebilir.

K: Kauçuğun hacim modülüdür. 2000 Mpa olarak alınır.

k: Kauçuğun sertlik değeridir. Bu değer 50, 60 ve 70 olduğu durumlar için k değeri sırasıyla 0,75, 0,6 ve 0,55 olarak alınacaktır.



Şekil 4.3: Elastomerik mesnet enkesit görünümü [3].

Elastomer mesnedin elastik ötesi rijitliği Denklem 4.15’de yer aldığı gibi hesaplanacaktır. T_r , toplam kauçuk kalınlığını ifade etmektedir. Karakteristik dayanım ise Denklem 4.16’da yer aldığı gibi hesaplanmaktadır. A_p kurşun çekirdeği alanını, τ_{yp} ise karakteristik dayanımını ifade eder.

$$k_2 = G_v (A_r / T_r) \quad (4.15)$$

$$F_Q = A_p \tau_{yp} \quad (4.16)$$

Şekil 4.3’e göre A_r değerinin daire ve dikdörtgen kesitli izolatörler için nasıl hesaplandığı Denklem 4.17 ve Denklem 4.18’de sırasıyla açıklanmıştır. B kauçuk katman genişliğini ifade ederken B_L ise kurşun çekirdek çapını belirtmektedir.

$$A_r = (\pi / 4) (B^2 - B_L^2) \quad (4.17)$$

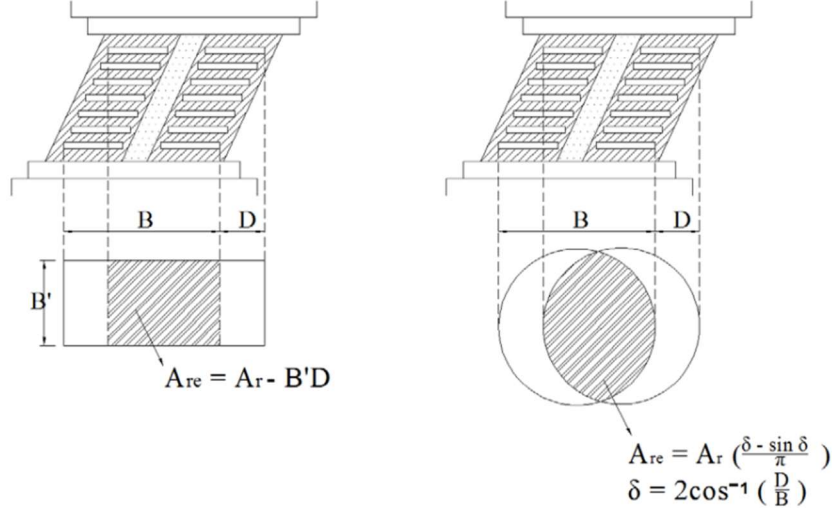
$$A_r = BB' - (\pi B_L^2 / 4) \quad (4.18)$$

Elastomerik mesnetlerin tasarımında ihtiyaç duyulan bir diğer parametre şekil katsayısıdır. (S) Bu katsayı dikdörtgen ve dairesel kesitli izolatörler için sırasıyla Denklem 4.19 ve Denklem 4.20’ye göre belirlenmektedir.

$$S = A_r / A_L \quad (4.19)$$

$$S = (B^2 - B_L^2) / (4Bt) \quad (4.20)$$

t: Tek kauçuk katman kalınlığı



Şekil 4.4: Elastomerik mesneden etkin alanı [3].

DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri altında elastomerik yalıtım biriminde basınçtan dolayı oluşan birim şekil değiştirme Denklem 4.21’ de yer aldığı gibi hesaplanacaktır.

$$\gamma_{C,E} = 6SP_{k2} / (A_{re}E_C) \quad (4.21)$$

DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri altında elastomerik yalıtım biriminin yatay yerdeğiştirmesinden kaynaklı birim şekil değiştirmesi Denklem 4.22’ deki gibi hesaplanır. D ilgili deprem yer hareketi düzeyindeki yatay deplasman miktarıdır.

Denklem 4.23’de yalıtım biriminin yatay yerdeğiştirme miktarının toplam kauçuk yüksekliğinin iki katından fazla olmayacak şekilde dizayn edilmesi gerektiği yönetmelik tarafından ifade edilmiştir.

$$\gamma_{S,E} = D / T_r \quad (4.22)$$

$$\gamma_{S,E} = D / T_r < 2,0 \quad (4.23)$$

Denklem 4.24, Denklem 4.25 ve Denklem 4.26’ de sırasıyla dairesel kesitli ve kurşun çekirdeği olmayan, kare kesitli ancak kurşun çekirdeksiz ve kurşun çekirdek içeren izolatör tipleri için kritik burkulma yüklerine yer verilmiştir.

$$P_{cr} = 0,218G_vB^4 / (tT_r) \quad (4.24)$$

$$P_{cr} = 0,340G_vB^4 / (tT_r) \quad (4.25)$$

$$P_{cr} = 0,218 \frac{G_vB^4 (1-B_L/B)(1-B_L^2/B^2)}{(tT_r) (1+B_L^2/B^2)} \quad (4.26)$$

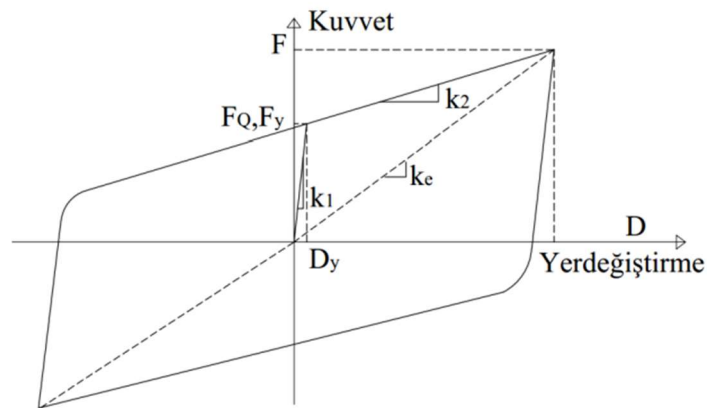
4.3 Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için Tasarım Esasları

Elastomer izolatörler kısmında tasarımda kullanılacak alt ve üst sınır değerleri için Denklem 4.7 ve Denklem 4.8’ de ilgili detaylar verilmiştir. Denklemlerde yer alan λ_{ae} , λ_{deney} ve λ_{spek} katsayılarının sürtünmeli mesnetler için olan detaylarına çizelge 4.3’te yer verilmektedir.

Çizelge 4.3 Sürtünmeli izolatörler için alt ve üst sınır değerleri.

Parametre	μ	
	Alt	üst
λ_{ae}	1,00	1,20
λ_{deney}	0,70	1,30
λ_{spek}	0,85	1,15

Sürtünmeli yalıtım birimlerine ait kuvvet yer değiştirme ilişkisini içeren histerik eğri Şekil 4.5’ de yer aldığı gibidir. Burada k_1 izolatörün elastik rijitliğini, k_2 akma sonrası rijitliğini, k_e ise sistemin efektif (etkin) rijitliğini ifade eder. F_y akma dayanımı olarak tanımlanırken, F_Q karakteristik dayanımı temsil etmektedir. D_y ise izolatörün elastik davranış sınırını aşarak plastik davranışa geçtiği deplasman seviyesidir.



Şekil 4.5: Sürtünmeli izolatöre için kuvvet-yer değiştirme ilişkisi [3].

Elastomerik izolatörlerle karşılaştırıldığında sürtünmeli izolatörlerde yüksek bir elastik rijit davranış modeli görülmektedir. Bir başka deyişle sürtünmeli izolatörleri harekete geçirmek için nispeten daha yüksek bir yatay kuvvete ihtiyaç vardır.

Sürtünmeli izolatörlerin karakteristik dayanımı Denklem 4.27’de yer aldığı gibi hesaplanmaktadır. Denklemdaki μ_e sürtünme katsayısını, P ise sismik izolatörün üzerine gelen düşey kuvveti temsil etmektedir.

$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad (4.27)$$

Bu tür yalıtım birimlerinin ikincil rijitliği Denklem 4.28’deki şekilde hesaplanmaktadır. Denklemden yer alan R_c sembolü çelik plakalardaki kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapını temsil etmektedir.

$$k_2 = P / R_c \quad (4.28)$$

Histerik döngüdeki efektif rijitlik ise eğride ulaşılan maksimum yük değerinin yatayda ulaşılan maksimum deplasman değerine bölünmesi ile elde edilecektir, Denklem 4.29.

$$k_e = F / D = P / R_c + \mu_e P / D \quad (4.29)$$

Etkin sönüm oranı değerine ise Denklem 4.30’da yer aldığı üzere histerik döngüde tüketilen enerjinin (W_d), $2\pi FD$ ’ye bölünmesiyle ulaşılır.

$$\beta_e = W_d / 2\pi FD \quad (4.30)$$

4.4 Hesap Yöntemleri

Taban izolasyonlu yapıların tasarımı etkin deprem yükü, mod birleştirme yöntemi veya zaman tanım alanında analiz gibi pek çok yöntemle dizayn gerçekleştirilebilir.

Etkin deprem yükü yönteminin uygulanabilmesi için yönetmelik tarafından bazı kıstaslar konulmuştur. TBDY 2018’ e göre ilgili sınırlandırmalar aşağıda belirtildiği gibidir.

- Yapı ZA, ZB, ZC veya ZD sınıfı zeminde olacaktır.
- İzolasyonlu yapının DD-1 deprem yer hareketinde etkin periyodu 4,0 s’nin altında olmalıdır.
- İzolasyon sistemi üzerindeki kat adedi 4 m’yi, izolasyon arayüzü üzerindeki toplam yükseklik ise 20 m’yi aşmamalıdır.
- Herhangi bir çekme veya kalkma etkisi izolatörlerde oluşmamalıdır.

- Etkin sönüm oranı %30'u aşmamalıdır.
- Düşey doğrultudaki yapı titreşim periyodu 1 s'nin altında olmalıdır.
- Yapıda B2 tür düzensizlik olmamalı ve her kattaki burulma düzensizliği katsayısı 2,0 değerinin altında olmalıdır.

Bu koşulları sağlayan yapılar için etkin deprem yükü yöntemi kullanılabilir. Mod birleştirme yöntemi ise ilk iki madde ile beraber yapıda herhangi bir çekme etkisi yoksa tercih edilebilen bir yöntemdir. Etkin Deprem Yükü Yöntemine göre tasarım deprem düzeyi DD-2 için yalıtım birimi yerdeğiştirmesi Denklem 4.31'e göre, en büyük deprem düzeyi için Denklem 4.32'deki gibi elde edilir.

$$D_D = 1,3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_D^2 \eta_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \quad (4.31)$$

$$D_M = 1,3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \quad (4.32)$$

DD-2 ve DD-1 deprem yer hareketi düzeyleri için yapı etkin periyodu sırasıyla Denklem 4.33 ve Denklem 4.34'teki gibi belirlenebilir.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_D}} \quad (4.33)$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_M}} \quad (4.34)$$

Sönüm ölçeklendirme katsayısı Denklem 4.35'teki gibi belirlenir. ξ etkin sönüm yüzdesidir.

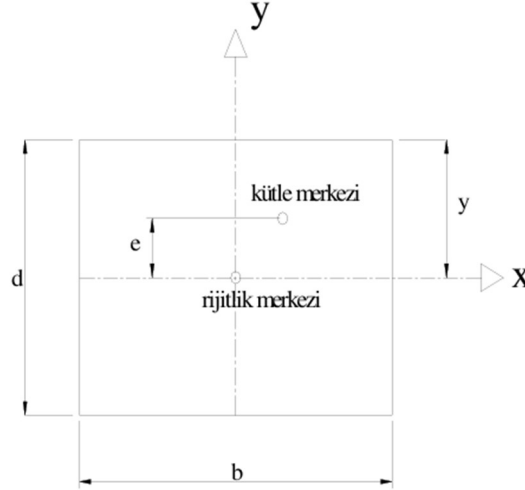
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad (4.35)$$

DD-2 ve DD-1 deprem düzeylerinde, izolasyon arayüzündeki total yer değiştirme, Denklem 4.31 ve Denklem 4.32 ile elde edilen değerlere, üst yapının ve yalıtım sisteminin burulmasından kaynaklı ek deplasmanların ilave edilmesiyle ulaşılır.

Denklem 4.36 ve Denklem 4.37'deki d, yapının plandaki en uzun doğrultudaki boyunu, b ise bu doğrultuya dik olan plandaki boy uzunluğunu, e ise üst yapı ağırlık merkezi ile yalıtım sistemi rijitlik merkezi arasındaki dış merkezlik değeridir, Şekil 4.6.

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (4.36)$$

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (4.37)$$



Şekil 4.6: Dış merkezlik hesabı için total yer değiştirme için plan boyutları [19].

Burulmalardan kaynaklı yer değiştirmelerin Denklem 4.36 ve Denklem 4.37'deki hesaplanan değerlerden daha küçük olması durumunda hesapta elde edilen değerler ile $1,1D_M$ ve $1,1D_D$ değerlerinden büyük olanları için ilgili parametreler dikkate alınacaktır.

$$V_D = (S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)W \eta_D)/R \quad (4.38)$$

$$V_M = (S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)W \eta_M)/R \quad (4.39)$$

Üst yapıya etkiyecek kuvvet tasarım deprem düzeyi DD-2 ve en büyük deprem düzeyi DD-1 için Denklem 4.38 ve Denklem 4.39'da olduğu gibi hesaplanacaktır.

Üst yapıya aktarılan kuvvetin büyüklüğü, hiçbir koşulda tasarım rüzgar yükü seviyesinden veya yalıtım sisteminin ikincil rijitlik bölgesine geçişini sağlayacak kuvvet değerinden daha düşük olmamalıdır.

Üst yapıya etkiyen kuvvet ise katlara denklem 4.40' daki gibi dağıtılacaktır.

$$F_S = (V_D w_x h_x)/(\sum w_i h_i) \quad (4.40)$$

5. TABAN İZOLASYONLU YAPI İÇİN SAYISAL UYGULAMA

5.1 Yapı Modeli

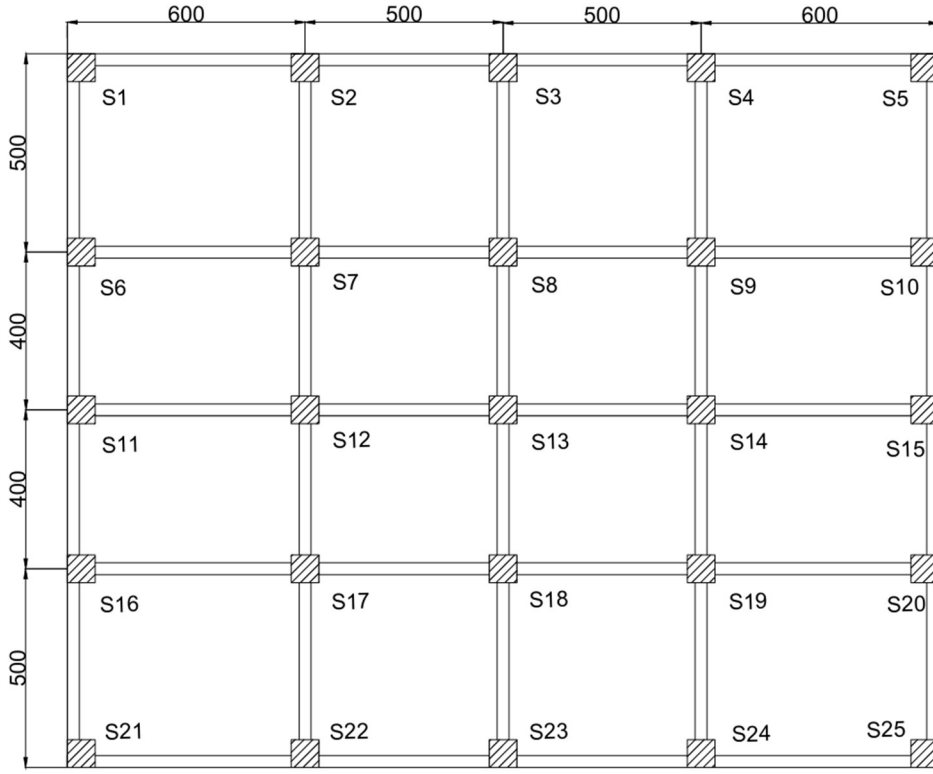
Tez çalışması kapsamında yatay düzlemde her iki doğrultuda 4'er açıklığı bulunan 5 katlı betonarme çerçeve sistem tercih edilmiştir. Tez çalışması kapsamında yapı modelinin taban izolasyonlu modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

Taban yalıtımlı modelde kurşun çekirdekli kauçuk izolator kullanılmıştır. İzolatör parametreleri TBDY' nin 14. bölümüne istinaden yapılmıştır. Yapı, konut yapısı olarak tasarlanacak olup kolonlar 700 mm × 700 mm, kirişler 300 mm × 600 mm, döşeme kalınlığı ise 150 mm olarak belirlenmiştir, Şekil 5.1.

Yapı SAP 2000 programında öncelikle ankastre sistem olarak modellenmiş daha sonrasında yapıdan gelen yüklere istinaden izolator ön boyutlandırmaları yapılmıştır. Daha sonrasında belirlenen izolator parametreleri ile beraber yapı modeli uzak ve yakın deprem kayıtları altında analiz edilmiştir. Uzak fay deprem kayıtları seçilirken faya yakınlık $R_{rup} > 15$ km olacak şekilde tercih edilmiştir. Yakın fay deprem kayıtlarında ise $R_{rup} < 10$ km ve $PGV > 500$ mm/s parametreleri dikkate alınarak seçilmiştir.

Deprem kayıtları PEER ve AFAD veri sisteminden temin edilmiştir. Sismik yalıtım birimli yapının uzak deprem kayıtları altında belirlenen izolator parametreleri ile yeterliliği kanıtlanmıştır. Aynı şekilde yakın fay deprem kayıtları için de analiz gerçekleştirilmiştir. Yakın deprem kayıtları altında taban izolasyonlu yapıda izolatorların tasarım kapasitesinin bazı deprem kayıtları altında aşıldığı görülmüştür.

Bu durumda, artan ve yetersiz kalan izolator deplasman taleplerini düşürmek adına yapıya viskoz sönümleyici damper elemanlar yerleştirilmiştir. İzolasyon katında iki adet X, iki adet Y doğrultusunda uzanacak şekilde toplamda dört adet damper eleman yapının en dış akslarında olacak şekilde konumlandırılmıştır. Analiz sonucunda izolator kapasitesinin altında deplasman talepleri oluşmuştur. Damper elemanların parametreleri için bir üreticinin ürün kataloğuna başvurulmuştur.



Şekil 5.1: Yapı kalıp planı.

Çizelge 5.1: Yapıya ait bilgiler.

Bina Bilgisi	Değer
Yapı sınıfı	Konut
Kat sayısı	5
Kat yüksekliği	3m
Kolon Kesiti	700mm×700mm
Kiriş Kesiti	300mm×600mm
Döşeme kalınlığı	150mm

Çizelge 5.2: Malzeme bilgisi.

Malzeme	Değer
Beton	C30
Donatı	S420
Beton Elastisite Modülü	32000 MPa
Çelik Elastisite Modülü	210000 MPa
Beton Birim Hacim Ağırlığı	25 kN/m ³

Çizelge 5.3: Tasarım parametreleri.

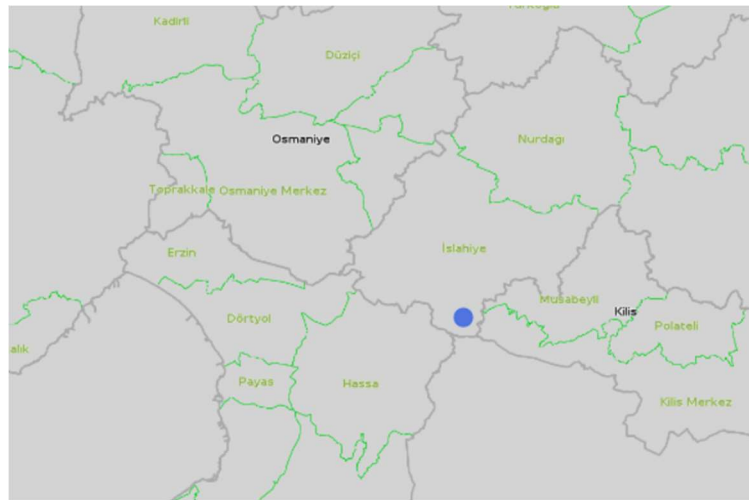
Parametre	Değer
Zemin Sınıfı	ZC
Bina Kullanım Sınıfı	BKS 3
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS 6
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS1
Bina Önem Katsayısı	I=1
Hareketli Yük Katılım Katsayısı	n=0,3

Çizelge 5.4: Yapı yükleri.

Yük Türü	Değer
Ölü Yük	5,0 kN/m ²
Hareketli Yük	3,0 kN/m ²
Dış Duvar Yükü	6,25 kN/m
İç Duvar Yükü	3,5 kN/m

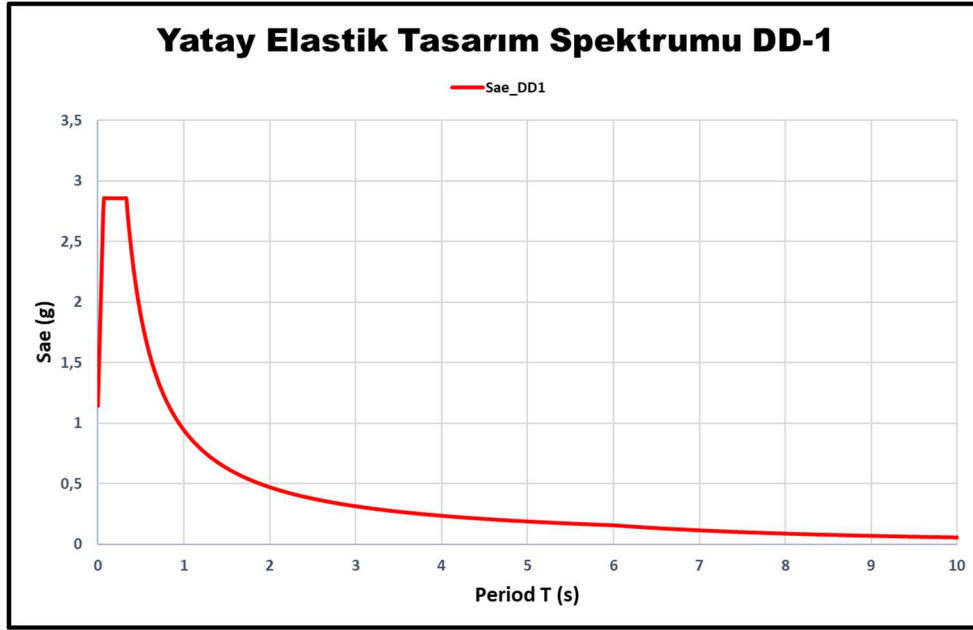
5.2 Tasarım Spektrumlarının Elde Edilmesi

Yapının koordinatları enlem: 36,856430, boylam: 36,68833 şeklindedir, Şekil 5.2. Buna göre ilgili tasarım spektrumları AFAD Sismik Tehlike Haritası'ndan alınmıştır.

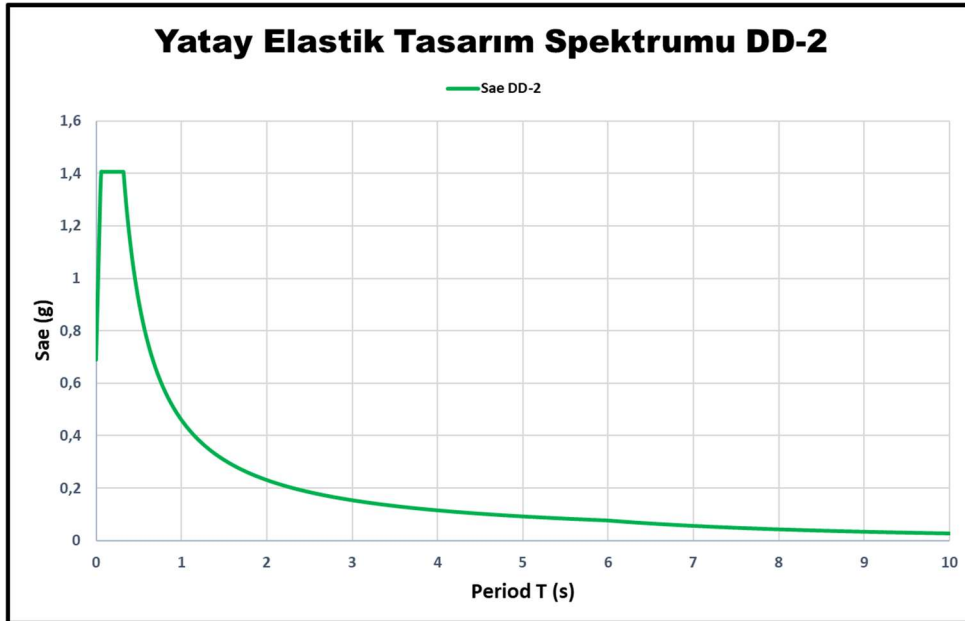


Şekil 5.2: Yapının koordinatları [37].

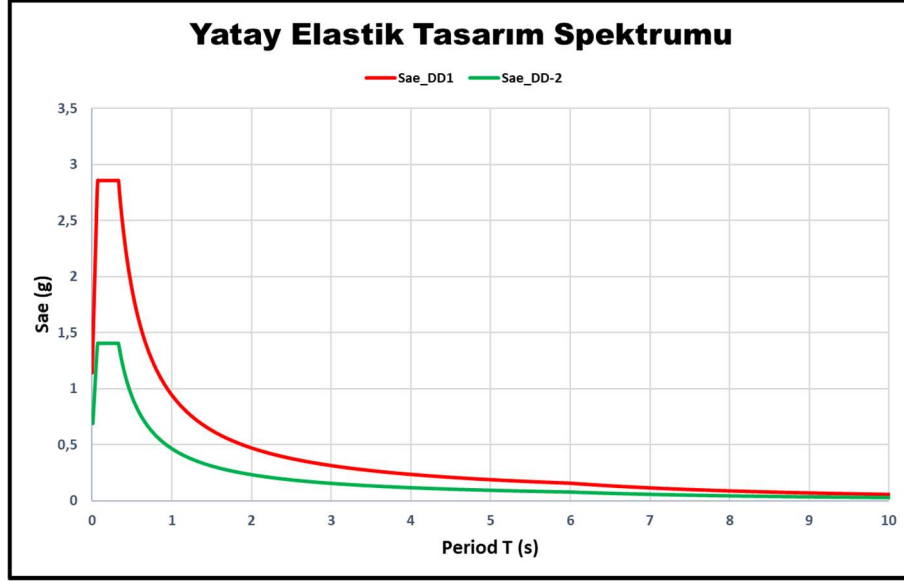
Şekil 5.3’de DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik ivme tasarım spektrumuna, Şekil 5.4’ de DD-2 deprem düzeyi için yatay elastik ivme tasarım spektrumuna, Şekil 5.5’de ise her iki spektrumun aynı anda yer aldığı grafiklere ait detaylar yer almaktadır.



Şekil 5.3: Yatay elastik ivme tasarım spektrumu DD-1.



Şekil 5.4: Yatay elastik ivme tasarım spektrumu DD-2.



Şekil 5.5: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu DD-1 ve DD-2.

Çizelge 5.5: Tasarım spektrumu parametreleri.

Parametre	DD-1	DD-2
S_S	2,132	1,107
S_1	0,598	0,294
S_{DS}	2,558	1,328
S_{D1}	0,838	0,441
PGA	0,858	0,465
PGV	56,102	29,221
F_S	1,200	1,200
F_1	1,402	1,500
T_a	0,066s	0,066s
T_b	0,328s	0,332s

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

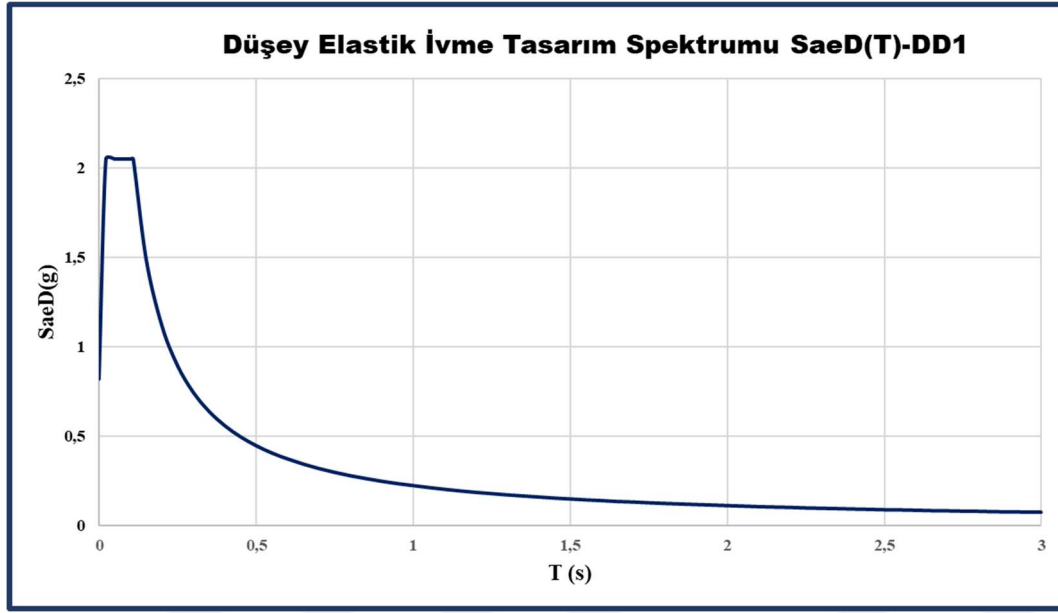
S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

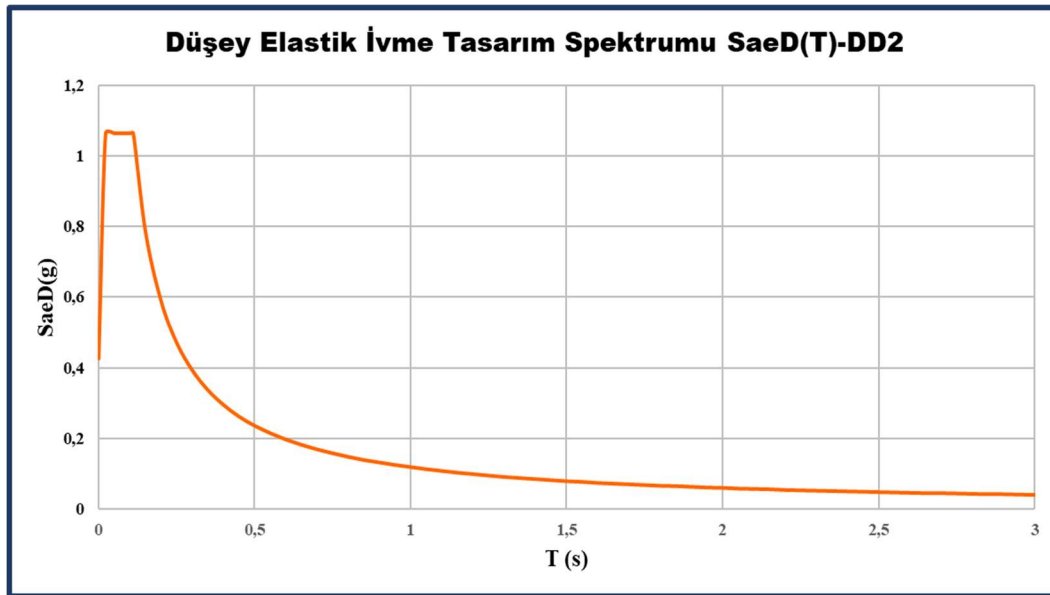
PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı

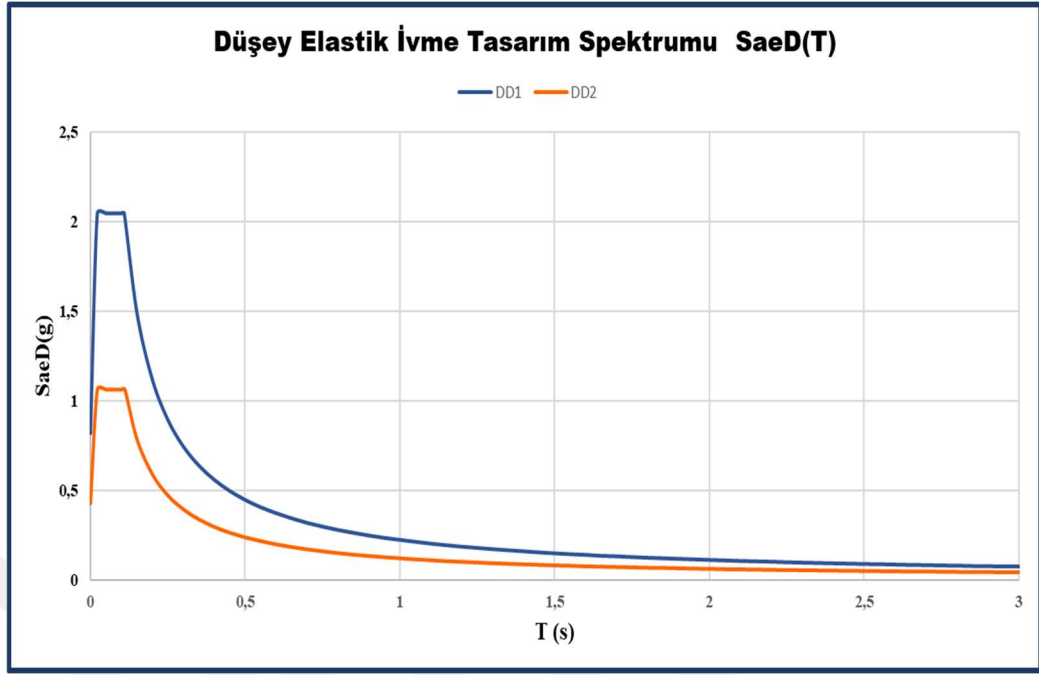
Yatay elastik ivme tasarım spektrumlarının ardından dişey elastik ivme tasarım spektrumları da elde edilmiştir. Şekil 5.6’de DD-1 deprem düzeyi için dişey elastik ivme tasarım spektrumuna, Şekil 5.7’ de DD-2 deprem düzeyi için dişey elastik ivme tasarım spektrumuna, Şekil 5.8’de ise her iki spektrumun aynı anda yer aldığı grafiklere ait detaylar yer almaktadır.



Şekil 5.6: Düşey elastik ivme tasarım spektrumu DD-1.



Şekil 5.7: Düşey elastik ivme tasarım spektrumu DD-2.



Şekil 5.8: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu DD-1 ve DD-2.

5.3 Analizde Edilecek Yapının SAP 2000’de Modellenmesi

Yapının inşa edileceği lokasyona bağlı olarak tasarım spektrumlarının elde edilmesinin ardından SAP 2000 programı aracılığı ile yapının modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

Yapı modelinde yer alan döşeme, kolon ve kiriş elemanlar için kullanılan etkin kesit rijitliği değerleri çizelge 5.6’daki gibidir. Beton sınıfı C30 iken, tercih edilen donatı sınıfı ise S420’dir, Şekil 5.9.

Çizelge 5.6: Betonarme taşıyıcı sistem etkin kesit rijitlik çarpanları.

Eleman Tipi	Etkin Kesit Rijitlik Çarpanı	
	Eksenel	Kayma
Döşeme	0,25	0,25
Çerçeve Kirişi	Eğilme	Kesme
	0,35	1,0
	0,70	1,0

Material Property Data (C30)

General Data

Material Name and Display Color: C30 [Red]

Material Type: Concrete

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25, [KN, m, C]

Mass per Unit Volume: 2,5493

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 3,200E+08

Poisson, U: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0

Shear Modulus, G: 1,333E+08

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 30000,

Expected Concrete Compressive Strength: 27579,032

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: []

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Material Property Data (S420)

General Data

Material Name and Display Color: S420 [Green]

Material Type: Rebar

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 78,5 [KN, m, C]

Mass per Unit Volume: 8,0048

Uniaxial Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2,100E+08

Poisson, U: 0,3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 76903069,

Other Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Stress, F_y : 420000,

Minimum Tensile Stress, F_u : 550000,

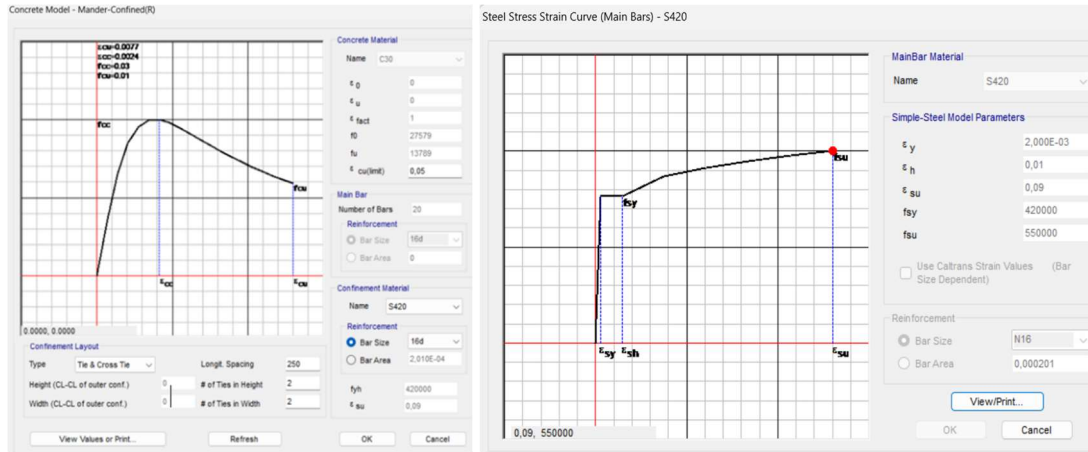
Expected Yield Stress, F_{ye} : 420000,

Expected Tensile Stress, F_{ue} : 550000,

☐ Switch To Advanced Property Display

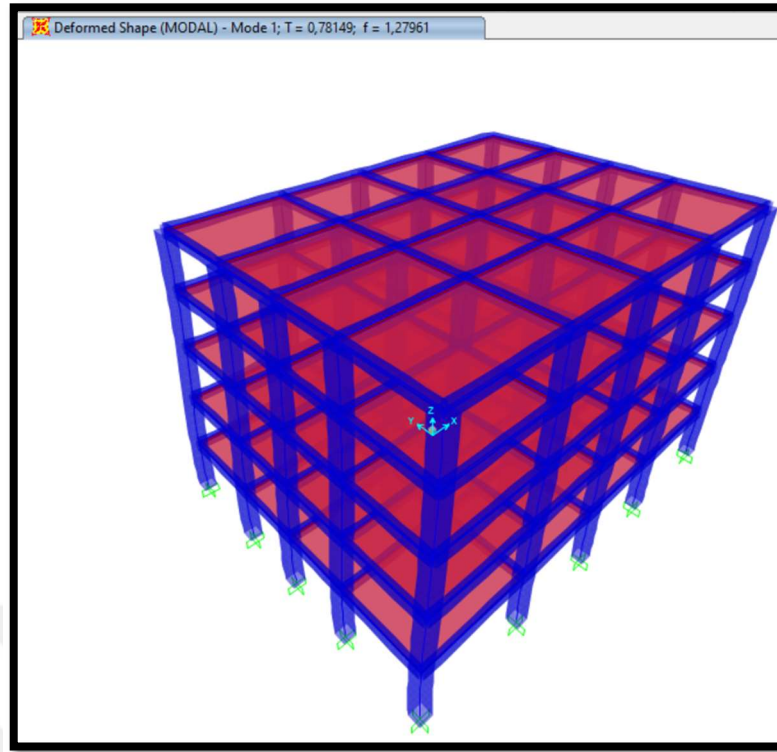
OK Cancel

Şekil 5.9: Malzeme özelliklerinin tanımlanması [38].

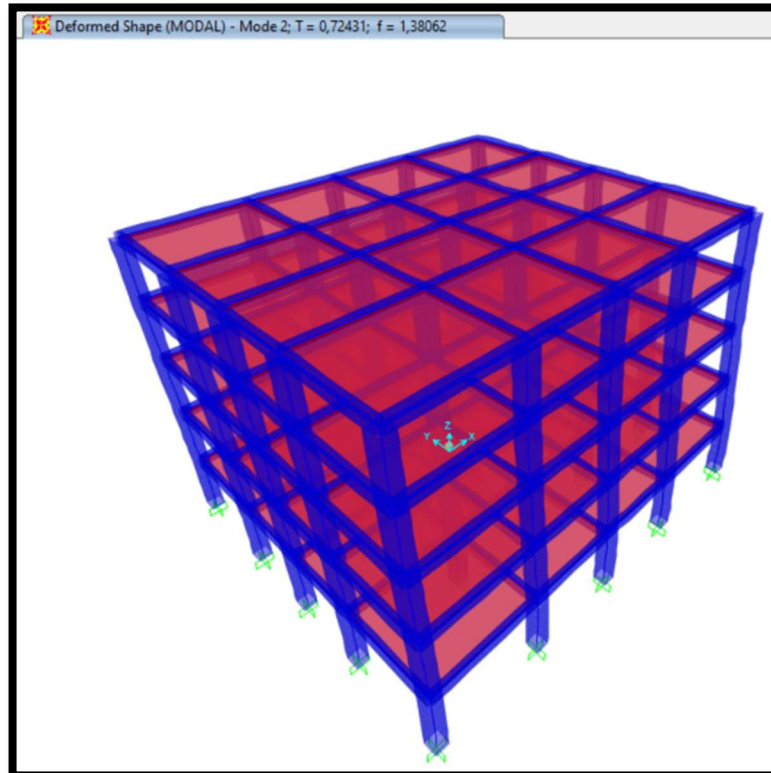


Şekil 5.10: Sargılı beton ve çelik malzeme özellikleri [38].

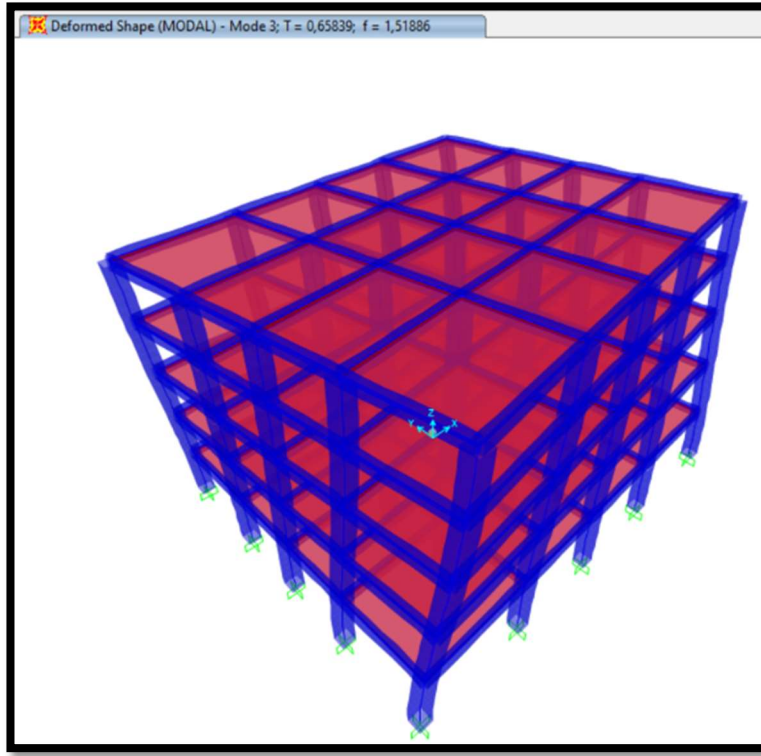
5 katlı yapı için daha önceden tanımlanan ilgili parametreler tanımlanarak ankastre mesnetli yapı modeli için analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucuna yapının mod şekilleri şekil 5.11, şekil 5.12 ve 5.13’de yer aldığı gibidir. Çizelge 5.7’de modal analiz sonucu modal kütle katılım oranlarına dair detaylar yer almaktadır.



Şekil 5.11: Yapının 1. modu $T = 0,781$ s. [38].



Şekil 5.12: Yapının 2. modu $T = 0,724$ s. [38].



Şekil 5.13: Yapının 3. modu $T=0,658$ s. [38].

Çizelge 5.7: Ankastre mesnetli yapının farklı modlara ait periyotları.

Mod	Periyot	UX	UY	UZ	TopUX	TopUY	TopUZ
1	0,7815	0,775	0,000	0,000	0,775	0,000	0,000
2	0,7243	0,000	0,783	0,000	0,775	0,783	0,000
3	0,6584	0,000	0,000	0,000	0,775	0,783	0,000
4	0,2179	0,130	0,000	0,000	0,905	0,783	0,000
5	0,2063	0,000	0,125	0,000	0,905	0,908	0,000
6	0,1886	0,000	0,000	0,000	0,905	0,908	0,000
7	0,1012	0,057	0,000	0,000	0,962	0,908	0,000
8	0,0984	0,000	0,055	0,000	0,962	0,964	0,000
9	0,0901	0,000	0,000	0,000	0,962	0,964	0,000
10	0,0590	0,029	0,000	0,000	0,990	0,964	0,000
11	0,0583	0,000	0,027	0,000	0,990	0,991	0,000
12	0,0565	0,000	0,000	0,375	0,990	0,991	0,375

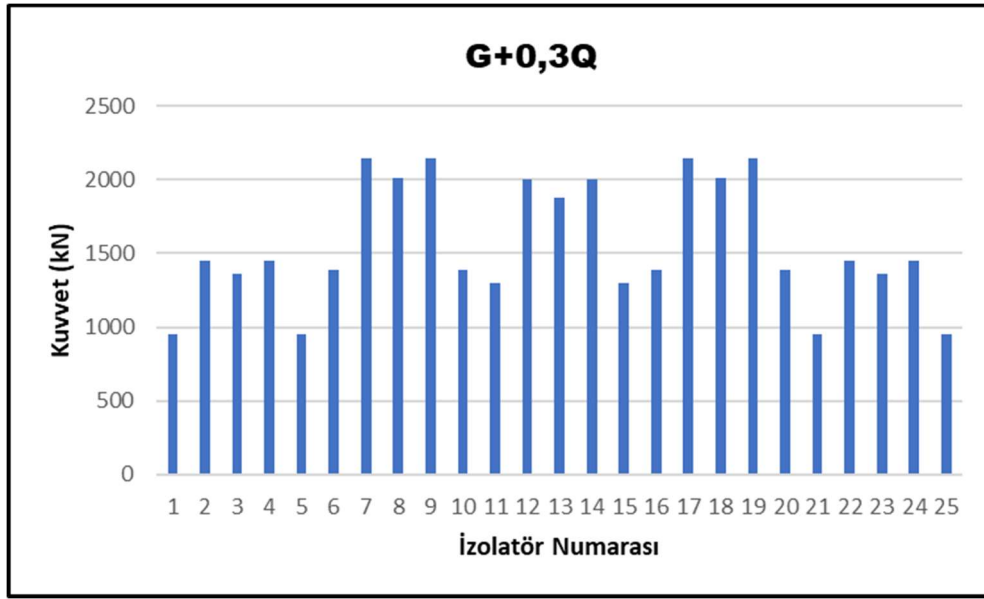
5.4 İzolatörlerin Ön Tasarımında Kullanılan Yük Kombinasyonları

Tez çalışmasında sismik yalıtım birimi olarak kurşun çekirdekli kauçuk izolatör tercih edilmiştir. Bu kapsamda öncelikle izolatörlerin ön boyutlandırması gerçekleştirilmiştir. Ön boyutlandırma kapsamında ankastre mesnetli yapı modelinde izolatörlerin üzerine gelen yük kombinasyonları esas alınmıştır ve bu doğrultuda yapının toplam sismik ağırlığından hareketle izolatör başına düşen ortalama bir yük değeri belirlenerek bütün izolatörler tek tip olacak şekilde boyutlandırma gerçekleştirilmiştir, Çizelge 5.8.

Çizelge 5.8: İzolatörler üzerine etkiyen yükler (G+0,3Q).

Kolon	Yük (kN)	Kolon	Yük (kN)
S1	949,59	S14	2001,49
S2	1447,07	S15	1297,78
S3	1357,64	S16	1388,76
S4	1447,07	S17	2141,54
S5	949,59	S18	2008,91
S6	1388,76	S19	2141,54
S7	2141,54	S20	1388,76
S8	2008,91	S21	949,59
S9	2141,54	S22	1447,07
S10	1388,76	S23	1357,64
S11	1297,78	S24	1447,07
S12	2001,49	S25	949,59
S13	1877,08	-	-

Yapının toplam sismik ağırlığı W: 38916,58 kN şeklindedir. Maksimum yük değeri 2141,54 kN iken ortalama yük değeri 1556,66 kN'dur, Şekil 5.13.

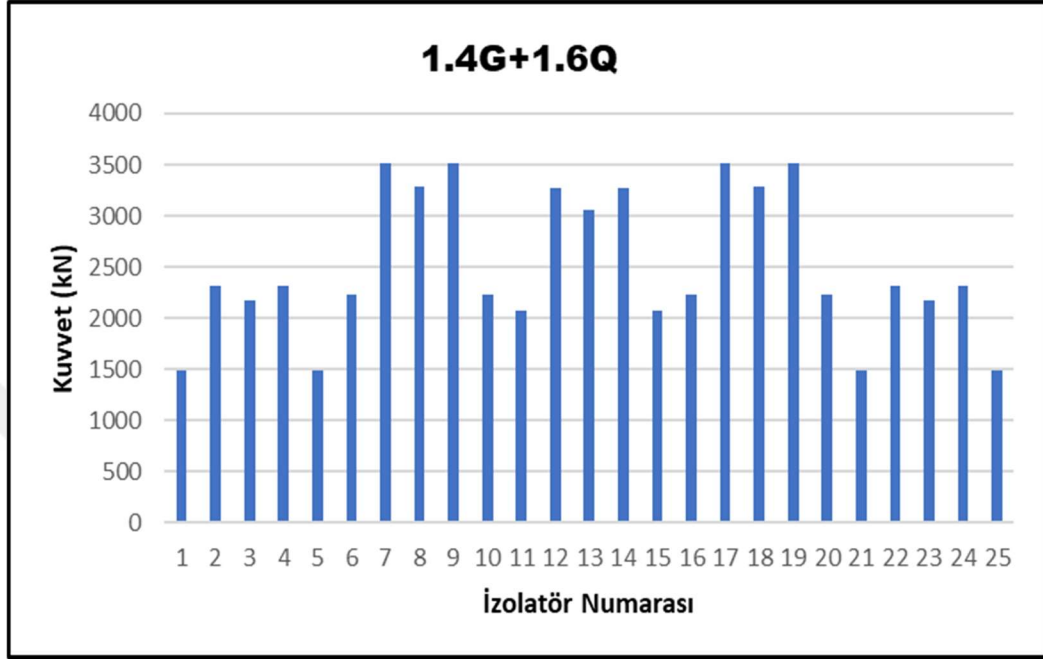


Şekil 5.14: G+0,3Q kombinasyonu yük dağılımı.

Çizelge 5.9: İzolatörler Üzerine Etkiyen Yükler (1,4G+1,6Q).

Kolon	Yük (kN)	Kolon	Yük (kN)
S1	1494,22	S14	3270,40
S2	2321,80	S15	2078,36
S3	2173,67	S16	2230,08
S4	2321,80	S17	3508,94
S5	1494,22	S18	3284,41
S6	2230,08	S19	3508,94
S7	3508,94	S20	2230,08
S8	3284,41	S21	1494,22
S9	3508,94	S22	2321,80
S10	2230,08	S23	2173,67
S11	2078,36	S24	2321,80
S12	3270,40	S25	1494,22
S13	3060,41	-	-

Yapının sismik ağırlığı ve ortalama izolatör başına düşen düşey sismik ağırlık kuvveti belirlendikten sonra TBDY’de yer alan farklı yük kombinasyonları için de izolatör elemanları üzerine gelen yük değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.15: 1,4G+1,6Q kombinasyonu yük dağılımı.

1,4G +1,6Q yük kombinasyonuna göre izolatörlerin üzerine etkiyen maksimum yük 3508,94 kN iken ortalama yük değeri 2515,77 kN değerindedir.

Bu yük kombinasyonundan elde edilen değer izolatörlerin deprem harici durumdaki basınçtan meydana gelen açısız şekildeğiştirme kontrolleri için kullanılacaktır. Bu kapsamda P_{k1} yükü: 3508,94 kN olarak alınacaktır.

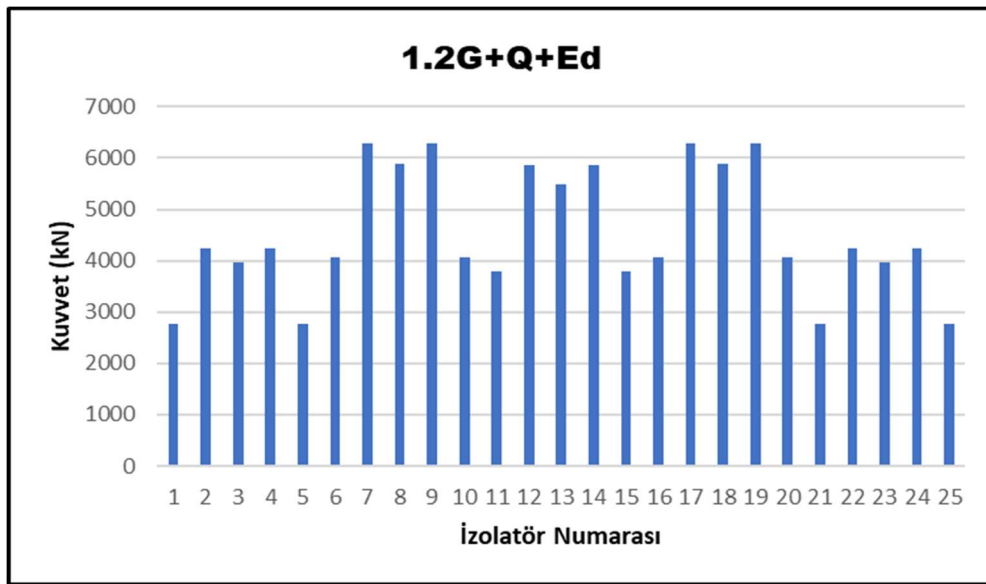
Sismik yalıtım birimlerinin deprem harici durumda basınçtan meydana gelen şekil değiştirmeleri denklem 5.1’de yer aldığı gibi belirlenmektedir.

$$\gamma_{c,st} = 6SP_{k1} / (A_r E_c) < 3.5 \quad (5.1)$$

Denklemde yer alan S şekil katsayısını, A_r tek bir elastomer katmanın yüzey alanını, E_c ise elastomer yalıtım biriminin basınç modülünü ifade etmektedir. TBDY’ne göre denklem 5.1’de yer alan eşitsizliğin 3.5 değerinin altında olması gerekmektedir. Tasarlanacak izolatörler gerekli koşula uygun olacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

Çizelge 5.10: İzolatörler üzerine etkiyen yükler (1,2G+Q+ Ed).

Kolon	Yük (kN)	Kolon	Yük (kN)
S1	2776,78	S14	5865,9
S2	4236,37	S15	3798,91
S3	3974,07	S16	4065,85
S4	4236,37	S17	6277,41
S5	2776,78	S18	5887,85
S6	4065,85	S19	6277,41
S7	6277,41	S20	4065,85
S8	5887,85	S21	2776,78
S9	6277,41	S22	4236,37
S10	4065,85	S23	3974,07
S11	3798,91	S24	4236,37
S12	5865,90	S25	2776,78
S13	5500,53	-	-



Şekil 5.16: 1,2G+Q+Ed kombinasyonu yük dağılımı.

1,2G+Q+Ed yük kombinasyonuna göre izolatörlerin üzerine etkiyen maksimum yük 6277,41 kN iken ortalama yük değeri 4559,18 kN değerindedir.

Bu yük kombinasyonundan elde edilen değer izolatörlerin deprem durumundaki basınçtan meydana gelen açısıl şekil değiştirme kontrolleri için kullanılacaktır. Bu kapsamda P_{k2} yükü: 6277,41 kN olarak alınacaktır.

Sismik yalıtım birimlerinin deprem durumunda basınçtan meydana gelen şekil değiştirmeleri denklem 5.2'deki şekilde belirlenmektedir.

$$\gamma_{c,E} = 6SP_{k2} / (A_{re}E_C) \quad (5.2)$$

Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki rölatif dönmeden dolayı meydana gelen birim şekil değiştirme Denklem 5.3'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\gamma_{r,st} = B^2\theta_s / (2tT_r) \quad (5.3)$$

B kauçuk çapını ifade ederken θ_s tasarım dönme açısını ifade etmektedir ve yaklaşık olarak hesaplamalarda 0,005 olarak kabul edilecektir. T_r toplam kauçuk katman yüksekliğini t ise tek bir kauçuk katman kalınlığını ifade etmektedir.

Malzeme ara yüzünde yatay deplasman ve dönmeden kaynaklı toplam birim şekil değiştirme Denklem 5.4'de ifade edildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + \gamma_{rst} \leq 6,0 \quad (5.4)$$

DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri altında elastomerik yalıtım biriminin yatay yer değiştirmesinden kaynaklı birim şekil değiştirmesini ifade eden $\gamma_{s,E}$ değeri 4. bölümde yer alan Denklem 4.22'deki ifade ile elde edilmektedir.

Tüm bu hesaplama ve kontrollere dair detaylar ilerleyen kısımlarda verilecektir. İlgili hesaplamalara ait detaylar dördüncü bölümde ifade edilen denklemler aracılığı ile gerçekleştirilecektir. Elde edilen izolatör parametreleri SAP 2000'e girilecektir.

SAP 2000'e girilen izolatör parametreleri DD-1 deprem yer hareketi düzeyine göre hesaplanmış izolatör parametrelerinin alt limit değerleri şeklindedir.

5.5 Sismik Yalıtım Birimlerinin Ön Tasarımı

Toplam Sismik Yapı Ağırlığı: 38916,58 kN

Kurşun Çekirdek Çapı: 170 mm olarak seçilmiştir.

Kurşun Çekirdek Alanı:

$$A_p = \left(\frac{\pi}{4}\right) B_L^2 = 22698,01 \text{ mm}^2$$

Karakteristik Dayanım:

$$F_Q = A_p \cdot \tau_{yp} = 22698,01 \times \frac{10}{1000} = 226,98 \text{ kN}$$

$$F_{Q_{tot}} = n \cdot A_p \cdot \tau_{yp} = 25 \times 22698,01 \times \frac{10}{1000} = 5674,5 \text{ kN}$$

Toplam Kauçuk Alanı:

$$A_r = (\pi/4)(B^2 - B_L^2) = (\pi/4)(720^2 - 170^2) = 384452,4 \text{ mm}^2$$

Şekil Katsayısı:

$$S = (B^2 - B_L^2) / (4Bt) = (720^2 - 170^2) / (4 \times 720 \times 4) = 42,49$$

Elastomer Malzeme Basınç Modülü:

$$E_c = 4G_v(1 + 2kS^2) = 4 \times 0,7(1 + 2 \times 0,6 \times 42,49^2) = 6069,32 \text{ MPa}$$

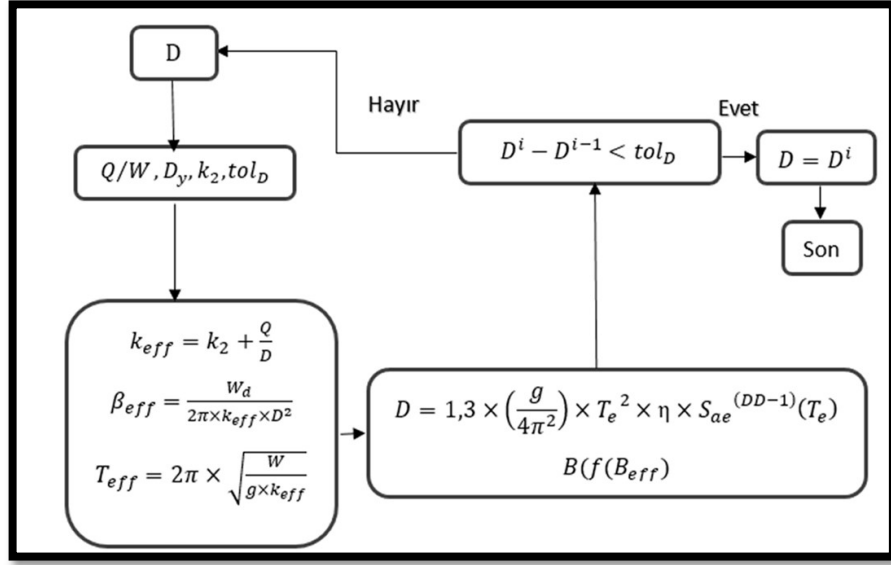
Depremsiz durumda basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirme:

$$\gamma_{c,st} = 6SP_{k1} / (A_r E_c) = 6 \times 42,49 \times 2954 / (384452,401 \times 6069,32) = 0,323 < 3,5 \checkmark$$

Kauçuk Yüksekliğinin Tespiti:

$$D_M = 1,3 \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) = 1,3 \left(\frac{9,81}{4\pi^2}\right) 2,61^2 \times 0,685 \times 0,38 = 520 \text{ mm}$$

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} < 2 ; T_r = 276 \text{ mm}$$



Şekil 5.17: Dm tasarım deplasmanının hesaplanması için iteratif akış diyagramı [30].

İzolatörün tasarım deplasmanının tespit edilmesi için öncelikle yapının sismik ağırlığı ve ve izolatörlerin toplam rijitliğinden hareketle Tm belirlenmektedir. Bu periyot ve bu periyot değerine karşılık gelen spektral ivme değeri ilgili Dm değerini hesaplayan denkleme yerleştirildiğinde hesaplanan Dm değeri ile tahmin edilen Dm değerinin arasındaki fark kabul edilen hata payına inene kadar iterasyona devam edilir. Böylece tasarım deplasman değerine ulaşılmış olur, Şekil 5.17.

Etkin Kesit Rijitliği:

$$k_2 = G_v (A_r / T_r) = 0,7 \times (384452,4 / 276) = 975,06 \text{ kN/m}$$

$$k_{2tot} = n \cdot G_v (A_r / T_r) = 25 \times 0,7 \times (384452,4 / 276) = 24376,5 \text{ kN/m}$$

$$k_1 = 10 \cdot k_2 = 975,06 \times 10 = 9750,6 \text{ kN/m}$$

$$k_{1tot} = 10 \cdot k_{2tot} = 24376,5 \times 10 = 243765 \text{ kN/m}$$

Sınır değerlerinin belirlenmesi:

$$\lambda_{altFQ} = [1 - 0,75(1 - 1)]0,7 \times 0,85 = 0,595$$

$$\lambda_{üstFQ} = [1 + 0,75(1,1 - 1)]1,3 \times 1,15 = 1,607$$

$$\lambda_{altk} = [1 - 0,75(1 - 1)]0,9 \times 0,85 = 0,765$$

$$\lambda_{üstk2} = [1 + 0,75(1,3 - 1)]1,3 \times 1,15 = 1,831$$

Karakteristik dayanımın sınır değerleri ile çarpılması:

$$F_{Qtot} = \lambda_{altFQ} F_{Qtot} = 3376,37 \text{ kN} \quad ; \quad k_{2tot} = \lambda_{altk2} \cdot k_{2tot} = 18648,02 \text{ kN/m}$$

Etkin akma yerdeğiştirmesi:

$$D_y = \frac{F_y}{k_1} = \frac{226,98}{9750,6} = 23,28 \text{ mm}$$

Düşey Rijitlik Modülü:

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} = \frac{1}{\frac{1}{6069,32} + \frac{1}{2000}} = 1504,295 \text{ MPa}$$

Düşey Rijitlik:

$$K_v = \frac{E_v \cdot A_r}{T_r} = \frac{1504,3 \times 384452,4}{276} = 2095398,4 \text{ kN/m}$$

Yatay Rijitlik:

$$K_H = \frac{G \cdot A_r}{T_r} = \frac{0,7 \times 384452,4}{276} = 975,06 \text{ kN/m}$$

Efektif Rijitlik:

$$F_{max} = F_y + k_2(Dm - D_y) = 509,43 \text{ kN}$$

$$k_e = F_{max} / Dm = 979,67 \text{ kN/m}$$

Yalıtım birimleri için düşey stabilite kontrolü:

$$P_{cr} = 0,218 \frac{G_v B^4 (1 - B_L / B)(1 - B_L^2 / B^2)}{(t T_r) (1 + B_L^2 / B^2)}$$

$$P_{cr} = 0,218 \frac{0,7 \cdot 720^4 (1 - 170 / 720)(1 - 170^2 / 720^2)}{(4 \times 276) (1 + 170^2 / 720^2)} = 25378,91 \text{ kN}$$

$$P'_{cr} = P_{cr} \left(\frac{A_{re}}{A_r} \right) = 7358,327 \text{ kN}$$

Birim şekil değiştirmeye göre eksenel yük kapasitesi:

$$P_{str} = \left(\frac{3,5 \cdot A_{re} E_c}{6S} \right) = 9835,98 \text{ kN}$$

$$\frac{\min(P_{cr}, P_{str})}{Pk1} = 3,33 > 2 \checkmark$$

$$\frac{\min(P_{str}, P_{cr}')}{Pk2} = 1,2 > 1,1 \checkmark$$

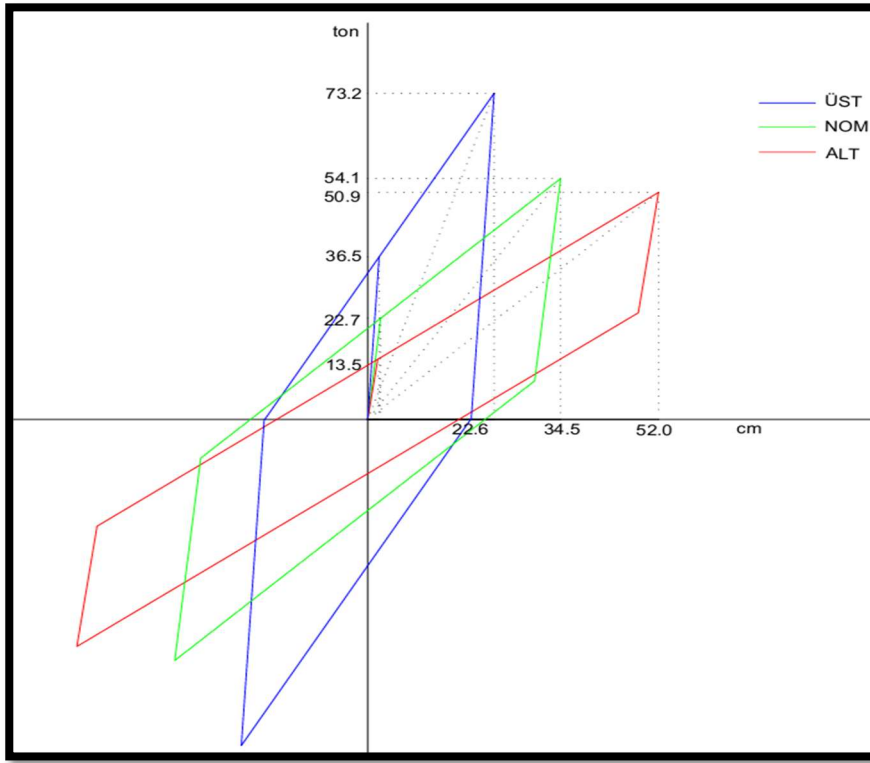
Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için elde edilen sismik yalıtım birimi parametreleri SAP 2000 programına girilerek taban izolasyonlu yapı için analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.11: Yalıtım birimi parametreleri (DD-2).

Parametre	ALT	NOM	ÜST
K_{eff}	1578,44 kN/m	2920,64 kN/m	6475,07 kN/m
K_v	2095398,40 kN/m	2095398,40 kN/m	2095398,40 kN/m
F_Q	135,05 kN	226,98 kN	364,76 kN
K_2	745,92 kN/m	975,06 kN/m	1785,34 kN/m
K_1	7459,21 kN/m	9750,60 kN/m	17853,34 kN/m
D_y	18,11 mm	23,28 mm	20,43 mm

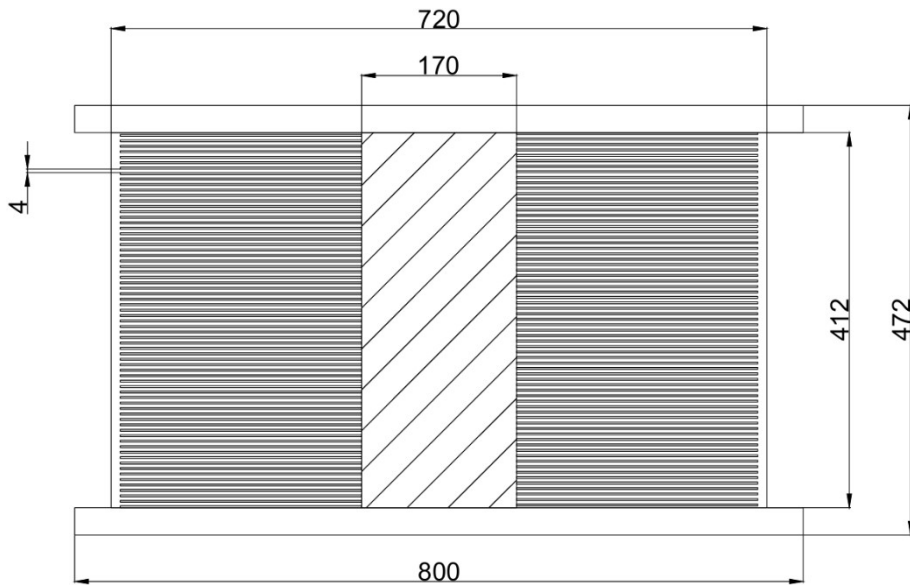
Çizelge 5.12: Yalıtım birimi parametreleri (DD-1).

Parametre	ALT	NOM	ÜST
K_{eff}	979,67 kN/m	1567,18 kN/m	3237,91 kN/m
K_v	2095398,40 kN/m	2095398,40 kN/m	2095398,40 kN/m
F_Q	135,05 kN	226,98 kN	364,76 kN
K_2	745,92 kN/m	975,06 kN/m	1785,34 kN/m
K_1	7459,21 kN/m	9750,60 kN/m	17853,34 kN/m
D_y	18,11 mm	23,28 mm	20,43 mm



Şekil 5.18: Tasarlanan izolatöre ait alt-üst-nominal parametreler.

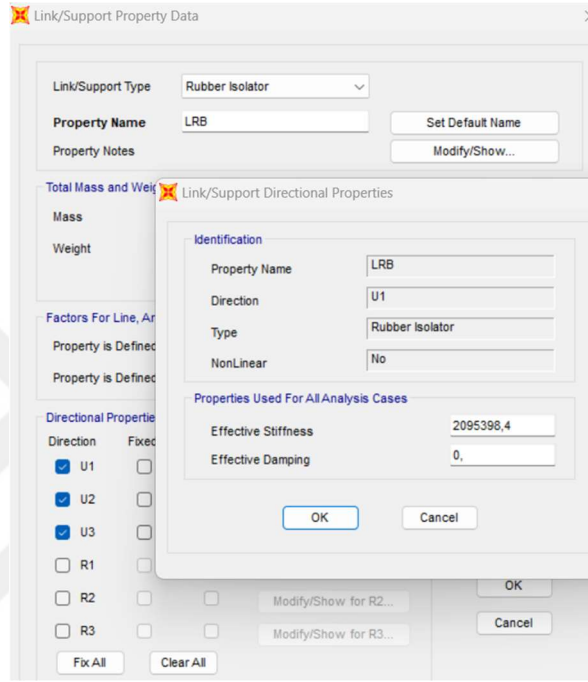
İzolatör alt-üst ve nominal değerleri için elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme grafiklerine ait detaylar Şekil 5.18’de yer aldığı gibidir. Tasarımı gerçekleştirilen izolatöre ait boyutların yer aldığı teknik çizimde ilgili ölçüler mm biriminde verilmiştir, Şekil 5.19.



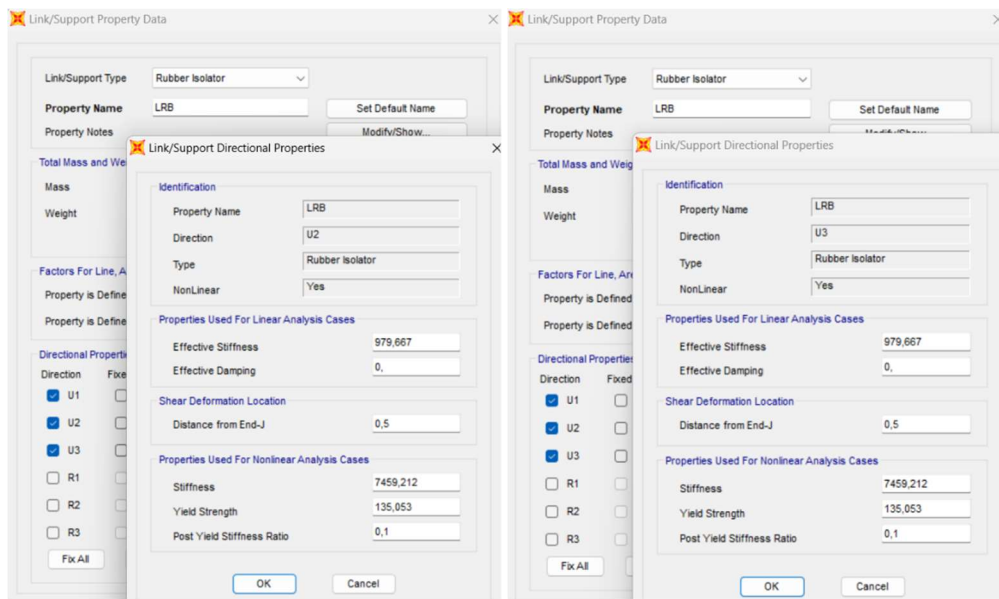
Şekil 5.19: Tasarlanan izolatöre ait teknik çizim.

5.6 Sismik Yalıtım Birimi Parametrelerinin SAP 2000'e Tanımı ve Analiz

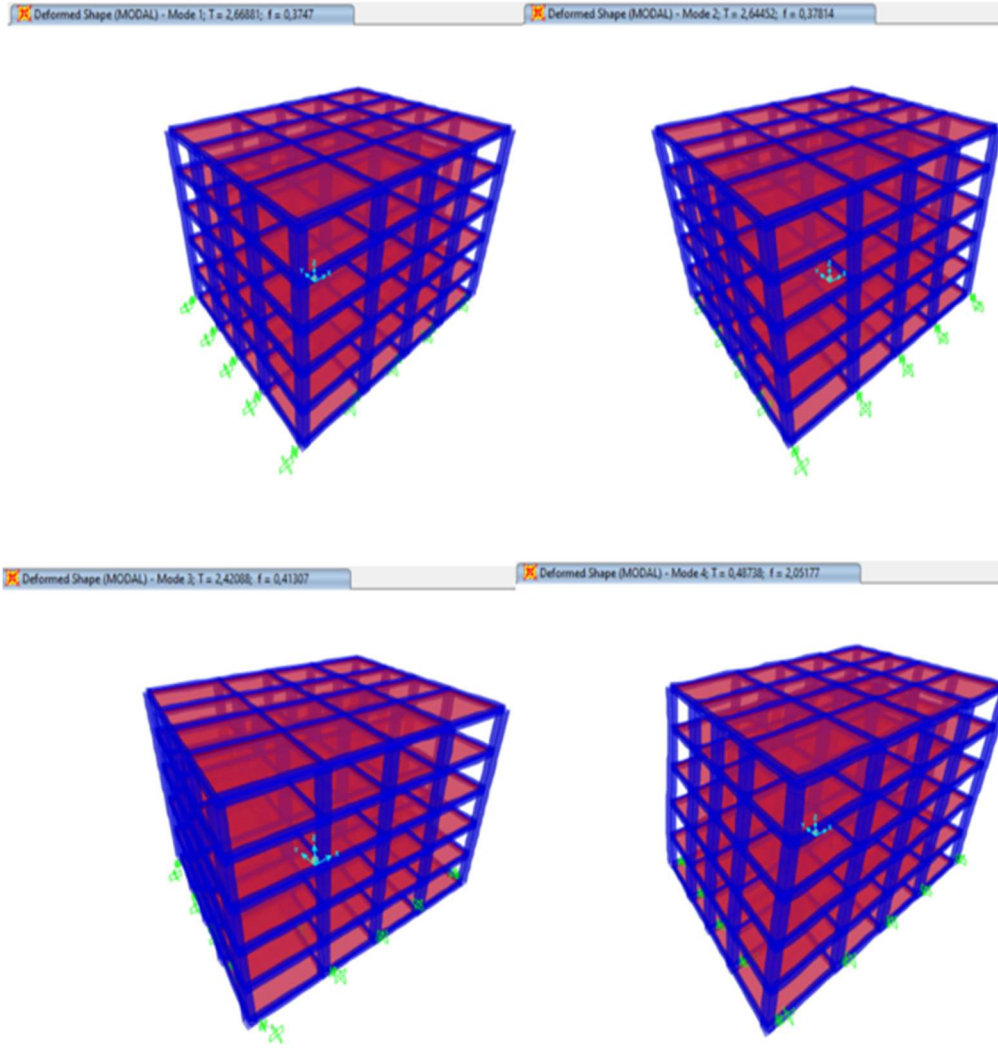
SAP 2000 programında ilgili yapı modeli için link elemanı olarak “*rubber isolator*” için elde edilen düşey ve yatay izolatör özellikleri modele tanımlanmıştır. Programa girilen parametreler DD-1 deprem yer hareketi düzeyinin alt limit değerleri için elde edilen değerlerdir, Şekil 5.21.



Şekil 5.20: İzolatör düşey özellikleri (U1) [38].



Şekil 5.21: İzolatör yatay özellikleri (U2, U3) [38].



Şekil 5.22: Taban yalıtımlı bina için mod şekilleri [38].

Taban izolasyonlu yapının hâkim titreşim periyodu 2,66 s olarak elde edilmiştir. Ankastre mesnetli yapı modelinin periyodu 0,78 s iken izolatörlü modelde hedeflendiği üzere periyot 2,5-3,0 s aralığına çekilebilmiştir, Şekil 5.22.

Çizelge 5.13: İzolatörlü yapının farklı modlara ait periyotları.

Mod	Periyot	UX	UY	UZ	TopUX	TopUY	TopUZ
1	2,668	0,997	0,000	0,000	0,997	0,000	0,000
2	2,644	0,000	0,998	0,000	0,997	0,997	0,000
3	2,421	0,000	0,000	0,000	0,997	0,997	0,000
4	0,487	0,003	0,000	0,000	0,999	0,997	0,000
5	0,447	0,000	0,002	0,000	0,999	0,999	0,000
6	0,404	0,000	0,000	0,000	0,999	0,999	0,000

5.7 İzolasyonlu Yapının Deprem Kayıtları Altında İncelenmesi

Taban izolasyonlu model, uzak ve yakın iki farklı deprem seti altında incelenmiştir. Her bir deprem seti 11 adet deprem kaydından oluşmaktadır. Deprem analizi SAP 2000 programında nonlinear time history analiz yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarının yatay bileşenlerinin her biri yapıya bir tanesi X bir tanesi Y doğrultusunda etkiyecek şekilde modellenmiştir.

Deprem kayıtları seçilirken PEER ve AFAD veri sistemi kullanılmıştır. Seçilen deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi basit ölçeklendirme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Basit ölçeklendirmede kullanılan ölçeklendirme aralığı taban izolasyonlu yapılar için geçerli olan $0,5T_M$: 0,67s (en büyük yerdeğiştirme altında yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış titreşim periyodu) ile $1,25T_M$: 3,3 s (en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış titreşim periyodu) aralığındadır.

PEER sisteminden alınan deprem kayıtları, veri tabanına tanımlanan sahaya özgü spektruma göre otomatik olarak ölçeklendirilmiştir. AFAD sisteminden alınan deprem kayıtları ise basit ölçeklendirme için geçerli olan periyot aralığında manuel olarak ölçeklendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Yapı öncelikle uzak deprem kayıtları için daha sonrasında ise yakın deprem kayıtları altında analiz edilmiştir. Uzak deprem etkisinde belirlenen izolator kapasitelerinin yeterliliği ortaya konulurken yakın deprem etkisinde bazı deprem kayıtları için izolator kapasitelerinin aşıldığı tespit edilmiştir. Yakın deprem etkisi altında artan deplasman kapasitelerinin düşürülmesi adına ilave sönümleyici elemanlar tercih edilmiştir.

Uzak deprem kayıtları seçilirken faya yakınlık durumu için $R_{rup} > 15$ km eşik değeri referans alınmıştır. Yakın deprem kayıtları seçiminde ise faya yakınlık için $R_{rup} < 10$ km eşik değeri olarak alınırken $PGV > 500$ mm/s olan deprem kayıtları tercih edilmiştir.

Yakın fay etkisi altında izolatorlar için büyük deplasman talepleri meydana gelebilirken üst yapıda ise yüksek kat ivmeleri ile karşılaşılabilir. Bu durumda sönüm miktarını artırabilmek adına izolator deplasmanları azaltılabilmekte veya yapıda ilave sönümleyici elemanlar tercih edilebilmektedir. Seçilen deprem kayıtlarına ait filtreleme özelliklerine ait detaylara şekil 5.25’de yer verilmiştir.

Search Parameters:

Fault Type : All Types ▾

Magnitude : 6,8

min,max

R_JB(km) :

min,max

R_rup(km) : 15,50

min,max

Vs30(m/s) : 360,760

min,max

D5-95(sec) :

min,max

Pulse : Any Record ▾

Additional Characteristics:

Max No. Records : 20

(≤ 100)

Initial ScaleFactor : 0,5,4

min,max

Search Parameters:

Fault Type : All Types ▾

Magnitude : 6,8

min,max

R_JB(km) :

min,max

R_rup(km) : 0,10

min,max

Vs30(m/s) : 360,760

min,max

D5-95(sec) :

min,max

Pulse : ONLY Pulse-like Records ▾

Additional Characteristics:

Max No. Records : 20

(≤ 100)

Initial ScaleFactor : 0,5,4

min,max

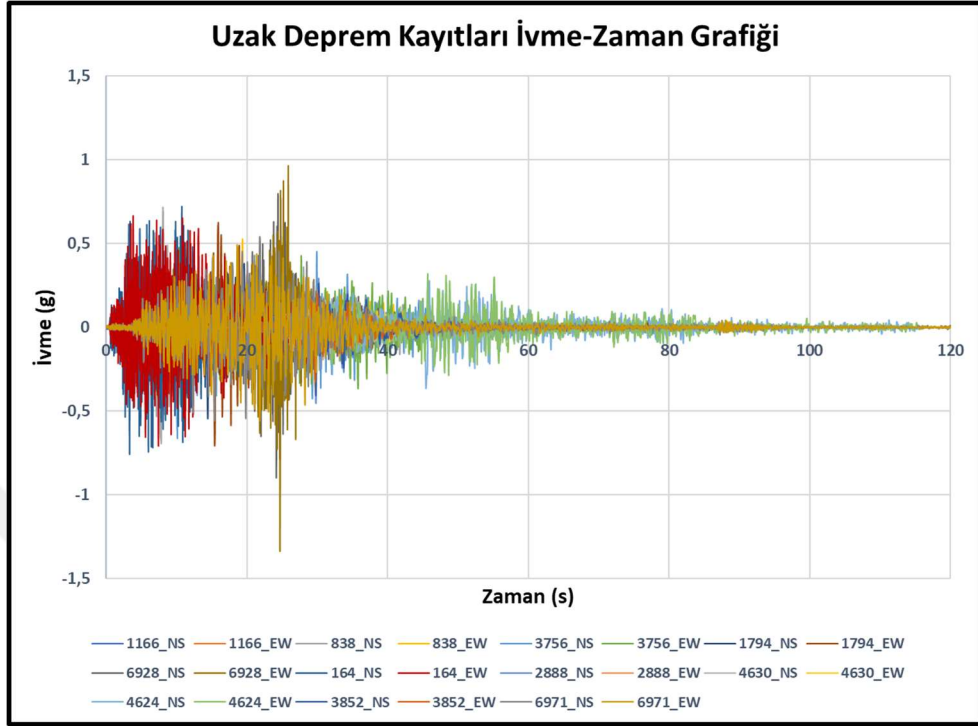
Şekil 5.23: PEER veri tabanında uzak ve yakın deprem kayıtlarının seçimi [39].

Çizelge 5.14: Uzak fay etkisi içeren deprem kayıtları.

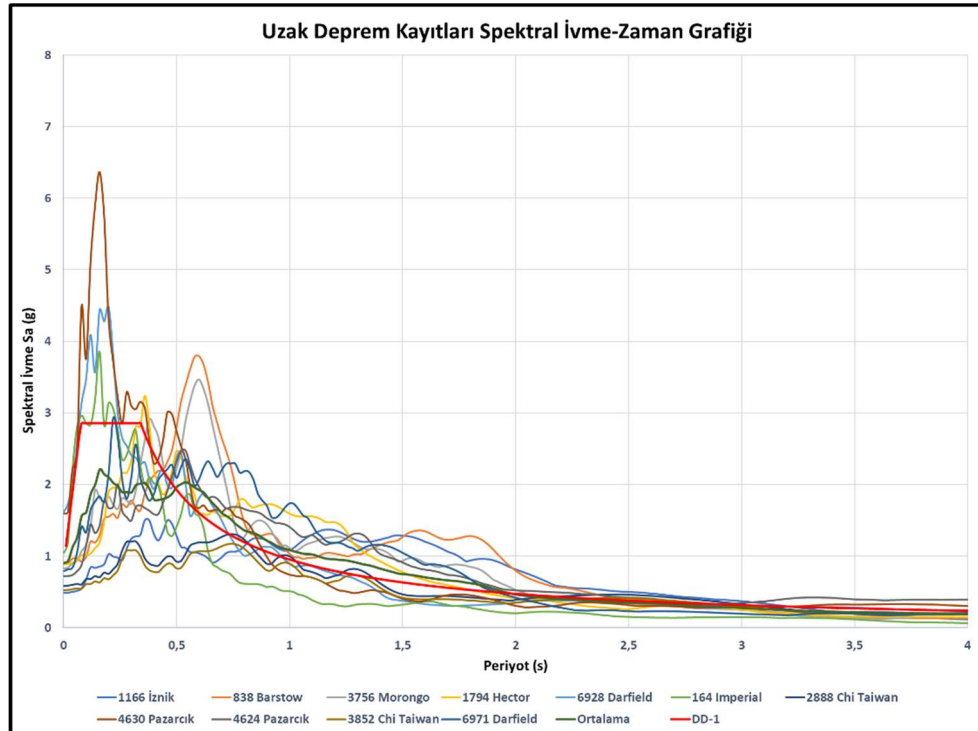
Deprem Kaydı	Deprem Adı	Büyükklük Mw	Yıl	İstasyon Adı	Veri Tabanı	Ölçek Faktörü	Fay Tipi	Rrup (km)	Zaman Aralığı
1166	Kocaeli	7,51	1999	İznik	PEER	3,18	S.S.	30,73	0,005
838	Landers	7,28	1992	Barstow	PEER	3,21	S.S.	34,86	0,005
3756	Landers	7,28	1992	Morongo	PEER	3,53	S.S.	40,67	0,005
1794	Hector	7,13	1999	Joshua	PEER	3,71	S.S.	31,06	0,005
6928	Darfield	7,00	2010	LPCC	PEER	3,74	S.S.	25,67	0,005
164	Imperial	6,53	1979	Cerro	PEER	4,45	S.S.	15,19	0,005
2888	Chi Chi	6,20	1999	TCU116	PEER	4,13	S.S.	28,76	0,005
3852	Chi Chi	6,20	1999	CHY006	PEER	3,70	S.S.	24,62	0,005
6971	Darfield	7,00	2010	SPFS	PEER	3,48	S.S.	29,86	0,005
4630	Pazarcık	7,80	2023	Türkoğlu	AFAD	1,50	S.S.	21,48	0,01
4624	Pazarcık	7,80	2023	Onikişubat	AFAD	2,00	S.S.	32,02	0,01

Çizelge 5.14’ de uzak fay etkisi altındaki 11 adet deprem kaydının detaylarına yer verilmiştir.

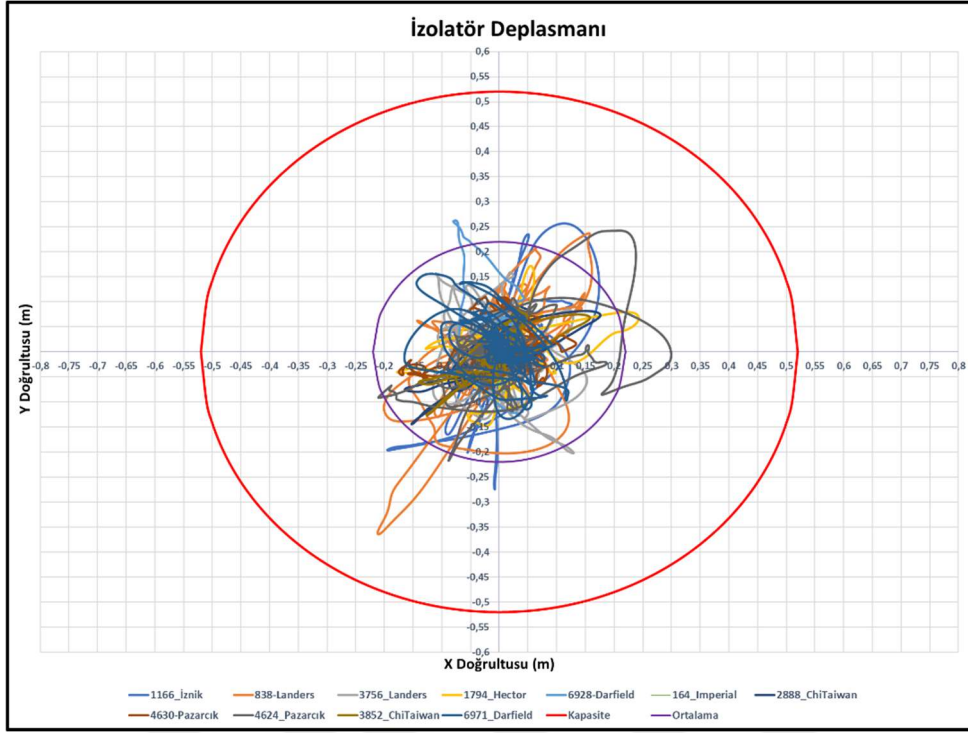
Şekil 5.26 ise uzak deprem kayıtlarının tamamına ait ivme – zaman, Şekil 5.27’de ise spektral ivme – zaman grafiklerine yer verilmiştir.



Şekil 5.24: Uzak deprem kayıtları için ivme – zaman grafiği.



Şekil 5.25: Uzak deprem kayıtları için spektral ivme – zaman grafiği.



Şekil 5.26: Uzak deprem kayıtları için izolatör deplasmanları.

Uzak fay etkisini temsil eden deprem kayıtları altında yapı modeli üzerinde yapılan nonlineer time history analiz sonuçlarına göre elde edilen maksimum izolatör yer değiştirmelerinin X ve Y kartezyen koordinat sisteminde elde edilmiş hali Şekil 5.26'daki gibidir. Uzak deprem kayıtları için maksimum deplasman talebi 364,7 mm iken, ortalama deplasman talebi 216 mm civarındadır.

Deplasman değerleri tespit edilen izolatör link elemanı yapının kalıp planında köşe noktada yer alan 21 numaralı izolatördür. SAP 2000 programında yapılan kontroller sonucunda en büyük deplasman değerlerinin bu elemanlarda gerçekleştiği sonucuna varılmıştır, Çizelge 5.15.

Çizelge 5.15: Uzak deprem kayıtları için izolatör deplasmanları.

Deprem	Max. Deplasman (mm)	Deprem	Max. Deplasman (mm)
1166	275,1	2888	176,4
838	364,7	4630	175,0
3756	202,6	4624	299,9
1794	243,1	3852	158,2
6928	262,6	6971	165,6
164	79,6	Ort.	216,0

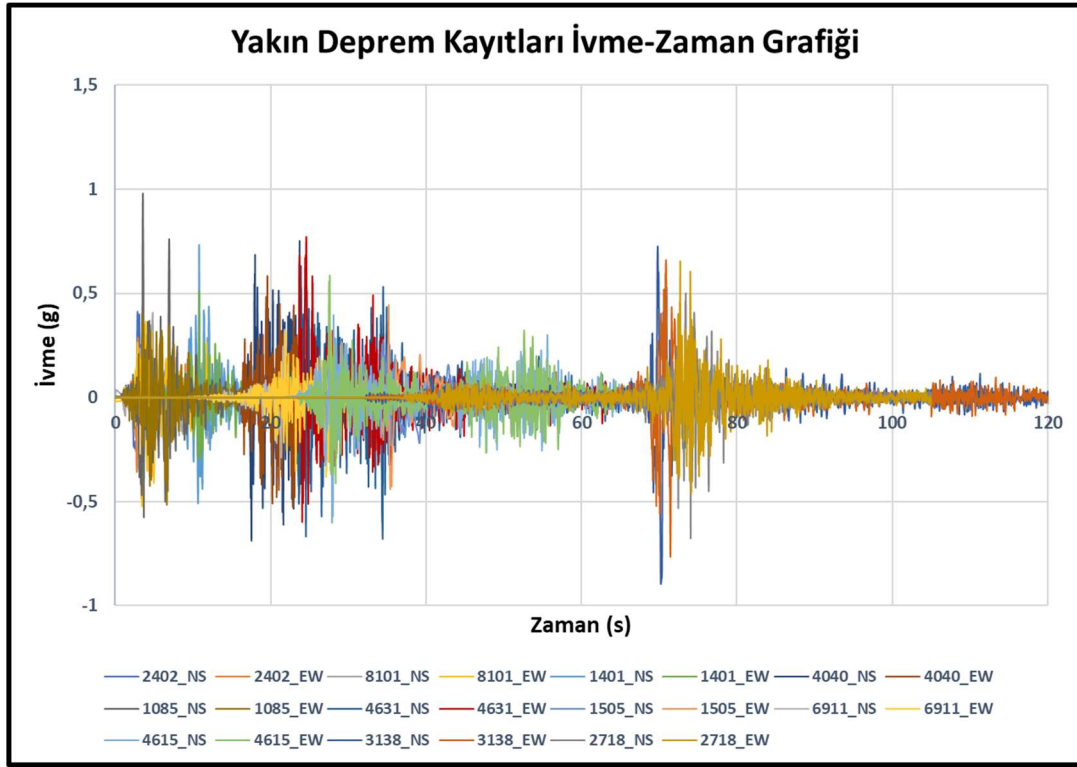
Çizelge 5.16’de yakın fay etkisi altındaki deprem kayıtlarına dair detaylara yer verilmiştir. Yakın deprem kayıtları için $PGV > 500$ mm/s ve $Rrup < 10$ km referans eşik değerleri referans alınmıştır.

Çizelge 5.16: Yakın fay etkisi içeren deprem kayıtları.

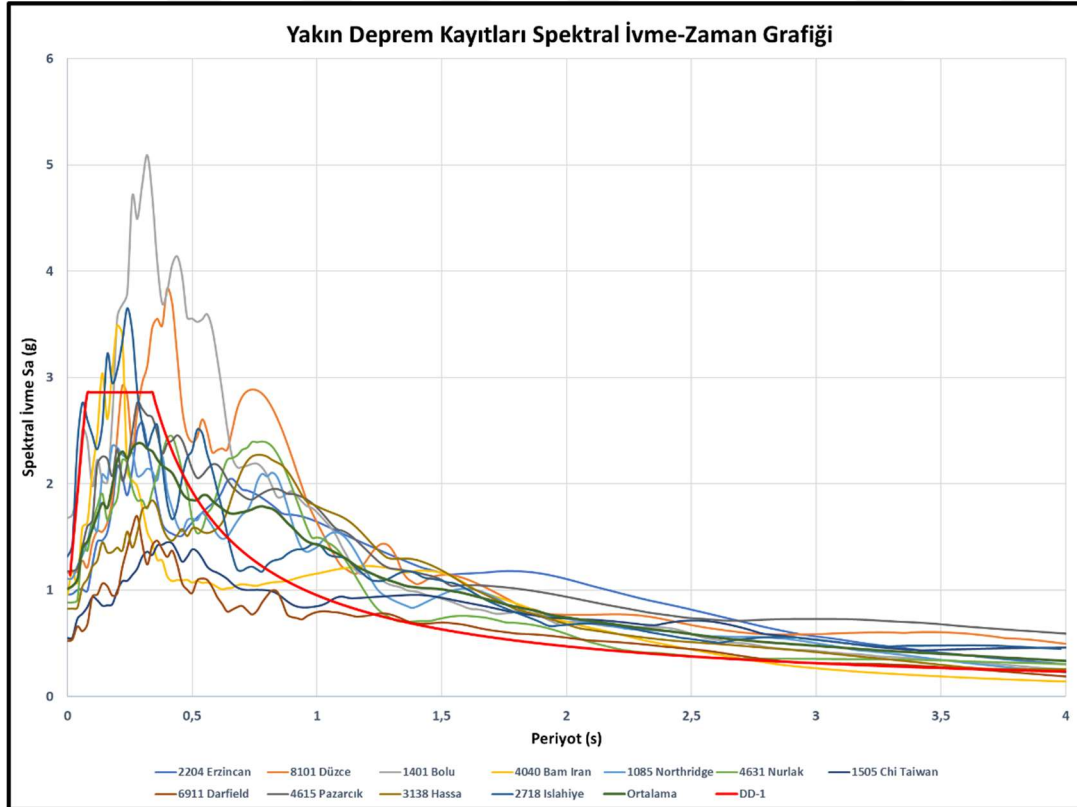
Deprem Kaydı	Deprem Adı	Büyükölük Mw	Yıl	İstasyon Adı	Veri Tabanı	Ölçek Faktörü	Fay Tipi	Rrup (km)	Zaman Aralığı
2402	Erzincan	6,60	1992	Otlukbeli	AFAD	1,50	S.S.	3,32	0,005
8101	Düzce	7,10	1999	Düzce	AFAD	1,75	S.S.	9,71	0,01
1401	Düzce	7,10	1999	Bolu	AFAD	1,87	S.S.	8,55	0,01
4040	Bam	6,60	2003	Bam	PEER	0,93	S.S.	1,70	0,005
1085	Northridge	6,69	1994	Sylmar	PEER	1,15	Reverse	5,19	0,005
4631	Elbistan	7,60	2023	Nurlak	AFAD	0,86	S.S.	11,6	0,01
1505	Chi Chi	7,62	1999	TCU068	PEER	0,87	Rev. O.	0,32	0,005
6911	Darfield	7,00	2010	HORC	PEER	0,80	S.S.	7,29	0,005
4615	Pazarcık	7,80	2023	Pazarcık	AFAD	1,40	S.S.	8,02	0,01
3138	Pazarcık	7,80	2023	Hassa	AFAD	0,70	S.S.	9,70	0,01
2718	Pazarcık	7,80	2023	Islahiye	AFAD	1,40	S.S.	2,10	0,01

Yakın deprem kayıtları AFAD ve PEER veri tabanı üzerinden seçilmiştir. Deprem kayıtlarının seçimi esnasında herhangi bir deprem için maksimum 3 adet deprem kaydı kullanılmasına dikkat edilmiştir. Erzincan ve Kahramanmaraş gibi deprem kayıtlarında yüksek ivme değerleri ile karşılaşmıştır.

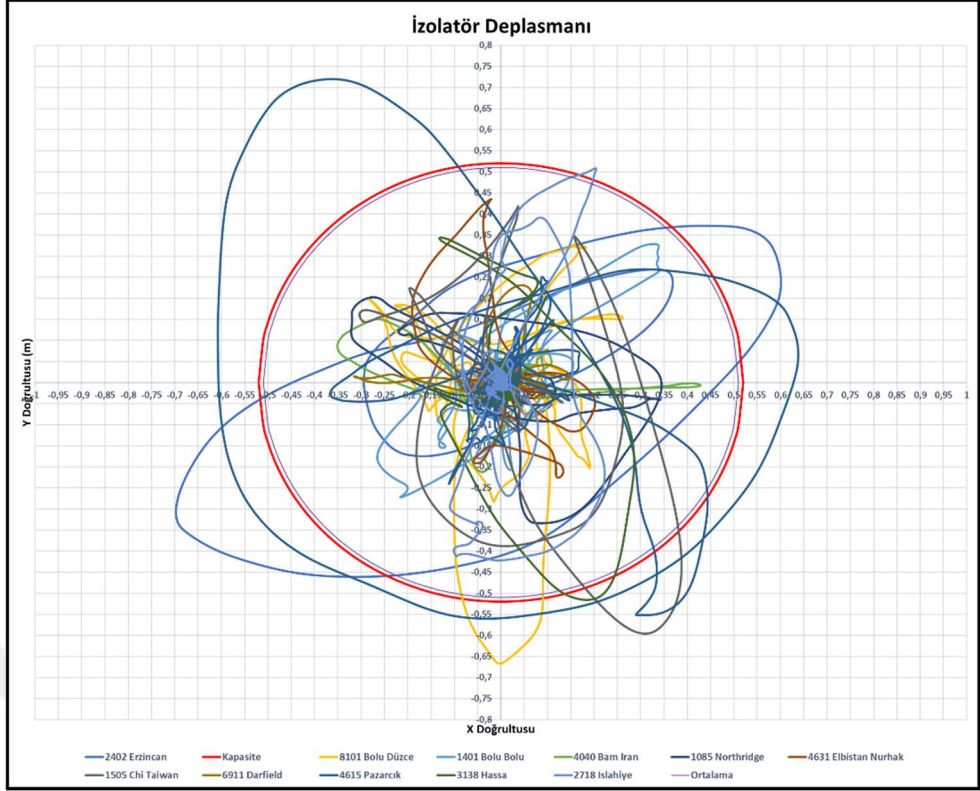
Yakın deprem kayıtları altında yapılan time history analiz sonucuna göre bazı deprem kayıtları için tasarlanan izolatör deplasman kapasitesinin aşıldığı gözlemlenmiştir, Şekil 5.29. Şekil 5.27’de yakın deprem kayıtlarının tamamına ait ivme – zaman, Şekil 5.28’de ise spektral ivme – zaman grafiklerine yer verilmiştir.



Şekil 5.27: Yakın deprem kayıtları için ivme – zaman grafiği.



Şekil 5.28: Uzak deprem kayıtları için spektral ivme – zaman grafiği.



Şekil 5.29: Yakın deprem kayıtları için izolatör deplasmanları.

Yakın deprem kayıtları için maksimum deplasman talebi 720,5 mm iken, ortalama deplasman talebi 506,6 mm civarındadır, Şekil 5.29. Deplasman değerleri tespit edilen izolatör link elemanı yapının kalıp planında köşe noktada yer alan 21 numaralı izolatördür.

Yapılan analiz sonucuna göre yakın fay etkisi altındaki deprem kayıtlarında izolatörlerde bazı kayıtlar için kapasite üstü, ortalama deplasman talebi olarak ise maksimum kapasiteye yakın deplasman talepleri oluşmaktadır. Çizelge 5.17’ de her bir deprem kaydı için maksimum deplasman değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.17: Yakın deprem kayıtları için izolatör deplasmanları.

Deprem	Max. Deplasman (mm)	Deprem	Max. Deplasman (mm)
2402	698,0	1505	596,5
8101	667,7	6911	315,5
1401	340,2	4615	720,5
4040	429,2	3138	516,4
1085	345,1	2718	508,4
4631	435,5	Ort.	506,6

5.8 İzolasyonlu Yapı Modeline İlave Sönümleyici Damperlerin Eklenmesi

Yakın deprem etkisinde öngörüldüğü üzere büyük izolatör deplasman talepleri meydana gelmiştir. Birçok deprem kaydı için maksimum izolatör deplasman kapasitesi aşılrken, ortalama gereken izolatör deplasman değeri de neredeyse kapasite sınırına dayanmaktadır.

Yakın fay etkisi altında artan deplasman taleplerini düşürmek adına tez çalışması kapsamında viskoz sönümleyici damper elemanlar yapı modeline eklenmiştir. İzolasyon katına yerleştirilen damper elemanlar iki adet X, iki adet de Y doğrultusunda uzanacak şekilde toplamda dört adettir. Sönümleyici elemanlar yapı planına göre en dış akslarda olacak şekilde modellenmiştir.

Damper elemanlar yatay şekilde yerleştirilmiş olup bir ucu üst yapıya diğer ucu ise izolatörleri konumlandırıldığı kaide elemanlar üzerinde olacak şekilde modellenmiştir, Şekil 5.30.



Şekil 5.30: Viskoz sönümleyicilerin yerleşim planı.

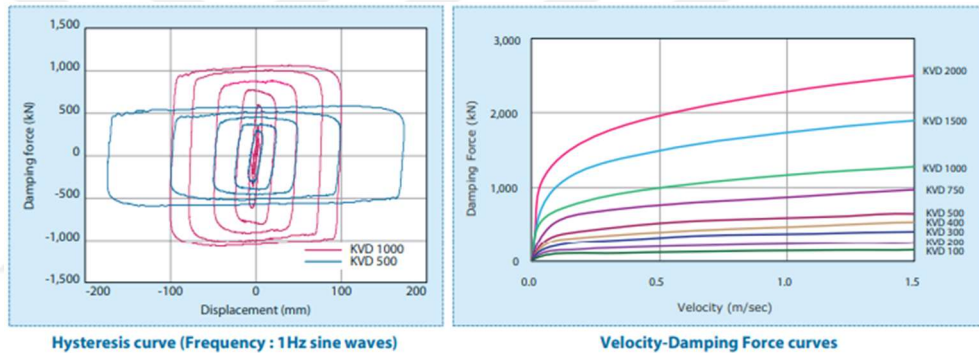
Viskoz sönümleyiciler bir üreticinin ürün kataloğundan seçilmiştir. Katalogdan alınan ürünün teknik özellikleri ve SAP 2000’de link özellikleri için gerekli olan parametrelere ait detaylara Şekil 5.32 ve Şekil 5.33’de yer verilmiştir.



Şekil 5.31: Viskoz sönümleyici damper eleman [40].

Viskoz sönümleyici elemanlar için sönüm kuvveti Denklem 5.1’de yer aldığı gibi hesaplanmaktadır. C sönüm katsayısını, V hızı, α ise aritmetik üstel değeri ifade etmekte olup bu değer üreticinin ürünleri için 0,22 olarak, sönüm ve rijitlik katsayıları ise sırasıyla 1750 kNs/m ile 100000 kN/m olarak alınacaktır.

$$F = C V^{\alpha} \quad (5.1)$$



Şekil 5.32: Viskoz sönümleyici damperlere ait parametreler [41].

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: damp

Direction: U1

Type: Damper - Exponential

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 0,

Effective Damping: 0,

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

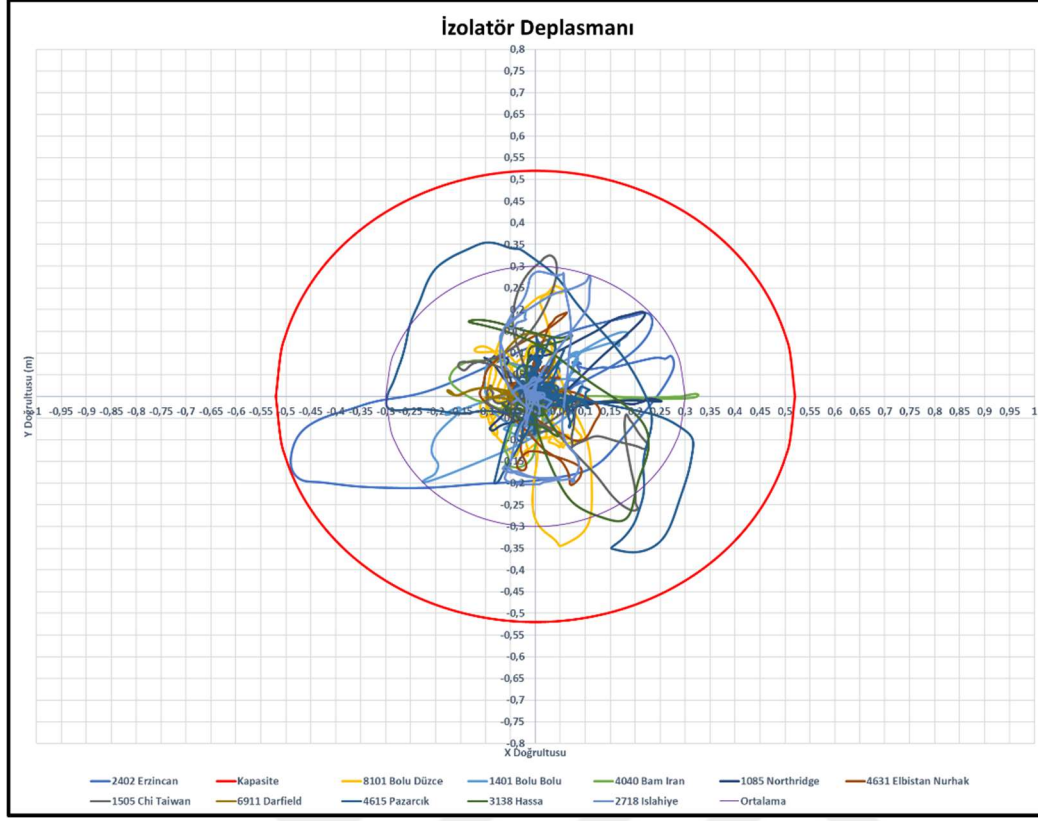
Stiffness: 100000,

Damping Coefficient: 1738,

Damping Exponent: 0,22

OK Cancel

Şekil 5.33: Sönümleyici eleman link özellikleri.



Şekil 5.34: Yakın deprem kayıtları için damperli model izolatör deplasmanları.

Yakın fay etkisini temsil eden deprem kayıtları ile viskoz sönümleyici ilave edilmiş yapı modeli için elde edilen maksimum izolatör deplasmanları Şekil 5.34’de yer aldığı gibidir. Maksimum deplasman talebi yalnız izolatörlerin kullanıldığı durum için 720,5 mm iken, sönümleyici ilave edilmiş sistemde bu değer 480,7 mm’ye düşmüştür. Ortalama deplasman talebi bir önceki durumda 506,6 mm iken yeni modelde 298,5 mm civarına inmiştir. Böylece öngörüldüğü üzere sönümleyici elemanlar yakın deprem etkisi altında izolatör deplasman taleplerini hedeflenen seviyelere indirilmesini sağlamıştır, Çizelge 5.18.

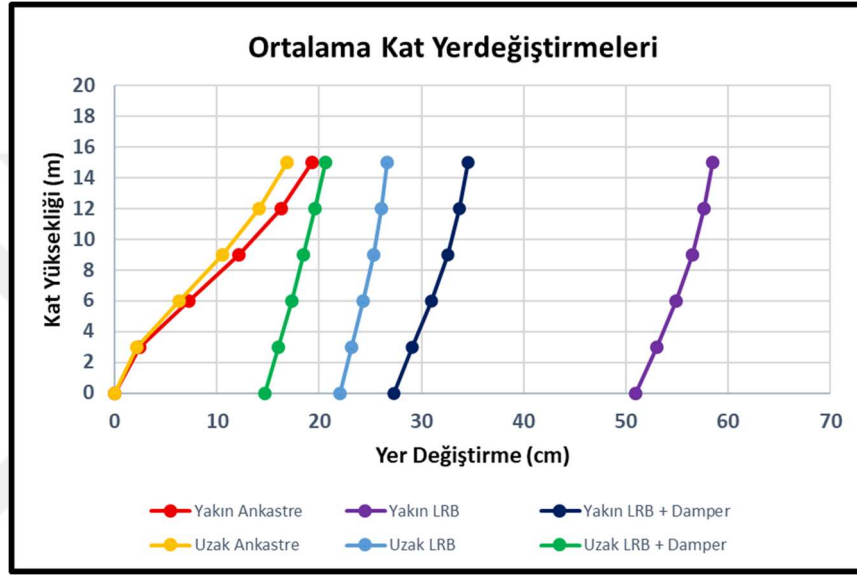
Çizelge 5.18: Yakın deprem kayıtları için damperli model izolatör deplasmanları.

Deprem	Max. Deplasman (mm)	Deprem	Max. Deplasman (mm)
2402	480,7	1505	325,4
8101	254,9	6911	177,0
1401	226,2	4615	359,6
4040	326,6	3138	287,9
1085	252,9	2718	288,2
4631	204,3	Ort.	298,5

5.9 Üst Yapının Davranışının İncelenmesi

5.9.1 Kat yerdeğiştirmelerinin değişimi

Her bir uzak ve yakın deprem seti ankastre, sismik izolatörlü, sismik izolatörlü ve damperli olmak üzere üç farklı model için uygulanmış ve analiz edilmiştir. Analiz kapsamında her bir model için kat yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri, kat ivmeleri ve taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.35: Uzak – yakın deprem kayıtları için ortalama kat yerdeğiştirmeleri.

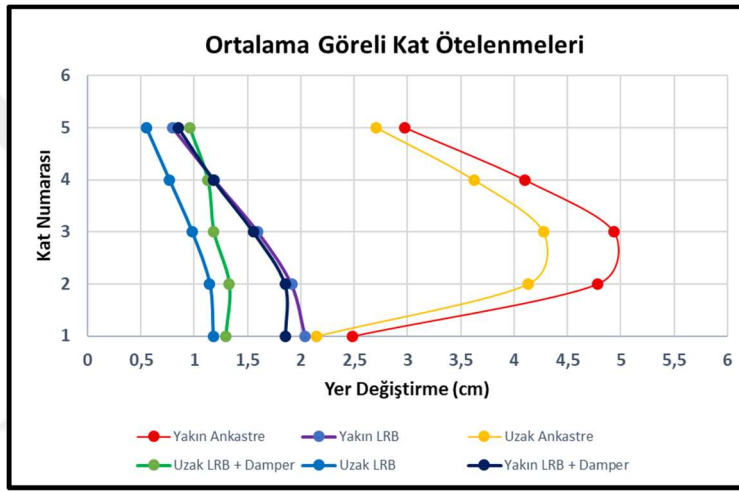
Uzak ve yakın fay etkisini içeren deprem kayıtlarının farklı yapı modelleri üzerinde analiz edilmesinin ardından elde edilen kat yerdeğiştirme değerlerinin kat seviyelerine göre değişimi Şekil 5.35’de yer aldığı gibidir.

Çizelge 5.19: Uzak-yakın deprem kayıtları için ortalama kat yerdeğiştirmeleri.

UZAK (mm)				YAKIN (mm)		
Kat	Ankastre	LRB	LRB + Damper	Ankastre	LRB	LRB + Damper
0	0	220,0	146,9	0	509,4	272,9
1	21,4	231,8	159,9	24,8	529,8	291,5
2	62,7	243,2	173,2	72,6	548,9	309,9
3	105,5	253,0	185,0	122,0	564,9	325,5
4	141,7	260,7	196,3	163,0	576,7	337,3
5	168,7	266,2	205,8	192,7	584,7	345,8

Yakın fay etkisi altında elde edilen kat yerdeğiştirmeleri aynı yapısal model türü için uzak fay etkisi altındaki deprem analizleri ile karşılaştırıldığında her durum için daha büyük seviyelerde yer almıştır. Her bir uzak ve yakın deprem seti kendi içinde analiz edildip karşılaştırıldığında ise büyük kat yerdeğiştirmelerinin LRB izolatör içeren yapısal modelde olduğu gözlenirken en küçük kat yerdeğiştirmelerinin ankastre mesnetli modelde olduğu gözlenmiştir. LRB izolatörlü modele damper elemanın dahil edilmesi durumunda ise yapı daha rijit bir davranış göstermiş olup kat yerdeğiştirmeleri LRB izolatörlü modele göre bir miktar sınırlı düzeyde seyir etmiştir.

5.9.2 Kat ötelenmelerinin değişimi



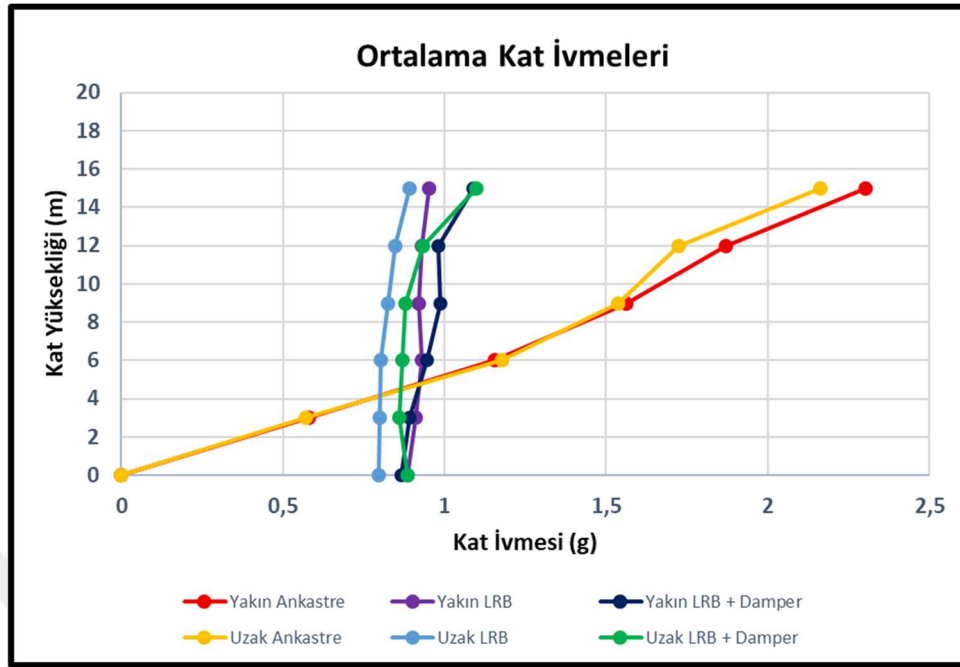
Şekil 5.36: Uzak – yakın deprem kayıtları için ortalama görelî kat ötelemeleri.

Görelî kat ötelemeleri farklı modeller için karşılaştırıldığında en büyük görelî kat ötelemeleri yakın fay etkisi altında ankastre mesnetli modelde gözlenirken en düşük görelî kat ötelemeleri uzak deprem etkisi altında LRB izolatörlü modelde gözlenmiştir, Şekil 5.36.

Çizelge 5.20: Uzak-yakın deprem kayıtları için ortalama görelî kat ötelemeleri.

Kat	UZAK (mm)			YAKIN (mm)		
	Ankastre	LRB	LRB + Damper	Ankastre	LRB	LRB + Damper
1	21,4	11,8	12,9	24,8	20,4	18,6
2	41,3	11,5	13,3	47,8	19,1	18,5
3	42,8	9,80	11,8	49,3	16,0	15,5
4	36,2	7,70	11,3	41,0	11,9	11,8
5	27,0	5,50	9,60	29,8	8,00	8,50

5.9.3 Kat ivmelerinin değişimi



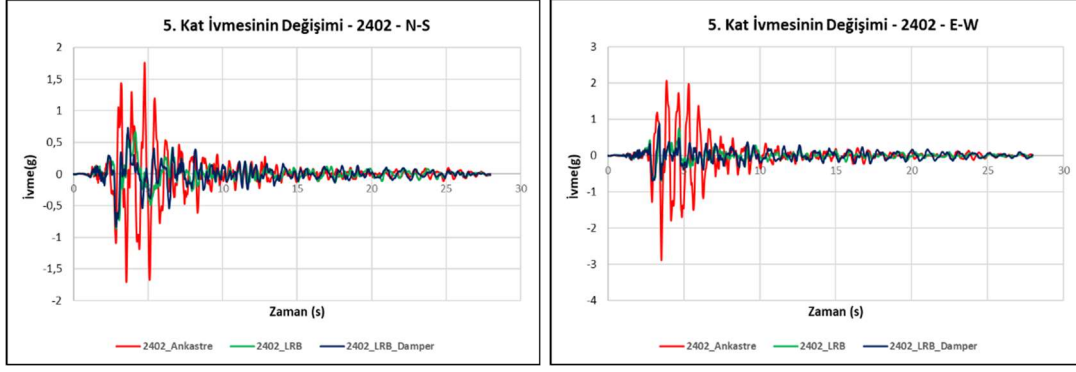
Şekil 5.37: Uzak – yakın deprem kayıtları için ortalama kat ivmeleri.

En büyük ortalama kat ivmeleri ankastre mesnetli yapı modelinde yer almaktadır. Üst katlara çıkıldıkça kat ivmelerinde düzenli bir artış söz konusudur. LRB izolatörlü modelde ise en düşük ortalama kat ivmeleri gözlemlenmiştir; bu modelde üst katlara doğru nispeten sınırlı düzeyde kat ivmelerinde artış gerçekleşmiştir, Şekil 5.37.

LRB izolatörlü modele viskoz damper ilave edildiği durumda ise ortalama kat ivmelerinde yalnızca LRB izolatör bulunan yapı modeline göre bir miktar artış görülmüştür, Çizelge 5.21.

Çizelge 5.21: Uzak-yakın deprem kayıtları için ortalama kat ivmeleri.

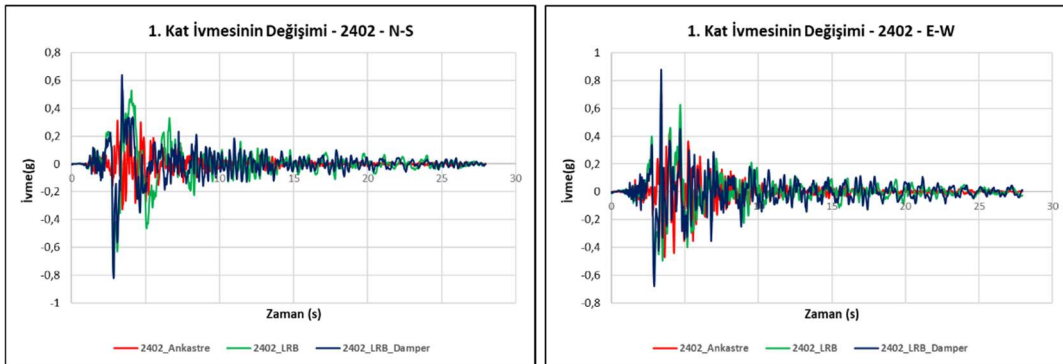
Kat	UZAK (g)			YAKIN (g)		
	Ankastre	LRB	LRB + Damper	Ankastre	LRB	LRB + Damper
0	0	0,80	0,89	0	0,88	0,87
1	0,57	0,80	0,86	0,58	0,91	0,89
2	1,18	0,80	0,87	1,16	0,93	0,95
3	1,54	0,83	0,88	1,56	0,92	0,99
4	1,73	0,85	0,93	1,87	0,93	0,98
5	2,16	0,89	1,10	2,30	0,95	1,09



Şekil 5.38: Beşinci kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi - 2402 kaydı.

Erzincan depreminin her iki doğrultudaki yatay bileşeni için farklı yapı modellerinde elde edilen en üst kattaki kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi Şekil 5.8 yer aldığı gibidir. Deprem kayıtları özelinde kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi detaylı bir şekilde incelendiğinde üst kattaki kat ivmesi değerinin ankastre mesnetli yapı modelinde daha yüksek değerlere sahip olduğu görülürken, en düşük tepe kat ivme değerinin ise sadece sismik izolatörlerin bulunduğu yapı modelinde olduğu görülmektedir.

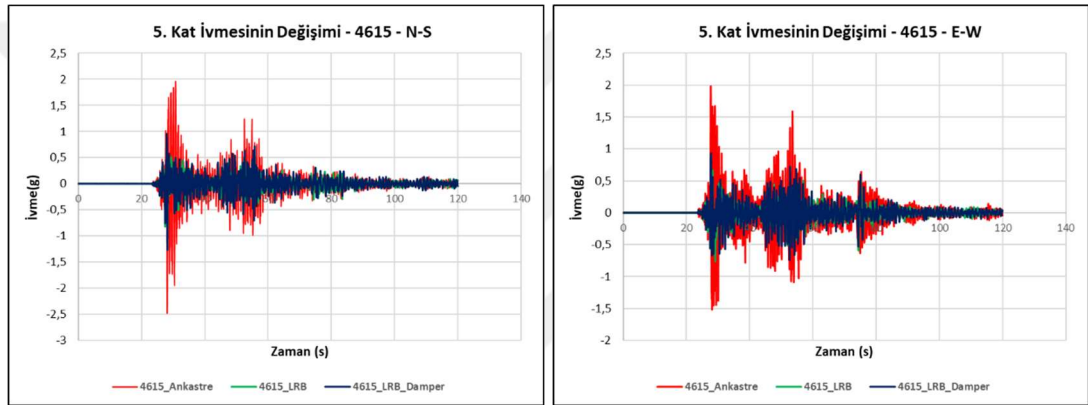
Yapıya viskoz sönümleyici elemanların dahil edildiği yapı modelinde ise bir miktar üst katlardaki kat ivme değerlerinin artış eğilimine geçtiği görülmektedir. Yapının en üst katındaki kat ivmelerinin değişimi incelendiğinde ankastre mesnetli yapı modeli için maksimum kat ivmesi 2,89 g değerinde iken, LRB ve viskoz sönümleyicili yapı modellerinde bu değerler sırasıyla 0,87 g ve 0,9 g'dir. En üst katın aksine birinci kattaki kat ivmelerinin değişimi gözlemlendiğinde ise en yüksek kat ivmesi değerlerinin viskoz sönümleyicili elemanların dahil edildiği yapı modelinde oluştuğu görülmektedir, Şekil 5.39.



Şekil 5.39: Birinci kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi - 2402 kaydı.

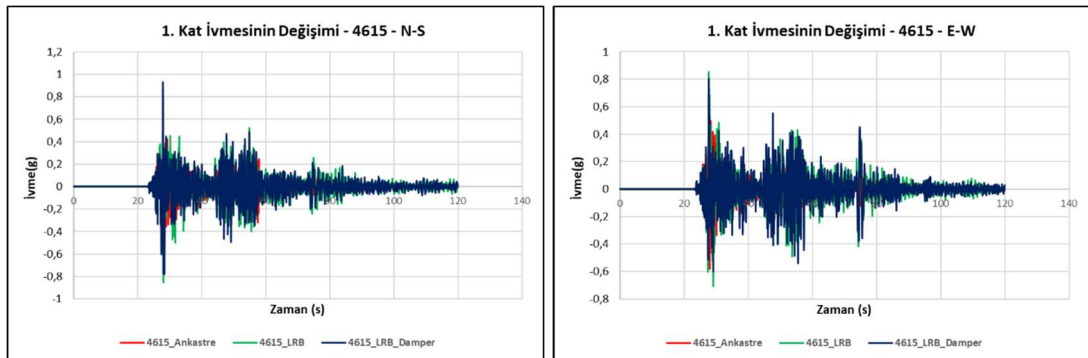
Erzincan depremi için kat ivmelerinin birinci kattaki değişimi farklı yapı modellerinde incelendiği zaman ankastre mesnetli, LRB izolatörlü ve viskoz sönüleyicili modellerde maksimum kat ivmelerinin sırasıyla 0,54 g, 0,81 g ve 0,89 g olduğu gözlenmiştir.

Pazarcık depremi 4615 istasyonu deprem kaydı için farklı katlara ait kat ivmesi değerlerinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde en üst kattaki kat ivmesi değerleri farklı yapı modelleri için karşılaştırıldığında en büyük kat ivmesi değerinin ankastre mesnetli yapı modelinde olduğu gözlenirken, en düşük akt ivmesinin ise yine LRB izolatörlü modelde olduğu tespit edilmiştir. Maksimum kat ivmelerinin değerleri ankastre mesnetli, LRB izolatörlü ve viskoz sönümleyicili yapı modelleri için sırasıyla 2,48 g, 0,91 g, 1,2 g olduğu belirlenmiştir, Şekil 5.40.



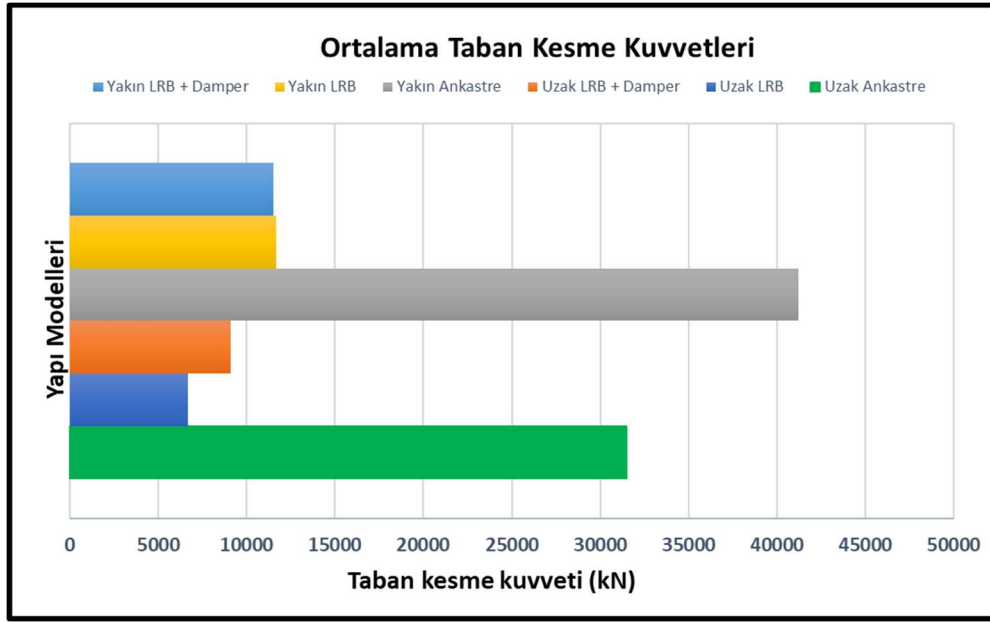
Şekil 5.40: Beşinci kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi - 4615 kaydı.

Pazarcık depremi için birinci kattaki kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi farklı yapı modellerinde incelendiğinde ankastre mesnetli, LRB izolatörlü ve viskoz sönüleyicili modellerde maksimum kat ivmelerinin sırasıyla 0,58 g, 0,85 g ve 0,92 g olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre de yine birinci kattaki en büyük kat ivmesi değerlerinin viskoz sönümleyicili modelde olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.41: Birinci kat ivmelerinin zamana bağlı değişimi - 4615 kaydı.

5.9.4 Taban kesme kuvvetlerinin değişimi



Şekil 5.42: Uzak – yakın deprem kayıtları için ortalama taban kesme kuvvetleri.

En büyük taban kesme kuvveti yakın fay etkisi altında ankastre mesnetli yapı modelinde gözlenmiştir. En düşük taban kesme kuvveti değeri uzak fay etkisi altında LRB izolatörlü modelde elde edilmiştir, Şekil 5.42. Taban kesme kuvvetlerinin ortalama değerlerinin farklı deprem setleri ve farklı yapı modelleri altındaki değişimi Çizelge 5.22’de yer aldığı gibidir.

Çizelge 5.22: Uzak-yakın deprem kayıtları için ortalama taban kesme kuvvetleri.

UZAK (kN)			YAKIN (kN)		
Ankastre	LRB	LRB + Damper	Ankastre	LRB	LRB + Damper
31466,28	6695,57	9094,64	41199,18	11694,85	11503,18

Uzak ve yakın deprem setleri için yapılan analizler sonucunda taban izolasyonlu yapı modelinin deprem kaynaklı etkileri üst yapıya en düşük seviyede aktardığı sonucuna varılmıştır. Yakın deprem etkisi altında artan izolatör deplasmanlarının düşürülmesi amacıyla yalıtım arayüzüne yerleştirilen viskoz damperler sayesinde yapı modelinde yer alan izolatörlerin maksimum deplasman talebi hedeflenen seviyelere düşürülebilmektedir. Buna karşılık üst yapı davranışında yapının bir miktar rijitleşmesine bağlı olarak negatif anlamda değişimler söz konusu olsa da deprem etkilerinin üst yapıda minimize edilmesi adına gayet iyi sonuçlar vermiştir.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışması ile taban izolasyonu uygulamaları kapsamında sismik yalıtım birimli bir yapının yakın fay etkisi altında ilave sönümleyici elemanlar ile davranışı incelenmiştir.

Planda her iki doğrultuda 4'er açıklığı bulunan 5 katlı konut tipi betonarme çerçeve sistem kullanılmıştır. Öncelikle ankastre mesnetli olarak modellenen yapı sistemi daha sonra sırasıyla sismik izolatörlü ve sismik izolatöre ek olarak ilave viskoz sönümleyici elemanlar ile birlikte modellenmiştir.

Yapının koordinatları enlem: 36,856430, boylam: 36,68833 şeklindedir. Sismik izolasyonda 25 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (LRB) kullanılmıştır. LRB'nin tasarımı TBDY 2018 Bölüm 14'de yer alan dizayn adımları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

İlave sönümleyici elemanlar, yapının en dış akslarında olacak şekilde iki adet X ve iki adet Y doğrultusunda konumlandırılmıştır.

Ankastre mesnetli yapı modelinin hâkim titreşim periyodu 0,78 s iken taban izolasyonlu yapı sisteminin titreşim periyodu 2,66 s civarına uzamıştır. Böylece yapı sistemi üzerine etkiyen spektral ivme değeri yaklaşık %70 oranında azalmıştır.

Deprem kayıtları PEER ve AFAD veri sistemi aracılığıyla uzak ve yakın fay etkisini içeren iki farklı deprem seti olarak seçilmiştir. Her bir deprem seti 11 farklı deprem kaydını içermektedir. Deprem kayıtları yapının bulunduğu konuma özgü elde edilen spektruma göre basit ölçeklendirme yöntemiyle ölçeklendirilmiştir.

Uzak fay etkisini içeren deprem kayıtları seçilirken faya uzaklık için $R_{rup} > 15$ km seçilirken, yakın fay etkisini içeren deprem kayıtları için ise $R_{rup} < 10$ km ve $PGV > 500$ mm/s eşik değerleri referans alınmıştır.

Uzak fay etkisini içeren deprem analizinde izolatörlü sistemin maksimum ortalama deplasman talebi 216 mm iken, yakın fay etkisini içeren deprem setiyle yapılan analizde bu değer yaklaşık olarak 506,6 mm olarak elde edilmiştir.

TBDY 2018' e göre tasarımı yapılan sismik yalıtım birimlerinin deplasman kapasitesinin yaklaşık olarak 520 mm belirlenmesi ve yakın fay etkisini içeren deprem seti analizinde deplasman talebinin kapasiteye oldukça yaklaşması üzerine yapıya ilave sönümleyici elemanlar yerleştirilmiş ve en büyük ortalama deplasman talebi 298,5 mm civarına düşürülmüştür.

Üst yapıda yapılan analizler kapsamında kat yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri, kat ivmeleri ve taban kesme kuvvetlerinin değişimi üç farklı model için analiz edilmiştir. Yapılan analizler doğrultusunda yakın fay etkisi altında elde edilen sonuçlarda, uzak fay etkisi altında elde edilen sonuçlara göre daha yüksek değerler ile karşılaşılmasıdır.

Kat yerdeğiştirmelerinde en büyük değerler ankastre mesnetli yapı modelinde gözlenirken, en düşük kat yerdeğiştirmeleri sismik izolatörlü yapı modelinde elde edilmiştir. Yalıtım arayüzüne yakın fay etkisi altındaki yüksek deplasman talebini düşürmek adına ilave edilen sönümleyici elemanları içeren yapı modelinde elde edilen sonuçlar yalnızca sismik izolatörlü yapı modelinde elde edilen sonuçlara göre nispeten daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Bunun sebebi yapı modeline ilave edilen damper elemanların yapıyı bir miktar rijitleştirmesidir.

Genel olarak yapıya sismik izolatörlerin ilave edilmesi ile görelî kat ötelemelerinde, taban kesme kuvvetleri ve kat ivmelerinde gözle görülür seviyede düşüşler meydana gelmiştir. Katların birbirlerine göre deplasmanlarının azalması yapısal olmayan elemanların deprem sırasında hasar almasının önüne geçecek bir durumdur. Yapıyı oluşturan kolon ve kiriş elemanlarında oluşan iç kuvvetlerde de azalış görülmüştür.

Sonuç olarak taban izolasyonlu bir yapının ankastre mesnetli bir yapıya göre depreme karşı kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, kat ivmeleri gibi pek çok yapısal performans kriteri kapsamında daha iyi bir performans ortaya koymuştur ve bu yapılan çalışma ile ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Eyidoğan, H. (2011). Türkiye'nin Diri Fay Yapısı ve Depremsellik Özellikleri. 11.
- [2] Alasaf, E., & Öztürk, H. (2022). Sismik izolatörlü yapıların tasarımına etki eden faktörlerin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(4), 2155-2164.
- [3] TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, Türkiye.
- [4] Şengel, H. S., Erol, H., & Yavuz, E. (2009). Sismik izolasyon tekniği ve kullanımına ilişkin örnek uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 165-178.
- [5] Bere, V. S., Borade, Y., Kodalkar, R., Shaikh, M., Kharat, S., & Kazi, A. (2024). Review of Design and Comparative Analysis of Applications in Earthquake-Resisting RC Structures and LRB Structures. *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*. Volume 6, Issue 4, April (pp. 721-731).
- [6] Alhan, C., Hacıemiroğlu, M., Kahvecioğlu, B., Karapınar, M., F. (2024). *Sismik izolasyonlu yapı tasarımı eğitimi*.
- [7] Wen, P. A. N., & Baifeng, S. U. N. (2008, October). Two step design method for base isolation structures. In *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, October (pp. 12-17).
- [8] Yenidogan, C. (2021). Karma Deprem Yalıtım Sistemlerinin Deneysel Performans Değerlendirmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(69), 767-779.
- [9] Erdik, M., Ülker, Ö., Şadan, B., & Tüzün, C. (2018). Seismic isolation code developments and significant applications in Türkiye. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 115, 413-437.
- [10] Yenidogan, C. (2021). Earthquake-resilient design of seismically isolated buildings: A review of technology. *Vibration*, 4(3), 602-647.
- [11] Alhan, C., & Hacıemiroğlu, M. (2023). Seismic isolation in earthquake-resistant structural design for resilient cities. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi, Deprem ve Kentsel Dönüşüm*, 4, 96-127.
- [12] Shatarat, N. K., Symans, M. D., McLean, D. I., & Cofer, W. F. (2007). Evaluation of displacement-based methods and computer software for seismic analysis of highway bridges. *Engineering Structures*, 30, 1335-1345.

- [13] **Celep, Z.** (2007). Betonarme sistemlerde doğrusal olmayan davranış: Plastik mafsallık kabulü ve çözümleme. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20.
- [14] **Yanık, A., Aldemir, Ü., & Bakioğlu, M.** (2009). Taban İzolasyonlu ve İzolasyonsuz Yapılarda Sismik Enerjinin Dağılımı.
- [15] **Alavi, B., & Krawinkler, H.** (2001). *Effects of near-fault ground motions on frame structures* (p. 301). Stanford: John A. Blume Earthquake Engineering Center.
- [16] **Umut, Ö.** (2006). Yakın Fay Hareketinin Yapılar Üzerindeki Etkisi ve İzolatör Sıvı Sönümleyicilerle Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.
- [17] **Türk, H. A.** (2019). *Çok katlı betonarme yapılarda farklı sismik izolatör sistemlerin ve kat adetinin deprem davranışına etkisi* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye).
- [18] **Makris, N.** (2019). Seismic isolation: Early history. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 48(2), 269-283.
- [19] **Urgu, M. İ.** (2006). *Sismik izolasyonlu yapıların tasarımı* (Master's thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye).
- [20] **Murat, E.** (2007). Binaların Tabanlarına Elastomer Mesnetler Yerleştirilerek Sismik Yalıtım Uygulaması.
- [21] **Kelly, J. M.** (1988). Base isolation in Japan. *Technology transfer package on seismic base isolation*, 3.
- [22] **Komodromos, P. I.** (2000). *Seismic isolation for earthquake-resistant structures* (Vol. 7). Wit Press.
- [23] **Albaş, M. Y.** (2021). *TBDY 2018'e göre sismik yalıtımlı yapının tasarlanması* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [24] **Baş, A. S., Sümer, Y.** (2024). Betonarme Yapılarda Sismik İzolatör Kullanımı ve Sismik İzolatör Tiplerinin İncelenmesi.
- [25] **Constantinou, M., Whittaker, A. S., & Velivasakis, E.** (2001). Seismic evaluation and retrofit of the Atatürk international airport terminal building. In *Structures: A Structural Engineering Odyssey* (pp. 1-8).
- [26] **Kan, Ö., Kaymaz, K., Zengin, B., & Özcan, M.** (2017). Türkiye'deki Depreme Dayanıklı Yapıların Sismik İzolasyon Tiplerinin İncelenmesi. *Munzur Üniversitesi Bilim ve Gençlik Dergisi*, 5(2), 82-100.
- [27] **Rec Uluslararası İnşaat Yatırım Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi.** (2020). <https://ronesans.com/projeler/yatirim/basaksehir-cam-ve-sakura-sehir-hastanesi>.
- [28] **Akfen İnşaat Turizm ve Ticaret A.Ş.** (2021). <https://www.akfen.com.tr/wp-content/uploads/2023/12/06.12.2021-Akfen-Insaat-Tekirdag-Ismail-Fethi-Cumalioglu-Sehir-Hastanesi-Birinci-Yasinda.pdf>.

- [29] Robinson, W. H. (2000). Seismic isolation of civil buildings in New Zealand. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2(3), 328-334.
- [30] Öztürk, H. (2022). Sismik izolasyonlu yapıların tasarımında kullanılan analiz yöntemlerinin karşılaştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38(1), 117-127.
- [31] Dynamic Isolation Systems, (DIS). *Lead Rubber Bearings*. https://www.dis-inc.com/pdf_files/DIS%20Seismic%20Isolation%20for%20Buildings%20and%20Bridges.pdf.
- [32] Polat, H. İ. (2019). Betonarme Bir Yapıda Geleneksel Yöntem ve Taban İzolatörü Kullanımının Karşılaştırmalı Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (15), 43-54.
- [33] Reddy, M. R., Srujana, N., & Lingeshwaran, N. (2017). Effect of base isolation in multistoried reinforced concrete building. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(3), 878-887.
- [34] Doğan, Ö. (2007). *Sismik taban izolasyon sistemleri ve uygulaması* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya).
- [35] Paul, S., Sundararajan, T., & Sabu, B. (2017). Seismic performance and economic feasibility of structures by optimal positioning of combined base isolation systems. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4, 1589-1595.
- [36] Domadzra, Y., Bhandari, M., & Hasan, M. (2024). Seismic response of base-isolated buildings: exploring isolator properties. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25(5), 4197-4209.
- [37] AFAD. *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*, İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018. <https://tdth.afad.gov.tr>.
- [38] SAP2000 (2009). Version 21.1.0. Integrated software for structural analysis and design. Berkeley, CA: Computer and Structures Inc.
- [39] PEER. Pacific Earthquake Engineering Research Center, *Ground motion database*, <https://ngawest2.berkeley.edu/>.
- [40] Morgan, T. A. (2015). Code-Based Design: Seismic Isolation of Buildings. In *Encyclopedia of Earthquake Engineering* (pp. 419-440). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [41] Kawakin Core-Tech. Co., Ltd. Vibration control products, viscous dampers, https://kawakinco.jp/wp-content/uploads/2022/03/C01_KVD.pdf.



EKLER

Ek A: Uzak fay etkisi deprem kayıtları için ivme – zaman grafikleri

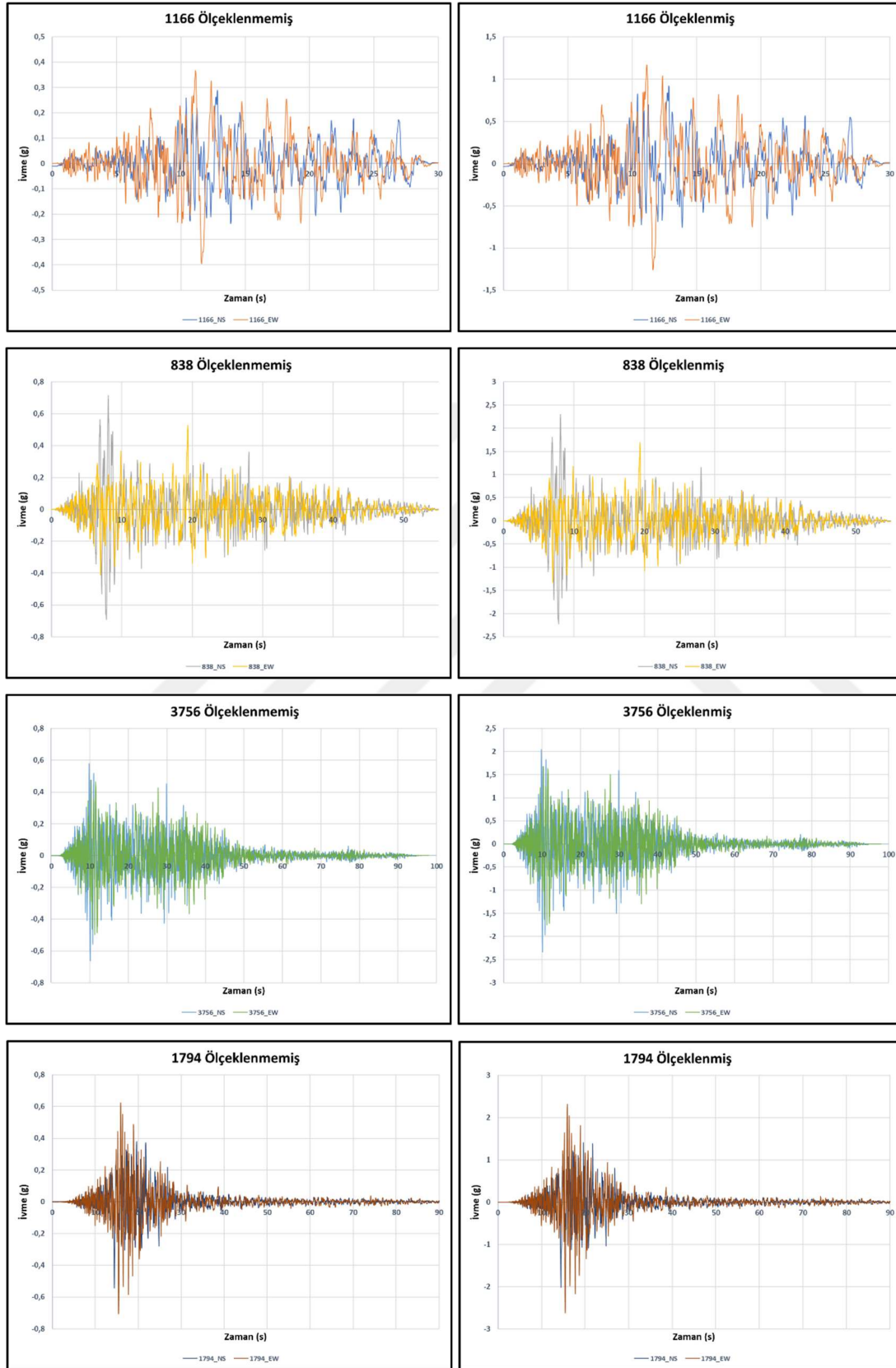
Ek B: Yakın fay etkisi deprem kayıtları için ivme – zaman grafikleri

Ek C: Uzak – yakın deprem kayıtları için kat yerdeğiştirmeleri

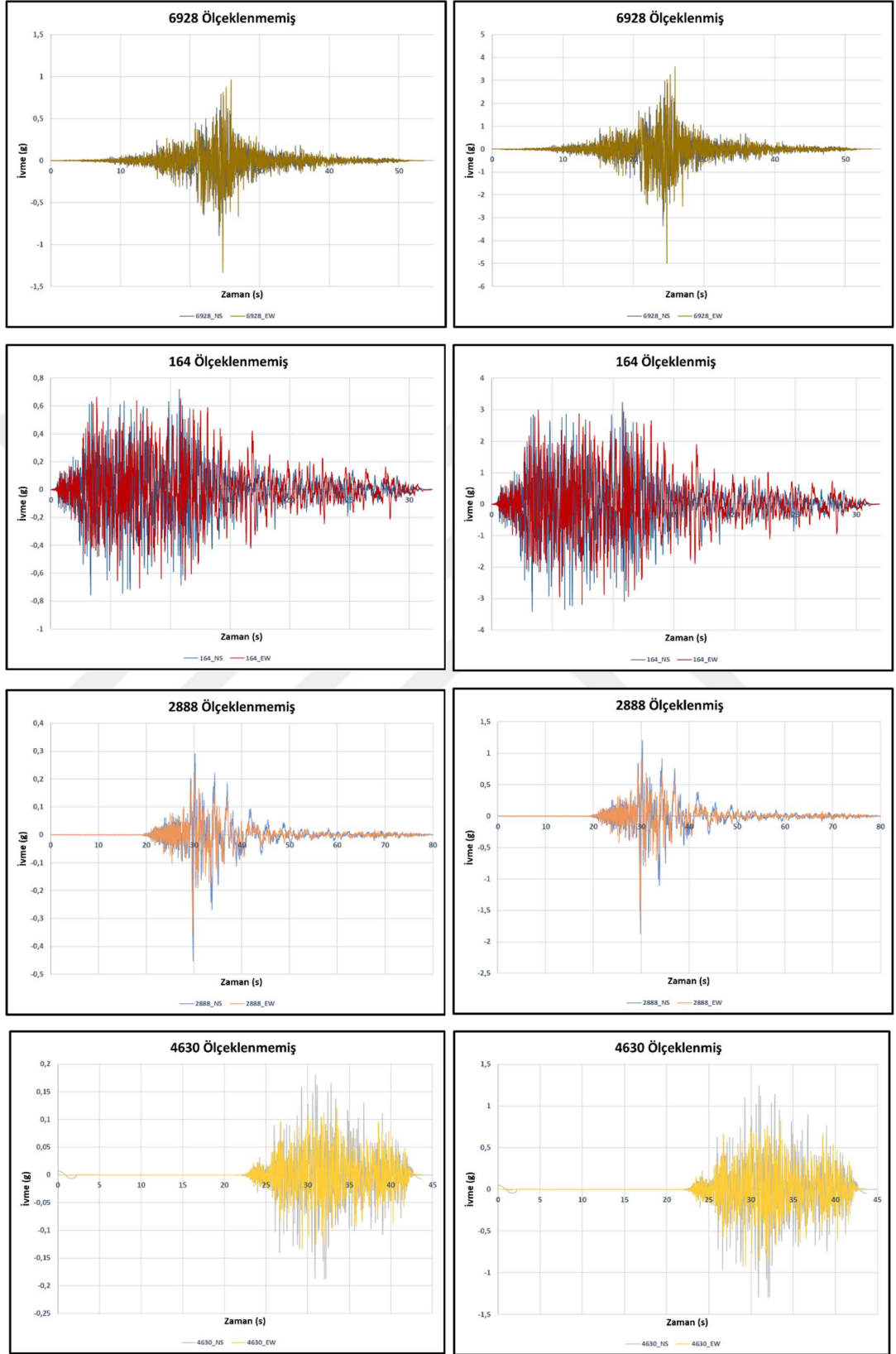
Ek D: Uzak – yakın deprem kayıtları için kat ivmeleri

Ek E: Uzak – yakın deprem kayıtları için kat taban kesme kuvvetleri

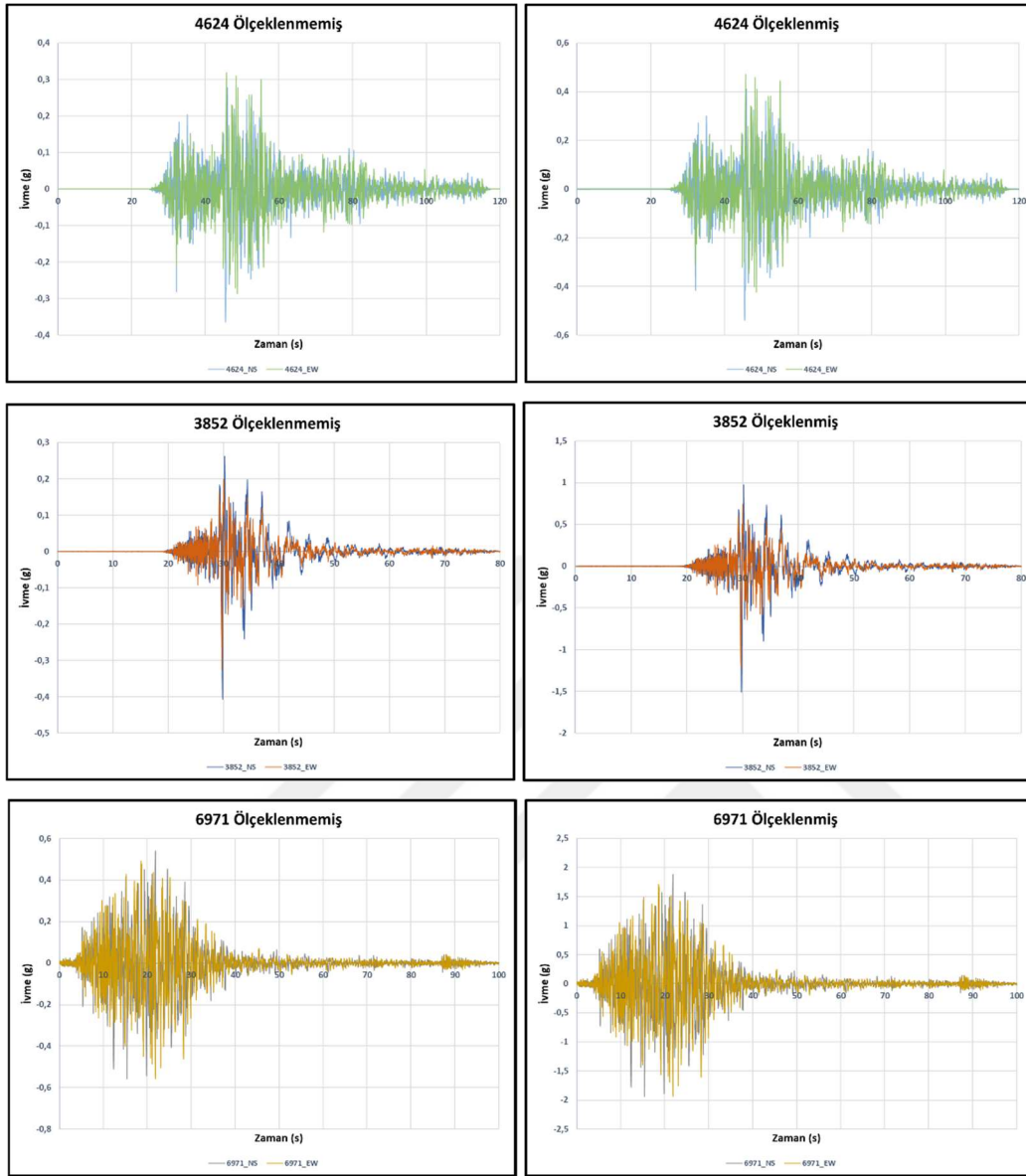
Ek A



Şekil A.1: Uzak fay deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri.

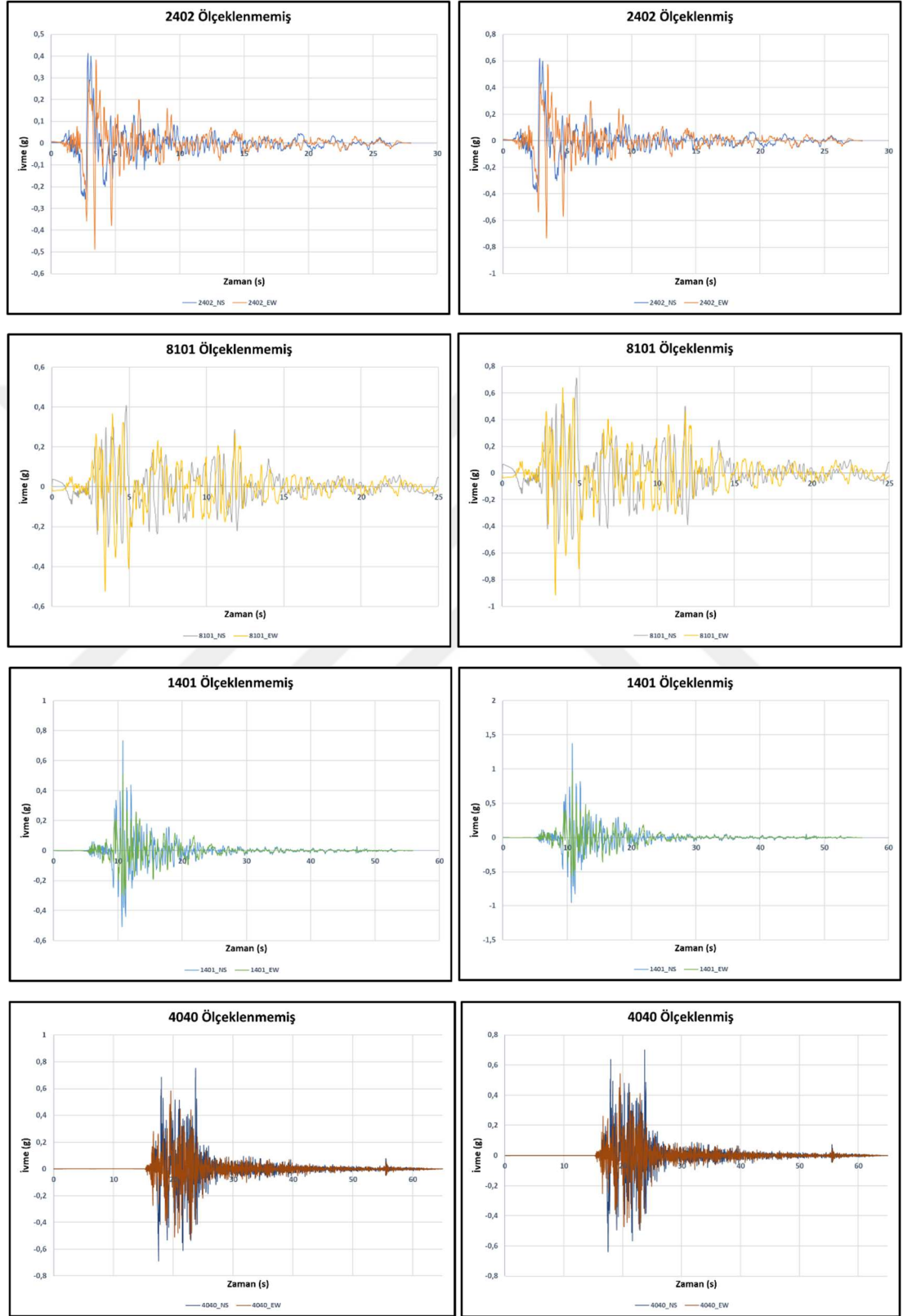


Şekil A.1: Uzak Fay deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri (devam).

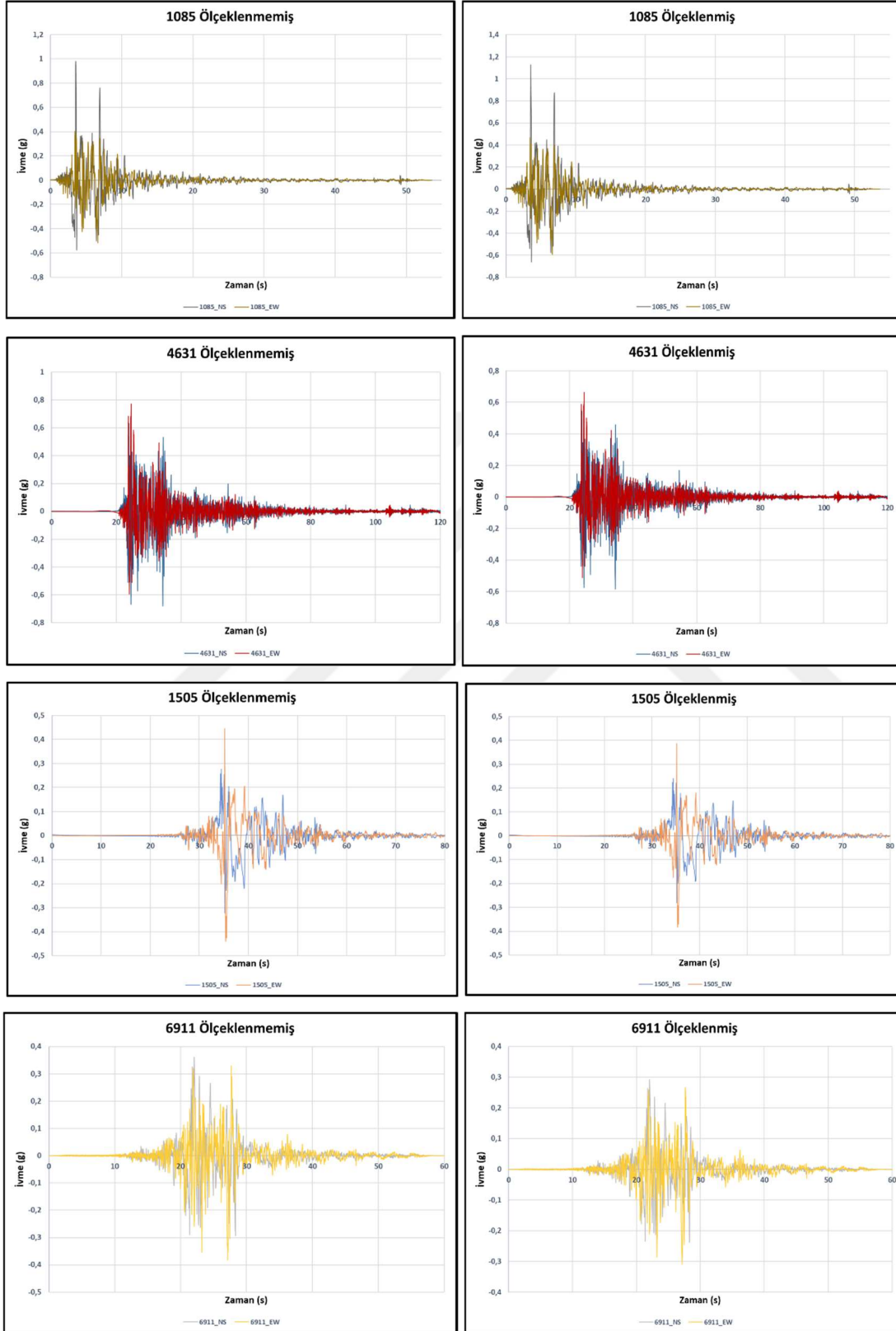


Şekil A.1: Uzak fay deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri (devam).

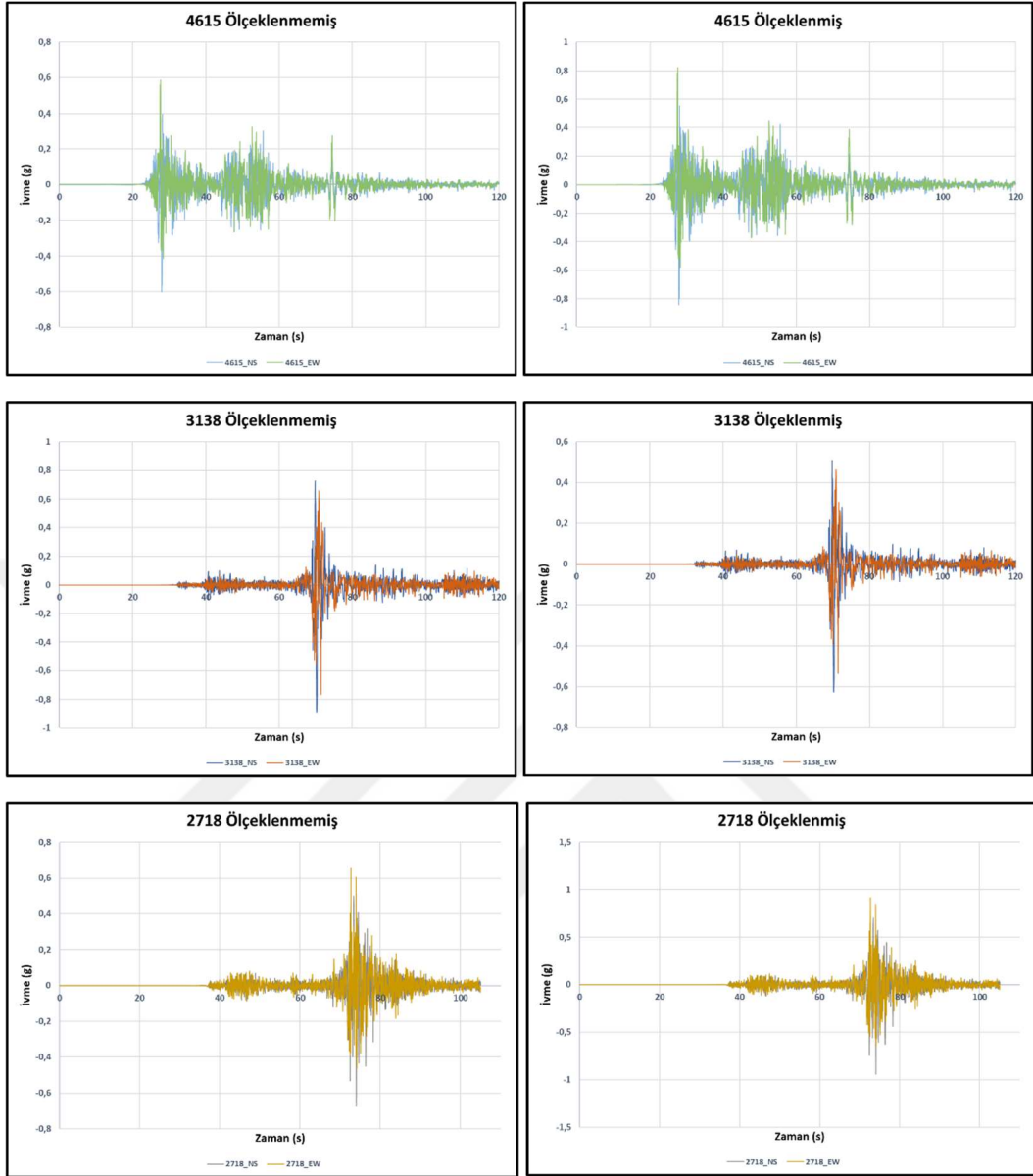
Ek B



Şekil B.1: Yakın fay deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri.

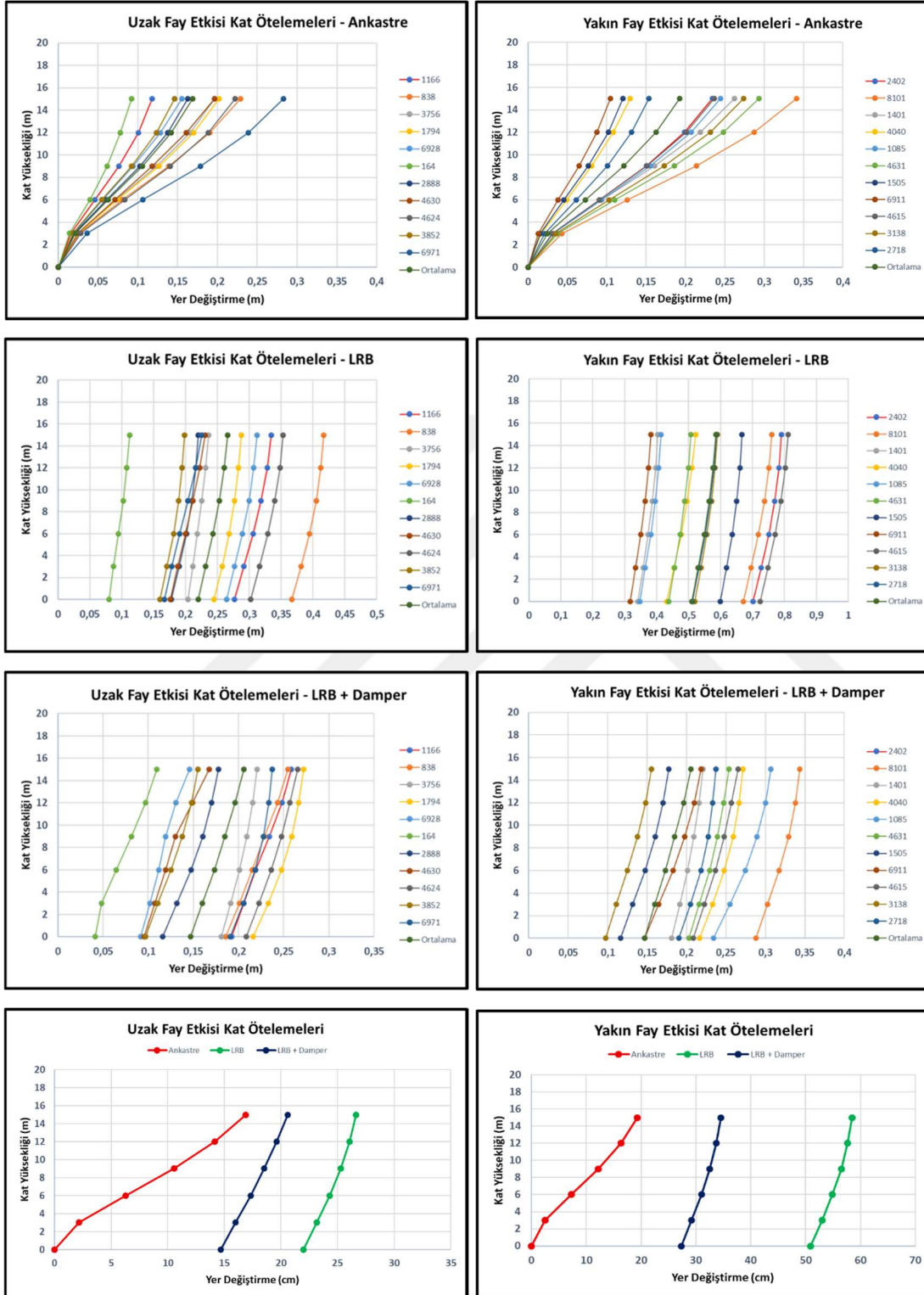


Şekil B.1: Yakın fay deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri (devam).



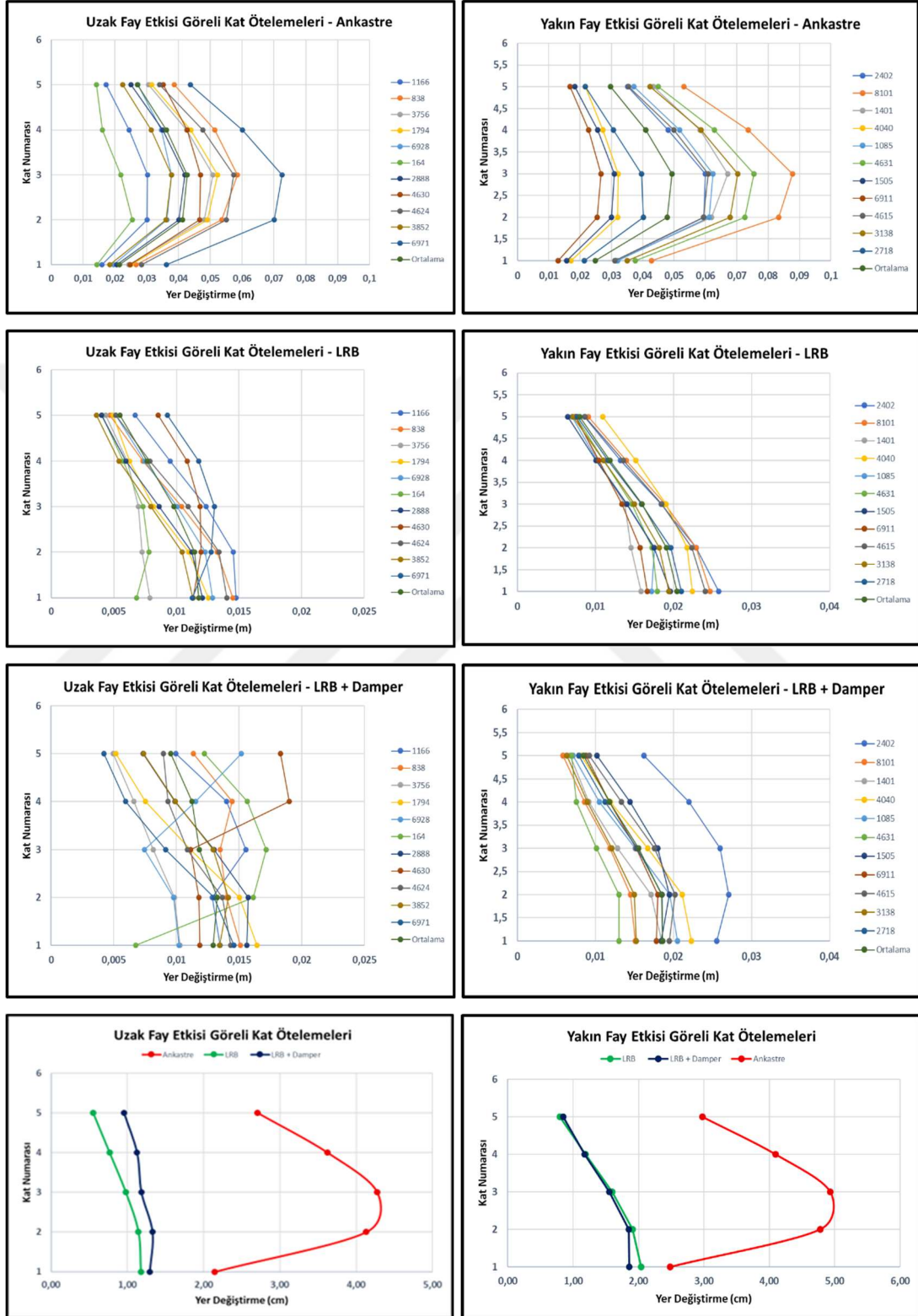
Şekil B.1: Yakın fay deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri (devam).

Ek C



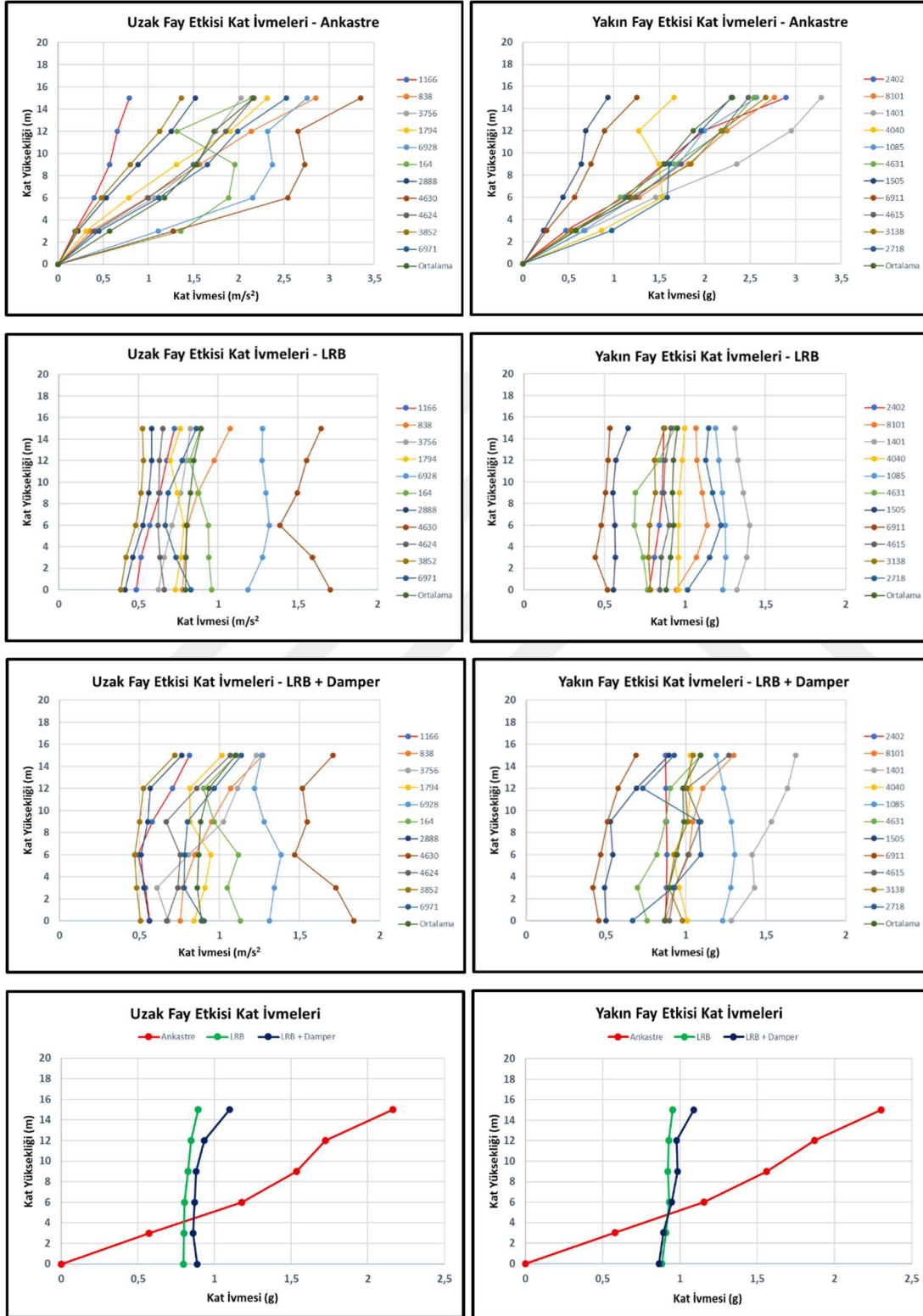
Şekil C.1: Uzak – yakın deprem kayıtları için kat yerdeğiştirmeleri.

Ek D



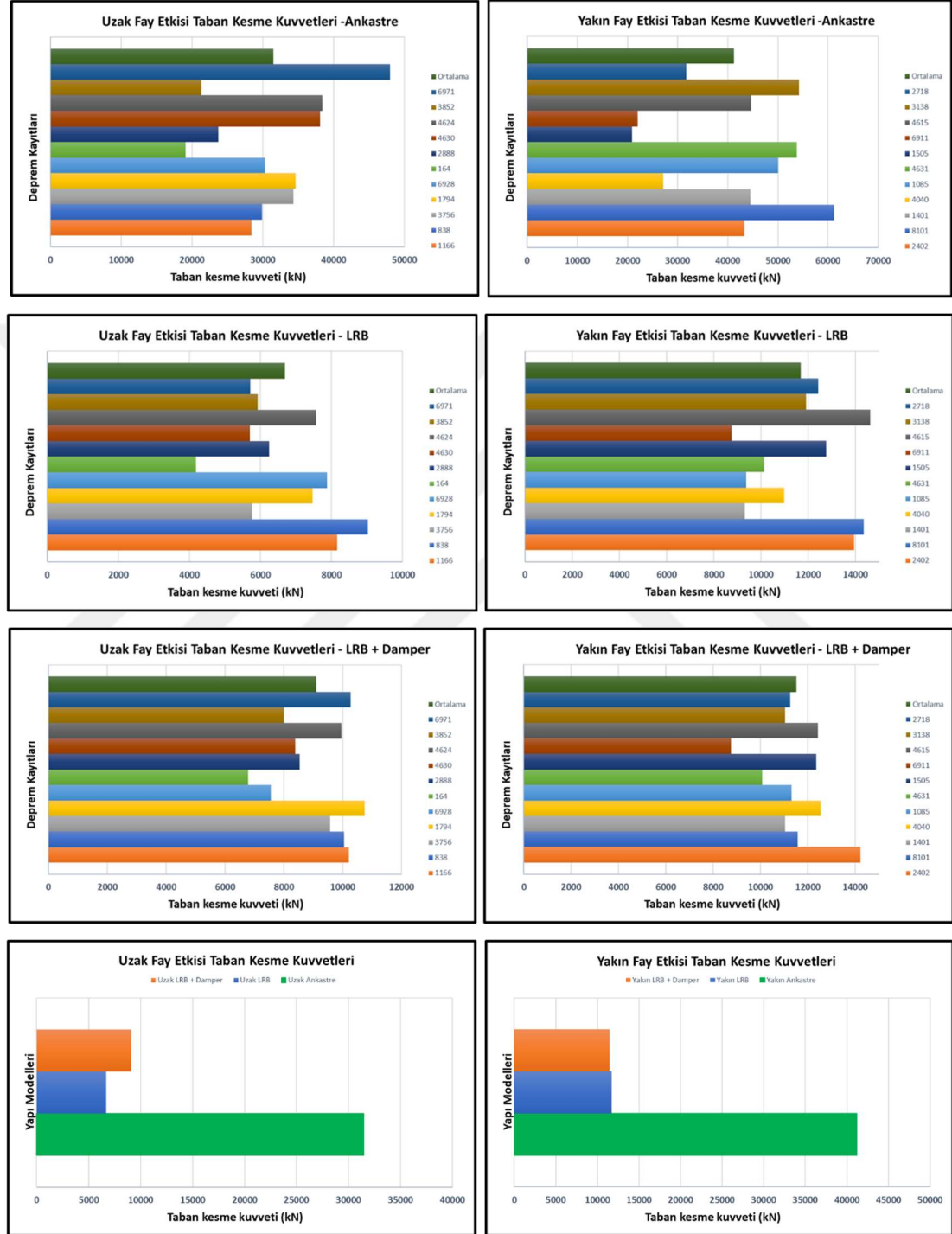
Şekil D.1: Uzak – yakın deprem kayıtları için görelî kat ötelemeleri.

Ek E



Şekil E.1: Uzak – yakın deprem kayıtları için kat ivmeleri.

Ek F



Şekil F.1: Uzak – yakın deprem kayıtları için taban kesme kuvvetleri.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Batuhan ŞAHİN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2025, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 - 1915 Çanakkale Köprüsü, Malkara – Çanakkale Otoyol Projesi.
- 2022 - Aşıyan – Hisarüstü Füniküler Hattı.
- 2022 - İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği – 3,97 (Bölüm 1.'liği)
- 2024 - Samyoung M-Tek., Tasarım Mühendisi.
- 2025 - İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı Mühendisliği Tezli Y.L. – 4,00

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

- **Şahin B., Yüksel E.** (2025). Yakın Fay Etkisindeki Taban İzolasyonlu Yapıda İlave Sönümleyici Elemanlar ile Davranış İyileştirmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı*, 8-10 Ekim 2025, İstanbul.