

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GELENEKSEL VE TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME
BİNALARIN SİSMİK DAVRANIŞLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

ESRA ÖZER

DENİZLİ, TEMMUZ - 2022

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GELENEKSEL VE TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME
BİNALARIN SİSMİK DAVRANIŞLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

ESRA ÖZER

DENİZLİ, TEMMUZ - 2022

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ESRA ÖZER

ÖZET

**GELENEKSEL VE TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME
BİNALARIN SİSMİK DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI
DOKTORA TEZİ
ESRA ÖZER
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MEHMET İNEL)**

DENİZLİ, TEMMUZ - 2022

Bu çalışma, düzenli ve düzensiz tipik betonarme binalar için ankastre mesnetli ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatör-LRB, eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatör-FPS ve düz kayıcı-FS izolatörlü modellerin sismik davranışını araştırmayı amaçlamaktadır. Analiz modellerinde yapısal elemanların ve izolatörlerin doğrusal olmayan davranışları dikkate alınmıştır. Spektrum uyumlu 11 ivme kayıt takımı dikkate alınarak, toplam 1320 adet doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Yer değiştirme ve ivme talepleri, katlar arası ötelenme oranları, taban kesme kuvvetleri, burulma katsayıları ve histeretik çevrim parametreleri araştırılmıştır. Sonuçlar, ankastre mesnetli modellerin beklenildiği gibi en yüksek sismik taleplere maruz kaldığını göstermiştir. Düzenli yapıya sahip modellerde, en iyi sismik performans LRB tip izolatörlü modellerde gözlemlenmiştir. Üst yapıda %20'ye varan eksantirisite oranlarında, izolatör türünden bağımsız olarak sismik taleplerin %90'ından fazlası izolatör arayüzünde sönmüldüğünden, üst yapıya kalan taleplerin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu görülmüştür. Düzensiz yapıya sahip modellerde en kritik durum, izolatör rijitlik merkezi ile bina kütle merkezi arasındaki mesafeden kaynaklanan eksantirisite durumunda ortaya çıkmıştır. FPS tip izolatörler, düzensiz yapıya sahip modellerde, kendini yeniden merkezleme mekanizması nedeniyle, daha iyi bir performans göstermiştir. FS tip izolatörlerin LRB tip izolatörlerle birlikte kullanımının ise, ekonomik nedenlerle tercih edilebileceği düşünülmektedir. Tüm modeller için her bir analiz durumunda önemli bir saçılım mevcut olduğundan, sınırlı sayıda yer hareketi kaydının kullanılması, hatalı sismik talep tahminine yol açabilir. Ayrıca, taban izolatörlerinin kullanılmasının üst yapı maliyetlerini %20'ye kadar azaltabileceği sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Taban izolatörü, kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatör, düz kayıcı izolatör, burulma davranışı, zaman tanım alanında dinamik analiz

ABSTRACT

COMPARISON OF SEISMIC BEHAVIORS OF TRADITIONAL AND BASE ISOLATED REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

PH.D THESIS
ESRA OZER

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR:PROF. DR. MEHMET İNEL)

DENİZLİ, JULY 2022

This study investigates seismic behavior of fixed-base and lead rubber bearing isolator-LRB, curved surface friction pendulum isolator-FPS and flat slider-FS isolator models for regular and irregular typical reinforced concrete buildings. Nonlinear behavior of structural members and isolators was considered. Total of 1320 nonlinear time history analyses were carried out using 11 spectrum compatible ground motion record pairs. Displacement and acceleration demand, interstory drift ratios, base shear demand and torsion coefficient were investigated. The fixed-base models were subjected to the highest seismic demands as expected. LRB type isolators seem to be a better choice for regular buildings that have not re-centering problem. At eccentricity rates of up to 20% on the superstructure, it was observed that the demands on the superstructure are at negligible level, as more than 90% of the seismic demands are damped at the isolator interface, regardless of the isolator type. The most critical situation in the models with irregular structure was observed in the case of eccentricity caused by the distance between the isolator rigidity center and the building mass center. FPS type isolators showed better performance in models with irregular structure, due to the self-recentering mechanism. FS type isolators can be used together with LRB type isolators in order to achieve a cheaper solution. Since significant scatter exists in each analysis case for all models, using limited number of ground motion records may lead to inaccurate seismic demand estimate. Additionally, it is concluded that using base isolators can reduce the superstructure costs up to 20%.

KEYWORDS: Base isolation, lead rubber isolator, friction pendulum isolator, flat slider, torsion behavior, time history analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	viii
SEMBOL LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR	xv
ÖNSÖZ.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problemin Tanımı	3
1.2 Amaç ve Kapsam.....	4
1.3 Tezin Düzeni	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
2.1 İzolatör Türleri ve Çalışma Prensipleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar...7	
2.2 İzolatörlerin Burulma Davranışı ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	18
2.3 İzolatörlü Sistemlerin Maliyete Olan Etkisi ile İlgili Yapılan Çalışmalar	21
3. SİSMİK İZOLATÖRLERİN GENEL ÇALIŞMA PRENSİPLERİ VE TÜRLERİ.....	23
3.1 Sismik İzolasyon Kavramı	23
3.2 Sismik İzolasyonun Tarihi	25
3.3 Sismik İzolasyon Türleri.....	28
3.3.1 Elastomerik İzolatörler	29
3.3.2 Kayıcı İzolatörler.....	32
4. İVME KAYITLARININ SEÇİMİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ.....	38
4.1 İvme Kayıtlarının Seçim ve Ölçeklendirilme Metotları	38
4.1.1 İvme Kaydı Seçim Metotları.....	38
4.1.2 İvme Kaydı Ölçeklendirme Metotları	40
4.2 Seçilen ve Ölçeklendirilen İvme Kayıtlarının Özellikleri.....	42
5. MODELLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	47
5.1 Giriş	47
5.2 Ankastre Mesnetli Binaların Doğrusal Analiz Modellerinin Oluşturulması.....	48
5.3 Ankastre Mesnetli Binaların Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Modellerinin Oluşturulması.....	49
5.4 Taban İzolatörlü Sistemlerin Oluşturulması	55
5.4.1 LRB İzolatörlü Modellerin Tasarımı.....	56
5.4.2 FPS İzolatörlü Modellerin Tasarımı.....	69
5.4.3 Combo İzolatörlü Modellerin Tasarımı.....	74
5.5 Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz	78
5.6 Burulma Davranışının Değerlendirilmesi	80
6. GELENEKSEL VE TABAN İZOLATÖRLÜ MODELLERİN DEPREM DAVRANIŞI.....	82
6.1 Çatı Deplasman Taleplerinin Karşılaştırılması	82
6.2 Görelî Ötelenme Taleplerinin Karşılaştırılması	87

6.3	İvme Taleplerinin Karşılaştırılması	91
6.4	Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	92
6.5	Histeresis Çevrimlerin Karşılaştırılması	94
7.	İZOLATÖRLÜ SİSTEMLERDE EKSANTRİSİTENİN SİSMİK PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	96
7.1	Asimetrik İzolatör Yerleşiminin Performans Üzerindeki Etkileri....	100
7.1.1	Çatı Deplasman Taleplerinin Karşılaştırılması.....	101
7.1.2	Görelî Ötelenme Taleplerinin Karşılaştırılması.....	106
7.1.3	İvme Taleplerinin Karşılaştırılması.....	109
7.1.4	Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	111
7.1.5	Burulma Katsayıları	113
7.1.6	Histeresis Çevrimlerin Karşılaştırılması.....	115
7.2	Asimetrik Üstyapının İzolatörlü Sistemlerin Performansı Üzerindeki Etkileri	117
7.2.1	Çatı Deplasman Taleplerinin Karşılaştırılması.....	118
7.2.2	Görelî Ötelenme Taleplerinin Karşılaştırılması.....	121
7.2.3	İvme Taleplerinin Karşılaştırılması.....	123
7.2.4	Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	124
7.2.5	Burulma Katsayıları	125
8.	MALİYET ANALİZİ	127
9.	SONUÇ VE ÖNERİLER	130
10.	KAYNAKLAR	133
11.	EKLER	145
	EK A Geleneksel ve Taban İzolatörlü Modellerin 3B Görünümü.....	145
	EK B Geleneksel ve Taban İzolatörlü Modellerin Analiz Sonuçları.....	146
	EK C Asimetrik İzolatörlerin Sismik Performans Üzerindeki Etkisi	159
	EK D Asimetrik Üstyapının Sismik Performansı Üzerindeki Etkisi	180
12.	ÖZGEÇMİŞ.....	186

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çalışmada kullanılan modeller.	4
Şekil 3.1: Taban izolatörlü sistemlerin genel görünümü.	23
Şekil 3.2: İzolatörlerin a)spektral ivme, b)spektral deplasman, c)periyot üzerindeki etkisi.	24
Şekil 3.3: Ankastre mesnetli ve taban izolatörlü binaların deprem davranışı. ...	25
Şekil 3.4: Düşey ve yatay kuvvet etkisindeki a) kauçuk blok, b)lamine kauçuk blok davranışı.	29
Şekil 3.5: LRB tip izolatör bileşenleri.	30
Şekil 3.6: Elastomerik yatak a)yüklemeleri, b) histeretik çevrim kıyaslaması.	31
Şekil 3.7: FPS tip izolatör a)bileşenleri, b)yarıçap gösterimi.	34
Şekil 3.8: Sürtünmeli sarkaç tip izolatörün (FPS) a)yüklemesi, b)idealize histeretik çevrimi.	34
Şekil 3.9: FS tip izolatör a) bileşenleri, b) histeretik çevrimi.	36
Şekil 4.1: Kullanılan deprem ivme kayıtlarının %5 sönüm için elastik ivme spektrumu a) DD-1 için spektral ivme değerleri, b) DD-2 için spektral ivme değerleri.	45
Şekil 4.2: Kullanılan deprem ivme kayıtlarının %5 sönüm için deplasman spektrumları.	46
Şekil 5.1: Modellere ait plan görünüşleri a) 3 katlı, b) 5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı, e)5 katlı L bina.	48
Şekil 5.2: Çift eğrilikli bir kolonda plastik mafsal oluşumu.	50
Şekil 5.3: Kolon kesitine ait tipik moment-eğrilik grafiği ve idealleştirilmiş eğri.	50
Şekil 5.4: Moment-eğrilik grafiğinden moment-dönme ilişkisinin elde edilmesi.	51
Şekil 5.5: Tipik dayanım-deformasyon ilişkisi.	52
Şekil 5.6: İzolatörün iki doğrulu kuvvet-deformasyon ilişkisi.	55
Şekil 5.7: Kurşun çekirdekli lamine kauçuk yatak a) kısımları, b) çevrim modeli.	56
Şekil 5.8: Efektif kesit alan görünümü.	62
Şekil 5.9: Basınçtan meydana gelen açısız şekil değiştirme.	65
Şekil 5.10: Deprem etkisi dışındaki yatay yer değiştirmeden meydana gelen açısız şekil değiştirme.	65
Şekil 5.11: İzolatör birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreliden meydana gelen birim şekil değiştirme.	66
Şekil 5.12: Yuvarlanma durumunda kauçuk izolatör yatağı.	67
Şekil 5.13: Eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip izolatörlerin a) bileşenleri b) çevrim modeli.	70
Şekil 5.14: Combo modeller için izolatör lokasyonları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı, e)5 katlı (L bina).	75
Şekil 5.15: Burulma düzensizliği durumu (TBDY 2018).	81
Şekil 6.1: 5 katlı modellerin RSN-5815 kaydı için çatı deplasman taleplerinin a)yere göre, b) izolatör arayüzüne göre zamanla değişimi.	83
Şekil 6.2: Modeller için hesaplanan çatı ötelenme oranları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.	84

Şekil 6.3: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modellere göre maksimum deplasman talepleri oranı a)yere göre, b) izolatör arayüzüne göre.....	85
Şekil 6.4: İzolatör deplasmanının toplam deplasmana oranı.....	86
Şekil 6.5: İzolatör türüne göre kullanılan deplasman kapasiteleri.....	87
Şekil 6.6: Maksimum görelî kat ötelenme oranları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.	88
Şekil 6.7: Modellerin ortalama maksimum görelî ötelenme oranlarının katlara göre dağılımı a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.....	89
Şekil 6.8: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modellere göre maksimum GKÖO karşılaştırması.....	90
Şekil 6.9: Katlara göre ortalama maksimum ivme profilleri a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.....	92
Şekil 6.10: Modellerin maksimum taban kesme kuvveti katsayıları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.....	93
Şekil 6.11: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modellere göre taban kesme kuvveti.	94
Şekil 6.12: Simetrik 7 katlı taban izolatörlü modellerin izolatör türlerine göre RSN-5815 kaydı için histeretik çevrimleri a) LRB, b) FPS, c)Combo.	95
Şekil 7.1: Modellerin kütle merkezi ve rijitlik merkezinin plan görünümü a) Durum 1 (D1), b) Durum 2 (D2), c)Durum 3 (D3), d) Durum 4 (D4).	96
Şekil 7.2: Durumlar için hesaplanan burulma katsayıları (η_b) a)3 katlı-LRB, b)3 katlı-FPS, c)5 katlı-LRB, d)5 katlı-FPS, e)7 katlı- LRB, f)7 katlı-FPS, g)9 katlı-LRB, h)9 katlı-FPS.....	99
Şekil 7.3: Simetrik ve eksantrisiteli modellerin maksimum çatı ötelenme oranları a)yere göre, b)izolatör arayüzüne göre.....	102
Şekil 7.4: Statik eksantrisitenin izolatör türüne göre maksimum deplasman talepleri üzerindeki etkisi a)yere göre, b) izolatör arayüzüne göre.	104
Şekil 7.5: Toplam yer değiştirmeye göre izolatör yer değiştirmesi.....	105
Şekil 7.6: İzolatör deplasman kapasitesinin kullanımının ortalama değerleri.	106
Şekil 7.7: Simetrik ve asimetric izolatörlü modellerde maksimum görelî kat ötelenme oranları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.	107
Şekil 7.8: RSN-5815 ivme kaydı için 7 katlı taban izolatörlü modellerin GKÖO profilleri a) LRB, b)FPS, c) Combo.....	108
Şekil 7.9: Asimetric izolatörlü modellerin simetric modellere göre GKÖO..	109
Şekil 7.10: Simetrik ve asimetric modellerin maksimum ivme profillerinin karşılaştırması a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.....	110
Şekil 7.11: Simetrik ve asimetric modellerin maksimum ivme profillerinin RSN-5815 kaydı için karşılaştırması a) LRB, b) FPS, c) Combo..	111
Şekil 7.12: Simetrik ve asimetric modellerin taban kesme katsayılarının karşılaştırması a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.....	112
Şekil 7.13: Taban izolatörlü asimetric modellerin taban kesme kuvvetinin simetric modeller ile karşılaştırılması.....	112
Şekil 7.14: Taban izolatörlü modeller için burulma katsayıları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.	113
Şekil 7.15: Taban izolatörlü asimetric modellerin simetric modellere göre burulma katsayı oranları.....	114

Şekil 7.16: RSN-1633 kaydı için burulma katsayısı (η_b) dağılımı a) ÇÖÖ, b) GÖÖ.....	115
Şekil 7.17: RSN-5815 kaydı için 7 katlı modellerde izolatör türlerine göre histeretik çevrimler a) LRB, b) FPS, c) Combo (LRB), d) Combo (FS).....	116
Şekil 7.18: Düzensiz üst yapıya ait kalıp planı.....	117
Şekil 7.19: Düzensiz üst yapıya ait maksimum çatı ötelenme oranları.	119
Şekil 7.20: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modellere göre maksimum deplasman talepleri oranı a)yere göre, b)izolatör arayüzüne göre.....	120
Şekil 7.21: İzolatör deplasmanının toplam deplasmana oranı.....	120
Şekil 7.22: İzolatör türüne göre kullanılan deplasman kapasiteleri.....	121
Şekil 7.23: Maksimum göreli kat ötelenme oranları.....	122
Şekil 7.24: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modele göre GKÖÖ.	122
Şekil 7.25: Katlara göre ortalama maksimum ivme profilleri.....	124
Şekil 7.26: Maksimum taban kesme katsayılarının karşılaştırılması.....	124
Şekil 7.27: Taban kesme kuvvetinin taban izolatörlü ve ankastre mesnetli modeller ile karşılaştırılması.	125
Şekil 7.28: Burulma katsayılarının karşılaştırılması.....	126
Şekil 8.1: Geleneksel ve taban izolatörlü modellerin maliyet karşılaştırması.....	128
Şekil A.1: Geleneksel ve taban izolatörlü 5-katlı simetrik modellerin 3B görünümü a)ankastre mesnet, b) LRB izolatörlü, c)FPS izolatörlü.	145

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Bina lokasyonu için zemin parametreleri.....	44
Tablo 4.2: Çalışmada kullanılan deprem ivme kayıtları ve özellikleri (PEER).	46
Tablo 5.1: Modeller için taşıyıcı sistem elemanı boyutları.....	49
Tablo 5.2: Kesit hasar sınırlarına karşılık gelen dönme değerleri.....	53
Tablo 5.3: Ankastre mesnetli modellere ait parametreler ve kapasite eğrileri..	54
Tablo 5.4: Ankastre mesnetli modellere ait parametreler.....	57
Tablo 5.5: Deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları (TBDY- 2018).	57
Tablo 5.6: Kauçuk malzemeye ait rijitlik ve sabitler (UBC-1997).	60
Tablo 5.7: FPS izolatör tasarım adımları.	70
Tablo 5.8: Modellere ait periyot değerleri.	76
Tablo 5.9: İzolatörlü modellerin tasarım parametreleri.	76
Tablo 5.10: Tez kapsamında modellenen binalar.....	77
Tablo 7.1: Düzensiz üstyapıda izolatör türüne göre tasarım parametreleri. ...	118
Tablo 8.1: Modellere ait tasarım parametreleri.	127
Tablo 8.2: 3 katlı modellere ait maliyet analizi.....	128
Tablo 8.3: 5 katlı modellere ait maliyet analizi.....	128
Tablo 8.4: 7 katlı modellere ait maliyet analizi.....	128
Tablo 8.5: 9 katlı modellere ait maliyet analizi.....	128
Tablo B.1: Simetrik 3-Katlı Modellerin Çatı Ötelenme Oranları.....	146
Tablo B.2: Simetrik 5-Katlı Modellerin Çatı Ötelenme Oranları.....	147
Tablo B.3: Simetrik 7-Katlı Modellerin Çatı Ötelenme Oranları.....	148
Tablo B.4: Simetrik 9-Katlı Modellerin Çatı Ötelenme Oranları.....	149
Tablo B.5: Simetrik 3-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.	150
Tablo B.6: Simetrik 5-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.	151
Tablo B.7: Simetrik 7-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.	152
Tablo B.8: Simetrik 9-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.	153
Tablo B.9: Simetrik 3 ve 5-Katlı Modellerin Göreli Kat Ötelenme Oranları.	154
Tablo B.10: Simetrik 7 ve 9-Katlı Modellerin Göreli Kat Ötelenme Oranları.	155
Tablo B.11: Simetrik Modellerin Mutlak Maksimum İvme Değerleri.....	156
Tablo B.12: Simetrik 3 ve 5-Katlı Modellerin Taban Kesme Katsayısı.....	157
Tablo B.13: Simetrik 7 ve 9-Katlı Modellerin Taban Kesme Katsayısı.....	158
Tablo C.1: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Yere göre Çatı Ötelenme Oranları.	159
Tablo C.2: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Yere göre Çatı Ötelenme Oranları.	160
Tablo C.3: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Yere göre Çatı Ötelenme Oranları.	161
Tablo C.4: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Yere göre Çatı Ötelenme Oranları.	162
Tablo C.5: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin İzolatöre göre Çatı Ötelenme Oranları.	163

Tablo C.6: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin İzolatöre göre Çatı Ötelenme Oranları.	164
Tablo C.7: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin İzolatöre göre Çatı Ötelenme Oranları.	165
Tablo C.8: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin İzolatöre göre Çatı Ötelenme Oranları.	166
Tablo C.9: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.....	167
Tablo C.10: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.....	168
Tablo C.11: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.....	169
Tablo C.12: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.....	170
Tablo C.13: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Göreli Kat Ötelenme Oranları.	167
Tablo C.14: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Göreli Kat Ötelenme Oranları.	168
Tablo C.15: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Göreli Kat Ötelenme Oranları.	169
Tablo C.16: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Göreli Kat Ötelenme Oranları.	170
Tablo C.17: Simetrik ve Asimetrik Modellerin Ortalama Maksimum İvme Değerleri.....	171
Tablo C.18: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Taban Kesme Kuvvetleri.....	172
Tablo C.19: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Taban Kesme Kuvvetleri.....	173
Tablo C.20: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Taban Kesme Kuvvetleri.....	174
Tablo C.21: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Taban Kesme Kuvvetleri.....	175
Tablo C.22: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Burulma Katsayıları.	176
Tablo C.23: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Burulma Katsayıları.	177
Tablo C.24: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Burulma Katsayıları.	178
Tablo C.25: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Burulma Katsayıları.	179
Tablo D.1: 5-Katlı L Bina Çatı Ötelenme Oranları.	180
Tablo D.2: 5-Katlı L Bina Çatı ve İzolatör Deplasmanları.....	181
Tablo D.3: 5-Katlı L Bina Göreli Kat Ötelenme Oranları.	182
Tablo D.4: 5-Katlı L Bina Maksimum Kat İvmeleri.	183
Tablo D.5: 5-Katlı L Bina Taban Kesme Katsayıları.	184
Tablo D.6: 5-Katlı L Bina Burulma Katsayıları.	185

SEMBOL LİSTESİ

H	: Kat yüksekliği (m)
R	: Küresel bir kayan yüzey için eğrilik yarıçapı (m)
W	: Sabit yerçekimi yükü (kN)
M_w	: Moment magnitudü (kNm)
V_{s30}	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S₁	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
H₁	: Deprem kayıt takımı birinci yatay bileşeni
H₂	: Deprem kayıt takımı ikinci yatay bileşeni
T_v	: Düşey periyot (s)
V	: Deprem kayıt takımı düşey bileşeni
T_p	: Deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu (s)
T_M	: En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu (s)
M_r	: Kesitin moment taşıma kapasitesi (kNm)
M_y	: Kesitin akma anındaki moment taşıma kapasitesi (kNm)
M	: Moment (kNm)
V	: Kesme Kuvveti (kN)
L	: Eleman yüksekliği (m)
L_p	: Plastik mafsal boyu (m)
φ	: Eğrilik (m ⁻¹)
φ_y	: Akma eğriliği (m ⁻¹)
φ_u	: Göçme öncesi eğrilik (m ⁻¹)
φ_y	: Plastik eğriliği (m ⁻¹)
ε_c	: Sargılı alan içindeki en dış beton lifinde meydana gelen şekil değiştirme değeri
ε_s	: Çekme donatısı şekil değiştirme değeri
c	: Tarafsız eksen derinliği (m)
θ_y	: Akma anından önceki elastik dönme kapasitesi (rad/m)
θ_p	: Plastik dönme kapasitesi (rad/m)
h	: Kesit yüksekliği (m)
L_s	: Elemanın kesme açıklığı (m)
d_b	: Boyuna donatı çeliği çapı (çekmede ortalama) (m)
f_{cc}	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı (MPa)
d_{ye}	: Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı (MPa)
θ_u	: Toplam dönme kapasitesi (rad/m)
Δ_y	: Elastik deplasman kapasitesi (m)
Δ_p	: Plastik deplasman kapasitesi (m)
Δ_u	: Toplam deplasman kapasitesi (m)
θ_{SH}	: Sınırlı Hasar dönme kapasitesi (rad)
θ_{KH}	: Kontrollü Hasar dönme kapasitesi (rad)
θ_{GÖ}	: Göçmenin Önlenmesi dönme kapasitesi (rad)
ε_{y,c}	: Betonun basınç birim şekil değiştirmesi

$\epsilon_{y,s}$: Donatı çeliğinin birim şekil değiştirmesi
f_{ye}	: Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı (MPa)
$\epsilon_c^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\theta_p^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
$\epsilon_c^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\theta_p^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
$\epsilon_c^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\theta_p^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
ρ_{sh}	: Gözönüne alınan doğrultuda enine donatının hacimsel oranı
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı (MPa)
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
α_i	: Yatayda bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık (mm)
b_0	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu (mm)
h_0	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu (mm)
s	: Sargı donatısı aralığı (m)
A_{sh}	: Enine donatı alanı (dikdörtgen kesit) (mm ²)
b_k	: Çekirdek boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık) (mm)
ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
T_x	: x doğrultusundaki periyot (s)
T_y	: y doğrultusundaki periyot (s)
T_z	: burulma periyodu (s)
V_{tx}	: x doğrultusundaki taban kesme kuvveti (kN)
V_{ty}	: y doğrultusundaki taban kesme kuvveti (kN)
F_θ	: Karakteristik dayanım (MPa)
F_y	: Akma dayanımı (MPa)
D_y	: Akma yer değiştirmesi (m)
D	: Maksimum yanal izolatör yer değiştirmesi (m)
k_1	: Başlangıç rijitliği (kN/m)
k_2	: Akma sonrası rijitlik (kN/m)
k_{eff}	: Efektif rijitlik (kN/m)
R	: Deprem yükü azaltma katsayısı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı

I	: Bina önem katsayısı
G	: Ölü yük (kN)
Q	: Hareketli yük (kN)
W_T	: Sismik ağırlık (kN)
P_{DL}	: Kolona gelen ölü yük (kN)
P_{DL+LL}	: Kolona gelen ölü ve hareketli yük toplamı (kN)
γ_{max}	: İzolatör yatağı için tasarım kayma gerilmesi
ξ_{eff}	: Efektif sönüm oranı
B_D	: Sönümleme katsayısı
g	: Yer çekimi ivmesi (m/s ²)
D_D	: Tasarım yer hareketi düzeyi için izolatör birimi yer değiştirmesi (m)
D_H	: Saha kısıtlaması nedeniyle binanın tabanda izin verilen yatay deplasmanı(m)
D_{max}	: Saha kısıtlaması nedeniyle binanın tabanda izin verilen yatay deplasmanı(m)
η_D	: Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı
S_{ae}^{DD-2}	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme (g)
K_D	: Tasarım deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği (kN/m)
D_M	: En büyük deprem yer hareketi düzeyi için izolatör birimi yer değiştirmesi (m)
η_M	: En büyük deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı
S_{ae}^{DD-1}	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme (g)
K_M	: En büyük deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği (kN/m)
ξ	: Sönüm oranı
θ_D	: Kısa periyot akma kuvveti
f_p	: Akma dayanımı (MPa)
A_p	: Kurşun çekirdek kesit alanı (m ²)
d_p	: Kurşun çekirdek çapı (m)
W_D	: Bir döngüde absorbe edilen(dağıtılan) enerji miktarı
K_d	: Akma sonrası rijitlik (kN/m)
f_{py}	: Kurşun çekirdek akma dayanımı (MPa)
t_r	: Kauçuk katmanların toplam yüksekliği (m)
E	: Young modülü (kN/m ²)
G	: Kesme modülü (kN/m ²)
k	: Modifiye katsayısı
ε_b	: Malzemeye ait kopma uzaması
A	: Her bir kauçuk tabakanın alanı (m ²)
t	: Her bir kauçuk tabakanın kalınlığı (m)
S	: Şekil faktörü
K_v	: Kauçuk yatağın düşey rijitliği (kN/m)
K_h	: Kauçuk yatağın yatay rijitliği (kN/m)
E_c	: Kauçuk-çelik kompozitin basınç modülü

A_f	: Kauçuk yatak çevresindeki yüksüz alan (m^2)
σ_c	: Düşey yük durumu altında izin verilen normal gerilme
A_1	: Düşey yük durumu altında kayma gerilmesi durumu için efektif alan (m^2)
K_r	: Kauçuk yatağın elastik modülü
A_{sf}	: Kesme hasarı durumuna göre her bir kauçuk tabakanın minimum kesit alanı (m^2)
d	: A_{sf} 'ye karşılık gelen çap (m)
A_{re}	: Minimum kesit alanından elde edilen kesit çapına bağlı olarak efektif kesit alanı (m^2)
A_2	: Minimum kesit alanından elde edilen kesit çapına bağlı olarak efektif kesit alanı (m^2)
β	: Kauçuk yatak kayma açısı (rad)
N	: Kauçuk tabaka sayısı
t_s	: Çelik levha kalınlığı (m)
$t_{\bar{u}}$: Üst kapak plaka kalınlığı (m)
t_a	: Alt kapak plaka kalınlığı (m)
$\gamma_{SC,DL+LL}$: Normal yük durumu için kesme gerilmesi
H_p	: Kurşun dolgu efektif yüksekliği (m)
T_{DpX}	: x doğrultusundaki periyot (s)
T_{DpY}	: y doğrultusundaki periyot (s)
V_b	: İzolasyon ara yüzündeki minimum taban kesme kuvveti (kN)
V_s	: İzolasyon ara yüzün üstündeki üst yapının deprem kuvveti (kN)
w	: Kat ağırlığı (kN)
F_x	: Kat kesme kuvveti(kN)
$P_{DL+LL+EQ}$: Kolona gelen ölü, hareketli ve deprem yüklerinin toplamı (kN)
γ_{SC}	: Açısal şekil değiştirme
γ_{eq}	: Deprem dışındaki diğer yanal etkilerden kaynaklanan yatay yer değiştirmeden meydana gelen açısal yer değiştirme
γ_{sr}	: İzolatör birimi üst ve alt plakaları arasındaki görece dönmeden meydana gelen birim şekil değiştirme
θ_s	: Tasarım dönme açısı (rad)
B	: Çelik plakaya yapışmış olan elastomer çapı (m)
e	: Bina kütle merkezi ile izolatör rijitlik merkezi arasındaki statik eksantrisite oranı (%)
e_x	: x yönündeki eksantrisite oranı (%)
b	: Hesap yapılan doğrultu için bina boyutu (m)
h	: Hesap yapılan doğrultuya dik doğrultudaki bina boyutu (m)
P_{cr}	: Burkulma yükü (kN)
P_u	: Depremlili ve depremsiz durum için izolatöre gelen maksimum eksenel yük (kN)
B_L	: Dairesel kesitli izolatör için kurşun dolgu çapı (m)
R_{FPS}	: Küresel kayma yüzeyi için eğrilik yarıçapı
μ	: Küresel kayma yüzeyi sürtünme katsayısı
δ_V	: İzolatörün kavisli yüzeyinin neden olduğu, yapının düşey yer değiştirmesi (m)
δ	: Disk derinliği (m)
d	: Disk çapı (m)
F	: Geri yükleme kuvveti (kN)
R_I	: İzolatörlü yapı davranış katsayısı

η_{bi}	: i. kattaki burulma katsayısı
$\Delta_{i, \text{mak}}$: i. kattaki maksimum görelî kat yer değiştirmesi
$\Delta_{i, \text{min}}$: i. kattaki minimum görelî kat yer değiştirmesi
$\Delta_{i, \text{ort}}$: i. kattaki ortalama görelî kat yer değiştirmesi
e0	: Eksantrisitesiz simetrik model
e10	: %10 eksantrisiteli model
e20	: %20 eksantrisiteli model
e_q	: Sismik kuvvet
e_{bx}	: Statik eksantrisite
M	: Moment

KISALTMALAR

TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
LRB	: Lead Rubber Bearing
FPS	: Friction Pendulum System
FS	: Flat Slider
COMBO	: LRB ve FS tip izolatörün birlikte kullanıldığı sistem
3B	: Üç boyutlu
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
UBC	: Uniform Building Code
HDRB	: Yüksek sönümleyici kauçuk izolatör
HDRN	: Yüksek sönümlü kauçuk izolatör
IBC	: International Building Code
SEAOC	: Structural Engineer Association of California
RNC	: Roll-in-cage izolatörü
NF	: Near Fault
TP	: Triple Pendulum
FNA	: Fast Nonlinear Analysis
GZY500	: Kurşun Lamine Kauçuk Yatak
GÖÖ	: Görelî Ötelenme Oranı
ZTA	: Zaman tanım alanında dinamik analiz
DBE	: Tasarım deprem yer hareketi
MCE	: En büyük deprem yer hareketi
CRS	: Düşük viskoz sönümlemeye sahip izolatör
SLE	: Düşük yoğunluklu deprem yer hareketi
LDRB	: Doğal kauçuk yatak, düşük dahili sönümleme ve mekanik sönümleyici içeren izolatör sistemi
FCLJC	: Foothill Toplulukları Hukuk ve Adalet Merkezi
EDF	: Electricite de France Sistemi
R-FBI	: Esnek Sürtünme Taban İzolatörü
NZSEE	: New Zealand Society for Earthquake Engineering
PTFE	: Teflon malzeme
ASSHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASCE	: The American Society of Civil Engineers
EN	: European Norm
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
RSN	: Record Sequence Number
PGA	: Peak Ground Accelarion
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
TS	: Türk Standardı
EI	: Etkin eğilme rijitliği
SEMAp	: Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı
KK	: Kesintisiz Kullanım

SH	: Sınırlı Hasar
KH	: Kontrollü Hasar
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
G	: Göçme
RM	: Rijitlik merkezi
KM	: Kütle merkezi
EDDY	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
NOİM	: Newmark Ortalama İvme Metodu
ÇÖÖ	: Çatı Ötelenme Oranı
GKÖÖ	: Göreli Kat Ötelenme Oranı
TKK	: Taban Kesme Katsayısı
SRSS	: Karelerinin toplamının kareköğü

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, değerli danışmanım Prof. Dr. Mehmet İNEL'e teşekkürlerimi sunmaktan büyük mutluluk duyarım.

Tez sürecinde değerli katkı ve görüşleriyle çalışmamı yönlendiren Tez İzleme Komitesi üyeleri Prof. Dr. Fuat DEMİR ve Dr. Öğr. Üyesi Bayram Tanık ÇAYCI'ya ve tez jüri üyeleri Prof. Dr. Recep BİRGÜL ve Doç. Dr. Fatih CETİŞLİ'ye ayrıca teşekkür ederim.

Tez verilerinin düzenlenmesinde yardımlarından dolayı İnş. Müh. Verdanur KOŞAR'a teşekkür ederim.

Desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Bayram Tanık ÇAYCI, Dr. Öğr. Üyesi Engin NACAROĞLU, Arş. Gör. Gökhan İMANÇLI ve kıymetli eşlerine çok teşekkür ederim.

Son olarak, attığım her adımda maddi ve manevi en büyük destekçilerim olan aileme sonsuz teşekkür ederim. İyi ki varsınız...

1. GİRİŞ

Geleneksel olarak, bina yapılarının sismik tasarımı, perde duvarlar ile momente aktaran çerçeveler bir arada kullanılarak yapıların depreme karşı direnç kapasitesinin arttırılması kavramına dayanmaktadır. Bununla birlikte, bu geleneksel yöntemler, genellikle rijit binalar için yüksek ivmelenmelere sünek binalar için ise geniş saçılımlı katlar arası görelî ötelenmelere yol açar. Bu nedenle, başta taşıyıcı sistem elemanları olmak üzere, yapı içeriği ve yapısal olmayan bileşenler büyük bir deprem sırasında ciddi hasarlara maruz kalabilirler. Göreceli olarak daha küçük şiddetteki depremlerde yapının kendisi temel olarak bozulmadan kalabilir. Ancak bu durum; içeriği binaların kendisinden daha pahalı ve değerli olan binalar için tolere edilemez. Yüksek hassasiyetli üretim fabrikaları, son derece maliyetli ve hassas ekipman içeren bu binaların bir örneğidir. Ek olarak, hastaneler, polis ve telsiz istasyonları ve telekomünikasyon merkezleri, değerli ekipman içeren ve depremden hemen sonra kullanımında kesinti olmaması gereken tesislerin örnekleridir (Yang ve diğ. 2010).

Dünyada yaşanan orta ve büyük ölçekteki birçok depremin yol açtığı can ve mal kayıpları, özellikle bu tesislerin, yapısal hareketlerinin kontrol edilerek sismik performansının iyileştirilmesindeki önemi arttırmıştır. Yapısal hareketlerin kontrolü, günümüz teknolojisinde aslında, aktif veya pasif sistemler olarak iki şekilde sağlanmaktadır. Aktif sistemde yapı kontrolü, mantıksal olarak yönlendirilen bir dış mekanizma aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Pasif sistemde ise, yapısal temelde veya yapı içinde özel olarak tasarlanmış bir arayüzle, yani zeminden iletilen kuvvetleri azaltabilecek şekilde, temel izolasyon sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle taban izolasyon teknolojisi, günümüzde hem yeni yapıların tasarımında hem de mevcut yapıların sismik performansını iyileştirmek için sismik bölgelerde bir seçenek olarak kullanılmaktadır. Yapıların sismik direnci için hala araştırma ve geliştirme aşamasında olan aktif kontrol sisteminin ve bu sistemi çalıştıran mekanizmanın nispeten yüksek bakım maliyeti gerektirmesi ve olası bir büyük deprem durumu da dahil olmak üzere her zaman işlevsel kalmasının gerekmesi, aktif kontrol sisteminin en büyük dezavantajları arasındadır. Bu nedenle, kat ivmelerinin azaltılması ve katlar arası görelî ötelenmelerin en aza indirgenmesi için, temel izolasyon kavramı giderek

daha fazla benimsenmektedir. Temel izolasyonu, bina ile temeli arasındaki bazı hassas ekipmanların kurulmasıyla elde edilebilir. Böylece binanın hareketi zeminden ayrılarak yapı istenmeyen titreşim hareketlerinden izole edilmiş olur (Dao 2013).

Dünyada oldukça yaygın olarak kullanılan, ülkemizde ise 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ile ayrı bir bölüm olarak değerlendirilen deprem izolatörlerinin, 100 yatak üstü hastanelerin tasarımında kullanımı zorunlu kılınmış olması nedeniyle ülkemizde de yaygınlığının giderek artacağı öngörülmektedir. İzolatörlü sistemler, deprem sonrasında hasarsız bir yapı için, mevcut teknolojiler içerisindeki en önemli seçenekler arasındadır.

Dünya genelinde kullanılan izolatörlerin oldukça çok çeşidi mevcuttur. Bunlar arasında en sık karşımıza çıkan kauçuk izolatörler ve sürtünme esaslı izolatörlerdir. İzolatör türünün bina davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, bu tez çalışması kapsamında, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (Lead Rubber Bearing-LRB), eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tip izolatörler (Friction Pendulum System-FPS) ve düz kaydırıcı izolatörler (Flat Slider-FS) kullanılmıştır.

Literatürde, en fazla 1 sn.'lik titreşim periyoduna sahip geleneksel ankastre mesnetli yapılarda, izolatör kullanımının daha efektif olduğu, hâkim bir görüş olarak karşımıza çıkmaktadır (Naeim ve Kelly 1999). Yapılan tez çalışmasında kullanılan ankastre mesnetli geleneksel binalar, bu sınırın altında ve üstünde olacak şekilde, belirli dayanım oranları da göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Düşeyde ve plan düzleminde, hiçbir düzensizliği olmayan ve plan düzleminde düzensizliği olan, orta yükseklikteki 5 adet ankastre mesnetli üç boyutlu (3B) betonarme bina modeli ile çalışmanın altlığı oluşturulmuştur.

TBDY-2018 ve uluslararası yönetmeliklerin genelinde (Meksika yönetmeliği hariç), taban izolatörlü binaların burulma davranışı üzerinde herhangi bir kısıt ya da kontrol parametresi bulunmamaktadır (TBDY-2018, FEMA P-1051, UBC-1998). Yeni veya mevcut binalarda çeşitli mimari gereksinimler veya kullanım amacının sonradan değiştirilmesi ile doğabilecek farklı eksantriste oranları için kabul edilebilir sınırın ne olduğu, günümüz çalışmalarında tartışılmaya devam etmektedir. Yapılan çalışmada, burulma davranışı açısından üst yapıyı en çok zorlayan, izolatör arayüzünde veya üst yapıda oluşturulan farklı oranlardaki rijitlik/kütle eksantrisitetleri

ile, deprem etkisiyle izolatörlü binada da ciddi hasarlara neden olabilecek burulma büyütmeleri ayrıca irdelenmiştir (Tena-Colunga ve Escamilla-Cruz 2007).

Oluşturulan ankastre mesnetli ve izolatörlü modellerin deprem davranışını incelemek ve karşılaştırmak için spektrum uyumlu deprem kayıt takımı seçimleri gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışma ile doğrusal elastik olmayan izolatör ve üst yapıya sahip modellerin, geleneksel ankastre mesnetli doğrusal elastik olmayan modellere göre yapı performansı üzerindeki etkileri, gerçek deprem kayıtları ile zaman tanım alanında yapılan dinamik analiz yöntemiyle ortaya koyulmuştur. Ayrıca kullanılan izolatör türünün ve yerleşiminin bina davranışı ve tasarım maliyeti üzerindeki etkilerine dair sunulmuş olan değerlendirmelerin literatüre katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.

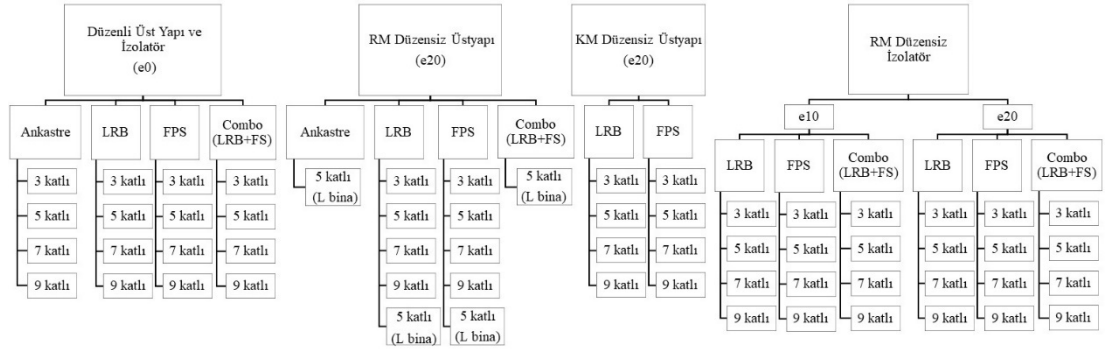
1.1 Problemin Tanımı

Literatürde izolatörlü binalar için çok sayıda çalışma olmasına rağmen, bu çalışmaların birçoğunda bina modelleri, doğrusal elastik ve tek katlı/çok katlı tek bir model üzerinden, az sayıda ya da belirli bir bölgeye ait çok sayıda deprem kaydı kullanılarak yapılmıştır. Yine bu çalışmalarda sadece farklı tip izolatörlerin deprem davranışı üzerindeki etkileri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Farklı izolatör türlerinin bir arada kullanıldığı modeller üzerinde çok fazla çalışma yapılmamıştır. Ayrıca izolatörlü modellerin burulma davranışı üzerine yapılan çalışmalar oldukça kısıtlı olup, TBDY-2018'de de izolatörlü binaların bu davranışı ile ilgili herhangi bir kısıt ya da kontrol parametresi bulunmamaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı, daha kapsamlı ve daha gerçekçi model yelpazesi ile, izolatör türlerinin ve kombinasyonlarının, binaların deprem performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesine gerek duyulmuştur.

1.2 Amaç ve Kapsam

Çalışmanın öncelikli amacı, deprem sonrası hemen kullanımı gereken orta yükseklikteki taban izolatörlü üç boyutlu (3B) betonarme (hastane, okul vb.) binaların, ankastre mesnetli geleneksel binalara göre deprem performansı üzerindeki etkilerinin, zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz ile incelenmesidir. Bunun yanı sıra farklı tür izolatör kullanımı ve yerleşiminin talepler ve sismik performans açısından ne tür bir değişikliğe sebep olduğunu belirlemektir.

Orta yükseklikteki betonarme binalar 3, 5, 7 ve 9 kat olarak temsil edilmiştir. İzolatör sistemi, literatürde genellikle periyot değeri 1 sn.'ye kadar olan ankastre mesnetli yapılar için tavsiye edilmektedir (Naeim and Kelly, 1999). Bina modelleri oluşturulurken bu sınır değerinin üstünde ve altında olacak şekilde modeller oluşturulmuştur.



Şekil 1.1: Çalışmada kullanılan modeller.

Betonarme binaların, TBDY-2018 yönetmelik şartları dikkate alınarak, ZC zemin sınıfı üzerinde olduğu varsayılmıştır (TBDY 2018). Betonarme perde duvarların yer almadığı bina modellerinin tabanında, öncelikle ankastre mesnet tanımlanarak bina tasarımları gerçekleştirilmiştir. Dört referans model kullanılarak, ankastre mesnetli ve farklı izolatör türlerinin (LRB, FPS ve Combo (LRB+FS) olmak üzere 3 tür) her iki doğrultuda simetrik kullanımı ile 16 adet hiçbir düzensizliği olmayan taban izolatörlü bina modelleri oluşturulmuştur. Bu modellere ilave olarak, izolatör arayüzünde veya üst yapıda kütle veya rijitlik merkezi kaynaklı düzensizlik içeren toplam 40 adet model türetilmiştir. Ayrıca planda %20 statik eksantrisiteye sahip orta yükseklikteki 1 adet ankastre mesnetli 3B modelin farklı izolatör türleri ile

toplam 3 farklı modeli türetilmiştir. Tez çalışması kapsamında toplam 60 bina modeli kullanılmıştır (Şekil 1.1).

Dinamik analizlerde kullanılmak üzere, gerçek depremlerden seçilen 11 adet kayıt takımı ölçeklendirilerek, spektrum uyumlu hale getirilmiştir. Belirlenen bu deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında toplam 1320 adet 3B analiz yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda geleneksel ankastre mesnetli modeller ile taban izolatörlü modellerde oluşan deplasman, görelî ötelenme, ivme talebi, taban kesme kuvveti, burulma katsayıları, izolatörlere ait histeretik çevrimler, maliyet analizleri ve performans düzeyleri karşılaştırılmıştır. Kullanılan izolatör türüne ve statik eksantrisite oranına göre bu talep parametrelerinin değişimi de ayrıca değerlendirilmiştir.

Çalışmada yapılacak olan değerlendirmeler ışığında, kullanılan taban izolatörünün türüne ve dağılımına bağı olarak bina performansındaki değişiklikler hakkında bilgi sahibi olunacaktır. Buradan çıkarılan sonuçlara göre, proje mühendis ve mimarları için, tasarımda veya binaya ait kullanım amacının sonradan değiştirilmesi durumunda alınması gereken önlem ya da dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanacaktır. Böylece, daha sonra güncellenecek olan yönetmelik çalışmalarına da katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

1.3 Tezin Düzeni

Yapılan tez çalışması toplam dokuz bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerin içeriğı aşağıda özetlenmiştir.

Birinci bölüm problemin tanımı, çalışmanın amacı ve kapsamını içermektedir. İkinci bölümde tez çalışması ile ilgili literatürde yapılmış olan çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir. Bu bölüm; izolatör türlerinin çalışma prensiplerinin karşılaştırılması, izolatörlü sistemlerin burulma davranışı ve maliyet analizleri ile ilgili yapılan çalışmalar olmak üzere üç başlık halinde değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde sismik izolatörlerin tarihçesi ve tez çalışması kapsamında kullanılacak olan sismik izolatör türlerinin genel çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde ivme kayıtlarının seçim ve ölçeklendirilme metotları hakkında genel bilgi verilerek, tez çalışması kapsamında geleneksel ve taban izolatörlü sistemler için en uygun seçim ve ölçeklendirme metodu belirlenmiştir. Ayrıca, yapıların doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerinde kullanılmak üzere seçilen ve ölçeklendirilen 11 adet ivme kayıt takımına ait parametreler ve tepki spektrumları yer almaktadır.

Beşinci bölümde tez kapsamında kullanılacak olan binaların yapısal özellikleri, izolatör sistemlerinin tasarım parametreleri, bina ve izolatör sistemlerinin modellenmesi, analiz yöntemi ve burulma davranışı hakkında bilgi verilmiştir.

Altıncı bölümde geleneksel ankastre mesnetli modeller ile taban izolatörlü modellerin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri ile elde edilen deplasman, görelî ötelenme, ivme talepleri, taban kesme kuvveti, izolatörlere ait histeretik çevrimler ve geleneksel modellere ait kapasite eğrileri karşılaştırmalı olarak yer almaktadır.

Yedinci bölümde izolatör arayüzünde veya üst yapıda statik eksantrisite olması durumunda, altıncı bölümde incelenen parametreler üzerinde eksantrisitenin etkisi irdelenmiştir.

Sekizinci bölümde taban izolatörlü sistemler için maliyet analizleri yapılmıştır.

Son bölümde ise tez çalışmasında yapılan hesaplar ve bölümlerden elde edilen veriler ışığında geleneksel ankastre mesnetli ve taban izolatörlü sistemlerin sismik davranışı ve performansı ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Yine bu bölümde tez çalışması kapsamında gelecekte yapılabilecek araştırmalar hakkında öneriler yer almaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez çalışması kapsamında incelenen çalışmalar bu bölümde üç başlık altında toplanmıştır. Bunlardan ilki uluslararası literatürde ve ülkemizde izolatör türleri ve çalışma prensipleri ile ilgili yapılan çalışmaları kapsamaktadır. İkinci başlıkta burulma davranışı üzerinde sismik izolatörlerin etkisini inceleyen çalışmalar ele alınmaktadır. Üçüncü ve son başlıkta ise tasarım ve güçlendirme çalışmalarında izolatör kullanımının maliyete olan etkisinin araştırıldığı çalışmalara yer verilmiştir.

2.1 İzolatör Türleri ve Çalışma Prensipleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Soyluk, yaptığı çalışma kapsamında betonarme ve tarihi yığma binalar kullanmıştır. Bu çalışmada, 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) içerisinde tanımlanan; düşeyde ve planda düzensizlik durumlarının tümünü içeren, L şeklinde kalıp planına sahip düzensiz bir betonarme yapı üç şekilde modellenmiştir. Bunlar; ankastre tabanlı, kurşun kauçuk mesnetli (LRB) ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli (HDRB) modellerdir. Bu modellerin dışında ayrıca; L şeklinde kalıp planına sahip, DBYBHY-2007’de yer alan planda çıkmaların bulunması düzensizliği (A3) dışında hiçbir düzensizliğe sahip olmayan ve çalışmada düzenli bina olarak nitelendirilen yapı da modellenmiştir. Çalışmada maksimum yer ivmesi 0.52 g olan Erzincan deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır. Bu analizler sonucu dört yapı modelinin periyot değerleri ile sismik tepkileri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ayrıca tarihi yığma binalarda sismik izolasyon uygulaması da incelenmiştir. SAP2000 bilgisayar programı ile modelleme ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bu yığma sistemin ankastre mesnetli, kurşun kauçuk mesnetli ve yüksek sönümleyici kauçuk mesnetli üç modelinin dinamik davranışları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sismik taban izolatörlerinin düzensiz betonarme binanın ve tarihi yığma caminin dinamik davranışlarını iyileştirdiği gözlenmiştir (Soyluk, 2010).

Gökhan tarafından yapılan çalışmada, yapının periyodunu uzatarak yapıya gelen deprem etkilerini azaltmak amacıyla, taban kotunda kauçuk izolatör (yüksek sönümlü-HDNR ve kurşun dolgulu-LRB) kullanımının, taşıyıcı sistem davranışına

olan etkileri araştırılmıştır. Öncelikle yapısal kontrol sistemi yaklaşımının genel değerlendirilmesi yapılmış, ardından pasif kontrol sistemlerinin sınıflandırılması yapılarak uygulama örneklerine yer verilmiştir. Son olarak, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak sekiz katlı betonarme bir yapının taban ankastre hali ve taban izolasyonlu haline ait dinamik analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen periyot, görelî kat ötelemeleri, maksimum kat ivmeleri ve kesme kuvvetleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Seçilen taban izolasyonu sisteminin, yapının periyodunu arttırarak zemin ve yapı etkileşimini minimize ettiği ve geleneksel yöntemlere göre, taşıyıcı sistem davranışındaki olumlu etkileri sayesinde yapıda hasar oluşma riskini azalttığı sonucuna varılmıştır (Gökhan, 2009).

Keskin çalışmasında, sismik etkilere karşı yapıyı koruyarak can ve mal güvenliğini sağlayan ve son 30 yılda kullanımı hızla artan yapı izolatörleri ve bu izolatörlerin tasarımıyla ilgili özel koşulları açıklamıştır. Öncelikle sismik izolatörlerin çalışma felsefesinden bahsedilmiş ve sismik izolasyonlu yapı ile geleneksel ankastre mesnetli yapının deprem davranışı karşılaştırılmıştır. Dünya'da ve Türkiye'de sismik izolasyon kavramının gelişimi, taban izolatörlerinin sınıflandırılması, karakteristik parametrelerin elde edilmesi, teorik esasları ve rijitliğini etkileyen dış faktörler detaylı olarak irdelenmiştir. Ayrıca, sismik izolasyonlu yapının “International Building Code (IBC 2000)” şartnamesine göre tasarımından bahsedilerek analiz yöntemleri anlatılmıştır. Son bölümde, 5 katlı betonarme bir yapı için HDRB ve LRB ayrı ayrı tasarlanmıştır. Her bir izolatör, kendi içinde taşıdığı yüke ve bulunduğu konuma göre iki farklı tipte tasarlanmış ve elde edilen boyutlar ve parametreler SAP2000 programına girilerek zaman tanım alanında üç boyutlu analiz yapılmıştır. HDRB ve LRB için ayrı ayrı elde edilen sonuçlar aynı yapının ankastre mesnetli olarak SAP2000 programındaki çözümüyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda izolatörlü sistemlerin konvansiyonel yapıya olan üstünlükleri ortaya çıkarılmıştır (Keskin, 2007).

Öztürk ise çalışmasında, klasik yöntemle tasarlanan yapıların sismik kuvvetlere, yapının kendisiyle karşı koymasının, yapısal sisteme gelen yükü arttırdığını, dolayısıyla kesitlerinin büyümesine ve gerilmelerinin artmasına neden olduğunu ifade etmiştir. Yapısal kontrol sistemi uygulanan yapılarda dinamik etkinin; pasif, aktif, yarı aktif ve karma kontrol sistemleriyle sönmülenebildiği görülmüştür. Böylece insan hayatı ve stratejik yapılarda bulunan değerli ekipmanların korunabildiği

ileri sürülmüştür. Bu çalışmada yapısal kontrol sistemleri genel olarak incelenmiş, belli başlı kontrol sistemleri tanıtılmıştır. Ayrıca örnek bir betonarme bina LRB tip izolatörler ile tasarlanmış ve ankastre mesnetli yapıya göre performans değerlendirmesi yapılmıştır (Öztürk, 2007).

Polat'ın tez çalışmasının amacı; perde-çerçevelerden müteşekkil ve bununla birlikte sadece çerçevelerden oluşan taban izolasyonlu bir yapının analizinin ayrıntılı olarak yapılması ve sonuçlarının değerlendirilmesidir. Her iki sistem de ilk olarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile ETABS programı kullanılarak çözülmüştür. Daha sonra aynı sistemler zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Yapılar, zaman tanım alanı yöntemi ile çözüldüğünde daha elverişsiz sonuçlar elde edilmiştir. Bu yüzden, taban izolatörleri ile yapı analizi bu yöntem ile yapılmıştır. İzolatörlerin sisteme dahil edilmesiyle birlikte, yapıların periyotları belirgin derecede artmıştır ve ivmeler azalmıştır. Bu nedenle kesme kuvvetlerinde büyük azalmalar gözlemlenmiştir. Sonuç olarak taban izolatörleri altında çözümlenen yapıların, klasik yapılara göre, deprem davranışının iyileştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca her iki taşıyıcı sisteme sahip yapı (perdeli-çerçevesel veya çerçevesel) için de taban izolasyon uygulamasının uygun olduğu ifade edilmiştir (Polat, 2007).

Umut (2006) çalışmasında, yakın fay etkisinin yapılarda neden olduğu büyük yer değiştirmelerin, hidrolik sönümleyiciler kullanılarak azaltılması amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, geleneksel tasarım anlayışından ve yapısal kontrol sistemlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, yakın fay hareketi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Dördüncü bölümde, önce yakın fay etkisi içeren yapay deprem elde edilmiş, daha sonra yakın fay etkisi içeren depremlerle, sıradan deprem kayıtları incelenmiştir. Bu depremler maksimum ivme, maksimum hız, maksimum yer değiştirme, %0 ve %20 sönüm için Housner şiddeti, etkin ivme (SEAOC'a göre), etkin pik ivmelerine göre karşılaştırılmıştır. Bu depremler içinden yakın fay etkisi içeren ve içermeyen depremler, önce sismik izolatörlü bir köprüye, daha sonra da bir binaya uygulanmıştır. Bina, ankastre tabanlı (mevcut hali), viskoz sönümleyicili, LRB izolatörlü, kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve viskoz sönümleyicilerin birlikte kullanıldığı durum olmak üzere dört farklı şekilde çözülmüştür. Depremlerin köprü ve bina üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca binalar birbirleriyle karşılaştırılmış, viskoz sönümleyicilerin ve sismik izolatörlerin yapı davranışındaki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, ankastre tabanlı binaya viskoz sönümleyici eklenmesiyle

maksimum yer değiştirmelerin %21 ile %33 arasında değişen değerlerde azaldığı görülmüştür (Umut, 2006).

Yücesoy'un çalışmasında, Amerikan Yapı Yönetmeliği (UBC-98)'nin sismik izolasyon ile ilgili hükümleri dikkate alınmıştır. Çalışmada ayrıca sismik izolasyonla ilgili daha önce yapılmış olan yapılara ve uygulamalara da yer verilmiştir. Sismik izolasyonun yapı davranışını göstermek maksadıyla 5 katlı örneğ bir bina önce ankastre mesnetli olarak, daha sonra sismik izolasyonlu olarak modellenmiş ve zaman tanım alanında deprem kayıtları altında analizleri yapılmıştır. Zaman tanım alanında deprem davranışları için İzmit ve Erzincan depremlerinin ivme kayıtları kullanılmıştır. Taban izolasyonunda, LRB tip izolatörlerin kullanılması durumuna göre hesaplar yapılmıştır. Mevcut yönetmeliklere göre boyutlandırılan izolasyon mesnetleri için gerekli malzeme özellikler piyasada mevcut firmalar tarafından üretilmiş olan izolasyon mesnetlerinin özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Sismik taban izolasyonunun avantajları ve dezavantajları, yanal ötelenmeler, eğilme momentleri, taban kesme kuvvetleri ve yapı doğal periyodunun aldığı değerler karşılaştırılmıştır (Yücesoy, 2005).

Uyar'ın yaptığı çalışmanın ilk bölümlerinde, deprem hasarlarına karşı korunmak maksadıyla binanın temelinde tesis edilen bir yay sistemi olarak nitelendirilen taban izolasyonu ve izolasyonda kullanılan sistemler hakkında genel bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölümde yönetmeliklere göre kullanılan sismik veriler incelenmiş, dördüncü bölümde bu verilere göre izolatörlü ve izolatörsüz farklı yapı türleri için yapılmış analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda proje gereklerine göre izolatör sistemi seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlara yer verilmiştir. Son bölümde izolatörlü bir binada açı metodu ile denge denklemlerinin nasıl oluşturulabileceği araştırılmış, sistem belirlenen modele göre çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, ETABS Analiz Programı sonuçları ve Amerikan UBC-97 Yönetmeliğine göre yapılan statik hesap sonuçları ile karşılaştırılarak seçilen modelin ve çözüm yönteminin doğruluğu/geçerliliği ispatlanmıştır (Uyar, 2005).

Baştuğ'un çalışmasının amacı sismik izolatörlerin, bu izolatörlerin mekanik özelliklerinin ve bilgisayar programlarında kullanılmalarının araştırılması, ankastre mesnetli olarak göz önüne alınan mevcut bir yapı ile taban izolasyonu uygulanmış aynı yapının karşılaştırılmasıdır. Giriş ve sonuç kısımlarının da dahil olduğu sekiz

bölümden oluşan bu çalışmanın ikinci bölümünde, günümüzde yapı sistemlerinde depreme karşı kullanılan sismik izolatörler sınıflandırılmış ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, sırasıyla, kauçuk esaslı mesnetler, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler ve sürtünmeli sarkaç sistemlerin mekanik özellikleri ve bu mesnetlerin davranışlarının tanımlanabilmesi için gereken bilgiler verilmiştir. Bina tipi sistemlerin çözümlenmesinde yaygın olarak kullanılan UBC yönetmeliği incelenmiş, dördüncü bölümde bu yönetmeliğin taban izolasyonu hükümleri verilmiştir. Mevcut bir yapının farklı izolasyon mesnetleri ile bilgisayar ortamında çözümlenmesi için, bu çözümlenmeyi yapabilen az sayıdaki bilgisayar programından biri olan SAP2000 programı seçilmiş ve bu programın yaptığı kabuller ve özellikleri beşinci bölümde verilmiştir. Altıncı bölümde mevcut betonarme bir yapıya sırasıyla kauçuk mesnet, kurşun dolgululu kauçuk mesnet ve sürtünmeli sarkaç mesnet uygulanarak hesaplamalar adım adım sunulmuştur. Bu bölümde icra edilen statik analiz ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerin sonuçları karşı gelen ankastre mesnetli durumla kıyaslamalı olarak verilmiştir. Uygulamalardan elde edilen sonuçlar yapı sistemlerinde taban izolasyonu uygulamalarının depreme karşı yapı tasarımında geçerli bir metot olduğunu göstermiştir. Yedinci bölümde uygulamada kullanılan 3 farklı mesnet tipi için UBC yönetmeliğinde öngörülen hükümler Visual Basic programlama dili ile programlanmış, önemli görülen kaynak kodları ek kısmında sunulmuştur (Baştuğ, 2004).

Ismail tarafından yapılan çalışmada; bir deprem yalıtım sisteminin, kendi kendine durma mekanizmasına sahip, bitişik yapıların çekiçleme etkisini hafifletecek veya hatta ortadan kaldıracak kabiliyeti, yakın fay depremleri (Kobe-Tak, Northridge-Syl, San Fernando) altında incelenmiştir. Çalışmada, tek bir üniteye düşeyde rijit destek, yatayda oldukça büyük bir stabilite, histeretik enerji dağılımı ve küçük titreşim yüklerine karşı direnç gibi gerekli fonksiyonları sağlayan bir yuvarlanma tabanlı roll-in-cage (RNC) izolatörü kullanılmıştır. Buna ek olarak, RNC izolatörü, deplasmanı sınırlandırmak için kendi kendine durma (tampon) mekanizması ile ayırt edilir. Bu tamponda, doğal tampon mekanizmasının sönümlemesini hesaba katmak için, SAP2000 programında şablon olarak sunulan izolatörler kullanılarak, RNC tip izolatör geliştirilmiştir. Daha sonra, izolatörün tampon mekanizmasının maksimum yer değiştirmeleri sınırlamadaki etkinliği, izolasyon etkisine bağlı olarak ortaya çıkabilecek olumsuz etkileriyle birlikte çalışılmıştır. Bu çalışma, RNC

izolatörünün tampon aktivasyonunun bir sonucu olarak iç çarpışmalarından dolayı, olası yapısal dezavantajların, doğrudan yapı-yapı çekişmesi olmaksızın, bitişik yapılar ve yakın faylı depremlerle sınırlı sismik boşluklar göz önüne alınarak, etkin bir şekilde düşürülebileceğini ve hatta ortadan kaldırılabilceğini göstermiştir. 8 katlı, 3B simetrik bir betonarme binaya tek bir yatay deprem birleşeni x veya y doğrultusunda etkilerek zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, RNC izolatörünün, en büyük yapısal ivmeler, yatak yer değiştirmeleri ve yapısal yer değiştirmeler arasında bir denge sağladığından, sınırlı sismik boşluklar göz önüne alındığında, NF (near fault) bölgelerinde tasarım için etkili bir çözüm olabileceğini göstermektedir (Ismail, 2015a).

Giammona çalışmasında, taban izolatörlü binanın SAP2000 analiz sonuçlarını, tam ölçekli sarsma tablası testlerinden elde edilen veriler ve aynı binanın daha karmaşık bir OpenSees analiz modelinden elde edilen tahminler ile karşılaştırmıştır. Bu çalışmayla, mühendislik uygulamasında yaygın olan yöntemler ve varsayımlar uygulandığında, SAP2000 programının tasarım için yeterli doğrulukla tahminlerde bulunduğu söylenebilmektedir. 5 katlı, üçlü sarkaç (Triple Pendulum-TP) izolatörlü çelik çerçevesel test binasının toplam ağırlığı 5220 kN'dur. Test binası 16 m boyunda ve 10 m x 12 m uzunluğundadır. Kullanılan deprem kayıtları Tohoku, Chi-Chi, Lomap-LGPC, Kobe-Tak olmak üzere dört tanedir. Bütün üstyapı elemanları doğrusal elastik olarak modellenirken, izolatörler doğrusal olmayan bağlantı elemanları ile temsil edilmiştir. Bu modelleme yaklaşımı, üstyapının esas olarak elastik kalması ve test yapısının test sırasında elastik kalması gerektiği bilgisiyle tutarlıdır (yalıtım sisteminin etkinliğini sağlamak için). Sarlis ve Constantinou (2010)'in, Hızlı Doğrusal Olmayan Analizin (FNA), modal sönümleme matrisi üzerinde daha fazla kontrol sağladığını göstermiş olmaları ve SAP2000'de bağlantı elemanlarının taban izolatörleri için kullanıldığı zaman FNA'nın kullanılması gerektiğini ileri sürmüş olmaları bu çalışma için FNA metodunun kullanılmasında etkili olmuştur. Bu çalışmanın literatüre katkısı, TP izolatörleri tarafından desteklenen bir binanın temel mühendislik talep parametrelerini tahmin etmek için mevcut tasarım uygulamasının temsilcisi olan modelleme yöntemlerini ve varsayımlarını doğrulamaktır. Genel olarak, SAP2000 programında elde edilen dinamik davranış, test verileri ve bağımsız OpenSees analiz sonuçları ile iyi bir şekilde örtüşmüştür. Taban kesme ve izolatör deplasmanı gibi değerler, her iki analiz modeli tarafından doğru olarak tahmin

edilmiştir. Analiz tahminlerinin doğruluğu, zemin spektrumları ve izolatör reaksiyonları gibi yerel parametreler için daha düşüktür. OpenSees, kat ivmelenmelerini hesaplamada SAP2000'den daha doğru sonuçlar vermiştir. SAP2000 sonuçlarının doğruluğu, kuvvetli düşey uyarımı olan hareketler sırasında öngörülen zemin spektral piklerinin yoğunluğu haricinde, kuvvetli düşey uyarım olanlar da dahil olmak üzere, dikkate alınan bir dizi deprem kaydında muhafaza edilmiştir. Modal sönüm oranlarının seçimi ve analizde yer alan Ritz modlarının sayısı önemli bulunmuştur. Yalıtılmış modlar için sıfır oranı ve tasarım için kullanılan daha düşük olan üst yapı modları için %2 oranındaki sönüm oranları, deprem ve yapı bakımından en doğru bulunmuştur. Doğru bir analiz için gerekli olan modların sayısı model karmaşıklığına göre değiştiği, bu nedenle rutin uygulamanın bir parçası olarak yakınsama çalışmasının yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Sonuç olarak; SAP2000 analiz programınının, program ayarlarında belirli seçimler yapıldığında, TP tip izolatörlü modellerin, mühendislik talep parametrelerinin tahmin edilmesi için yeterli bir araç olduğu gösterilmiştir. OpenSees programı ise, tasarım için bir SAP2000 analizini bağımsız olarak doğrulamak için bir araç olarak faydalı bulunmuştur (Giammona ve diğ. 2015).

Yao'nun yaptığı çalışmada, taban izolatör yapısının konsept ve tasarımı, doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi kullanarak 6 katlı betonarme çerçeve model ile SAP2000 programında incelemiştir. Analizlerde 2 adet gerçek 1 adet yapay deprem kaydı kullanılmıştır. İzole ve ankastre mesnetli yapının maksimum yer değiştirmesinin karşılaştırılması, sıkça tekrarlanan ve nadir görülebilen depremler altında maksimum deplasman talebi ile ivmelenmenin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar, yalıtılmış yapıların ankastre mesnetli yapılardan çok daha iyi bir sismik tepki verdiğine işaret etmiştir. İzolasyon yatağının ilgili parçalarının kalınlığı 160 mm'den az olmaması gerektiği belirtilmiştir. Kullanılan model; kat yüksekliği 3 m, plan boyutları 24 m x 12 m olan 6 katlı ve 2 açıklıklı yerinde dökme betonarme çerçeve sistemden oluşmaktadır. Çerçeve kolon boyutu 600 mm × 600 mm, ana giriş boyutu 300 mm × 600 mm, ikincil giriş boyutu 200 mm × 400 mm, yalıtım katının üzerinde döşeme levha kalınlığı 180 mm, kalan döşeme levha kalınlığı 120 mm'dir. Kat ölü yük değeri 3 kN / m², hareketli yük değeri 2 kN / m²'dir. Seçilen GZY500 kurşun lamine kauçuk yataklar birinci kat kolonlarının altına düzenlenmiştir. Toplam 15 adet izolatör kullanılmıştır. İzolatörlü ve izolatörsüz yapıların; ilk 3 modu

kıyaslanmış ve $T_{izole} > T_{ankastre}$ olduğu görülmüştür. Ayrıca sık görülen depremler için; görelî kat ötelenme oranları (GÖÖ) ve kat ivmeleri (katlar ve izolatör tabakasında) kıyaslanmıştır. İzole olmayan yapıda, izole olan yapıya göre birinci kat dışındaki tüm katlarda GÖÖ ve ivme değerleri daha büyük hesaplanmıştır. İzole yapıda, izole katmana ait GÖÖ değeri, diğer katlara göre oldukça fazla olmasına rağmen ivme değerlerinde böyle bir farklılık görülmemiştir. Nadir görülen depremlerde ise, katlara ait GÖÖ ve ivme değerlerinin sık görülen depremlere göre oldukça büyük olduğu görülmüştür (Yao ve Li, 2012).

Athamnia yaptığı çalışmada, yakın ve uzak fay hareketleri altında LRB izolatör sistemleri ile betonarme yapıların yumuşak kat davranışını incelemiştir. Faya yakın yer hareketleri altında, sismik izolasyon cihazları, kuvvetli hareketlerle ilişkili büyük ivme ve yer değiştirme taleplerinin neden olduğu büyük izolatör yer değiştirmeleri nedeniyle yetersiz performans gösterebildiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada, yumuşak-kat davranışının yakın-fay ve uzak-fay hareketleri altında etkisini incelemek için dört farklı yapısal model tasarlanmıştır. Dikdörtgen planlı 12 x 24 m boyutlarında 12 katlı betonarme bir yapı düşünülmüş; boyuna yönde 4 m ve enine yön aralığı 6 m olan açıklıkları vardır. Kat yüksekliği 3 m'dir. Yumuşak alt katın yüksekliği (H) 3.0, 3.5, 4.0 ve 4.5 m olarak dikkate alınmıştır. Yalıtımlı betonarme binalar için sismik analizler, doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz metodu (ZTA) kullanılarak SAP2000 programıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda katlar arası ötelenme, mutlak hızlanma, yer değiştirme, taban kesme kuvvetleri, histeretik çevrimler ve plastik mafsalların dağılımı incelenmiştir. Bu sonuçlar, taban izolatörlü bir betonarme yapısının performansının, kat yüksekliğinin artışıyla, uzak fay deprem hareketi altında etkilendiğinden daha çok yakın fay hareketi ile etkilendiğini göstermektedir (Athamnia ve diğ. 2017).

Yang ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada yönetmelik formüllerinin, daha düşük sönümlü sistemler için yer değiştirmeleri fazla tahmin ederken, daha yüksek sönümlü sistemler için formüllerin yetersiz tahminlerde bulunmaya yol açtığını ifade etmişlerdir. Tasarım depreminde (DBE) hesaplanan yer değiştirme, üst yapı alt kotunda yer değiştirmenin hesaplanmasının temelini oluşturduğundan, bir tasarımcı için endişe verici düzeyde olabileceği de belirtilmiştir. FPS izolatörün LRB izolatöre göre, daha yüksek kat ivmesine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum LRB'nin ekipman için en iyi korumayı sağladığını göstermiştir. Farklı izolasyon sistemlerinin

yapısal performansa ve ekipman performansına etkisi incelenmiştir. Bu makale, Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olarak kullanılan iki izolasyon sistemini (FPS ve LPS) tasarlamak için yinelemeli (iteratif) prosedürü gözden geçirmektedir. Bu sistemlerin her ikisi de izolasyon sisteminin maksimum deprem tehlike seviyesinde (MCE), deprem sarsıntısını barındırabilmesini sağlamak için (yükleme/boşaltma) histeresis parametrelerinin seçildiği bir çift doğrusal histeresise sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çift doğrusal sistemlerin doğası gereği, izolatör yer değiştirmesi azaldıkça, izolasyon sisteminin etkin sönümlenmesi ve rijitliğinin arttığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, bina etkin bir şekilde izole edilemediği için, bu durumun daha yüksek kat kaymalarına ve zemin titreşimlerine yol açtığı sonucuna varılmıştır. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için yazarlar, esasen doğrusal elastik davranan ve daha düşük ve orta sarsıntı yoğunluklarında (SLE ve DBE) düşük viskoz sönümlenmeye sahip bir CRS izolatör türü önermişlerdir. Yukarıdaki bulguları göstermek için, ABD bina yönetmeliği gereksinimlerine (IBC 2000) uyacak şekilde üç izolasyon sistemi tasarlanmış ve sistemlerin dinamik tepkisini karşılaştırmak için 270 adet doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analizler, üç üst yapı periyodu ($T_s = 0.10, 0.25$ ve 0.50 saniye) ve üç tehlike seviyesi (SLE, DBE ve MCE) olan üç izolasyon türü (FPS, LRB ve CRS) için gerçekleştirilmiştir. Sismik tehlike seviyelerinin her biri için 10 adet doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Sonuçlar, izolatör yer değiştirmesinin ve taban kesme katsayılarının neredeyse üst yapı periyot değerinden bağımsız olduğunu göstermiştir. Bu, izolatörlerin özelliklerinin üst yapının tasarım özellikleri dikkate alınmadan seçilebileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, izolasyonun amacı ivmeye duyarlı ekipmanı korumaksa, üst yapı sünekliğinin önemli bir rol oynadığı ifade edilmiştir. Yapı FPS veya LRB kullanılarak izole edilmiş ise, üst yapı periyodu arttıkça kısa periyot aralığında zemin spektrumlarının arttığı görülmüştür. CRS tip izolatör ise diğerlerinin aksine, neredeyse üst yapı periyot değerinden bağımsız olan taban spektrumlarına sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak, CRS, odak konusu olan kısa periyot aralığında en düşük taban spektrumuna sahip olduğu ve maksimum taban spektrumunun, $T < 0.5$ saniye için her zaman maksimum kat ivmesinin 1.5 katından daha az olduğu ifade edilmiştir. Öte yandan, FPS en yüksek kat ivmesine sahip olduğu ve bazı durumlarda en yüksek kat ivmesinin 4.5 katı kadar yüksek olabildiği görülmüştür. Bu durum, CRS'nin ekipman için en iyi korumayı sağladığını göstermiştir. İzole tasarımların, yer hareketindeki belirsizliklere daha az duyarlı olduğu ve son olarak, bileşenlerin geleneksel yapısal bileşenlerden çok

daha güvenilir olduğu belirtilmiştir. İzolatör kullanmanın sakıncası, tasarımcının önemli ölçüde daha büyük güvenlik faktörleri kullanmasını gerektiren yönetmelik ifadelerinden kaynaklandığı ve çeşitli tiplerdeki tam boyutlu izolatörlerde kapsamlı test sonuçlarının bulunmasına rağmen, her proje yapımı için izolatörlerin test edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Mazza ve diğ. (2017) ankastre mesnetli 6 katlı çerçeve bir binanın güçlendirilmesinde izolatör sisteminin etkinliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada farklı izolatör türlerini (HDRB, FS ve FPS) bir arada ve ayrı ayrı kullanarak izolatör türlerinin performans üzerindeki etkisi ayrıca değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan spektrum analizlerinde yakın fay depremleri kullanılmıştır. Ankastre mesnetli binalar göçme durumuna gelirken, katlar arası görelı ötelenmeler düşeyde oldukça düzensiz bir desen oluşturmuştur. Taban izolatörlü binalarda ise görelı ötelenmeler neredeyse tek düze olup; elastomerik izolatörlü modellerde (HDRB ve HDRB+FS) hasarsızlık, sürtünmeli izolatörlü modelde (FPS) ise orta hasar durumu oluşmuştur. Tüm taban izolasyon sistemleri, ankastre mesnetli geleneksel binaya göre betonarme çerçevenin maksimum süneklik talebini ciddi oranda azaltmıştır. Özellikle alt katlarda, kiriş açıklıklarında yüksek süneklik talep değerleri ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, HDRB ve HDRB+FS yapıları dikkate alındığında, kirişlerin orta açıklık bölümleri, artan bir süneklik talebine maruz kalmıştır. Bunun nedeni, FS taban izolasyon sistemleri için yeniden merkezleme özelliğinin sınırlı düzeyde olması olarak görölmüştür.

Mazza ve diğ. (2018) 6 katlı betonarme bir çerçeve test yapısının ankastre mesnetli ve farklı taban izolatörlü modelinde (sadece HDRB, sadece FPS ve HDRB+FS) dolgu duvar ve yumuşak kat etkisini yakın fay depremleri altında incelemiştir. Ankastre mesnetli geleneksel modelde, ötelenme taleplerinin düşeyde düzensiz dağılımından kaynaklanan ciddi hasarlar oluşmuştur. Taban izolatörlü binalarda ise dolgu duvarların düzensiz dağıldığı yumuşak kata sahip modelde yakın fay depremleri nedeniyle alt katlarda bir miktar tamir edilemez hasarlar meydana gelmiştir. Ancak dolgu duvarların düzenli dağıldığı yumuşak kat düzensizliğine sahip modelde taban izolatörleri yine efektif olarak çalışmışlardır. Bunun nedeni dolgu duvarların bina rijitliğine katkıda bulunması olarak görölmüştür. Dolgu duvarların düzensiz dağılımının yumuşak kat düzensizliğine sahip izolatörlü binada ise tamir edilemez yumuşak kat hasar oluşumunu tetiklediği ispatlanmıştır. Ayrıca FPS

modellerinde diğ er izolatörlü modellere göre deformasyonlar daha büyük hesaplanmış, hatta göçme limit durumu aş ılmıştır.

Sachdeva ve diğ. (2018) yaptıkları deneysel çalışmada FS izolatörlerle birlikte geri çağırıcı kuvvet üretebilen yay sistemlerini bir arada kullanmışlardır. Kompozit cihazın avantajları, düşük bir sarsma deneyinde FS'ye benzer bir davranış göstermesi, orta dereceli bir sarsma deneyinde FS'ye göre maksimum yatak deplasmanını azaltması, çok yüksek yoğunluklu bir sarsma deneyinde ise artık deplasmanı minimize etmesi olarak görülmüştür. Çelik bir çerçeve sistemin kullanıldığı çalışmada, kompozit cihazın oldukça efektif bir şekilde maksimum yatak deplasmanını ve artık deplasmanı azalttığı görülmüştür. Maksimum görel i ötelenme oranı ve kat ivmelerinde ise geri çağırıcı kuvvet üretebilen yayın eklenmesiyle önemli şekilde etkilenmemiştir. Bu yüzden oluşturulan kompozit sistemin maliyet ve izolatör efektifliği açısından ideal bir seçenek olduğu ifade edilmiştir.

Ghasemi ve Talaeitaba (2020) 8 ve 24 kattan oluşan 12 adet yapıyı hem ankastre mesnetli hem de taban izolatörlü (LRB ve FS bir arada kullanılarak) olarak modellemişlerdir. Modellerde doğrusal olmayan davranış dikkate alınmıştır. P-M-M mafsalları eleman uçlarına atanmıştır. Her bir yapı modelinin taşıyıcı elemanlarında sıradan (yönetmeliğin öngördüğü), orta ve özel olmak üzere 3 farklı sıkılaştırma uygulanmıştır. Modellere uygulanan itme analizleri ile ankastre mesnetli binaların aksine izolatörlü binaların kolon ve kiriş elemanlarının sismik tasarım seviyesinden etkilenmediği görülmüştür. Ayrıca tasarım ve nihai performans düzeylerinde taban izolatörlü binalarda akan eleman sayısının ankastre mesnetli binaya göre oldukça az olduğu görülmüştür.

Cancellara ve Angelis (2019) planda düzensiz yapıya sahip (L şeklinde) 5 katlı bir binada 7 deprem kaydı kullanarak taban izolatörlü (HDRB ve FS'nin birlikte kullanıldığı) binanın dinamik davranışını irdelemiştir. Dinamik analizler doğrusal olmayan spektrum analizi ve zaman tanım alanında dinamik analizlerle gerçekleştirilerek, iki analiz türünün sonuçları da karşılaştırılmıştır. Ayrıca izolatörlü modelde kolon ve kiriş elemanlardaki iç kuvvetler ve özellikle görel i kat ötelenmelerine dikkat edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde doğrusal olmayan spektrum analizlerinde daha düşük GÖO hesaplanmıştır ve bu analizlerin deplasman

taleplerinde daha az konservatif olduğu görülmüştür. Üst katlara doğru çıkıldıkça analiz türlerinin sonuçlar üzerindeki etkisinin azaldığı görülmüştür.

İzolatör türünün bir işlevi olarak bina tepkisi üzerine yapılan önceki araştırmalar, elastomerik izolatörlerin (kurşun çekirdekli kauçuk yatak (LRB)) daha büyük taban yer değiştirmeleri aldığını, ancak eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatörüne (FPS) kıyasla üst yapıya daha düşük ivmeler ilettiğini ortaya koymuştur (Matsagar ve Jangid 2004, Ordonez ve diğ. 2003, Jangid ve Kelly 2001, Hoseini ve diğ. 2012). Geleneksel FPS basınç altında esasen rijittir ve çekme kuvveti kapasitesi yoktur, LRB nispeten daha az basınç rijitliğine sahiptir ve sınırlı miktarda çekme kuvvetine dayanabilir (Naeim ve Kelly 1999). Wu ve Samali tarafından 2002 yılında yapılan çalışmada; elastomer mesnetli, beş katlı yapı modelinin sarsma tablası deneyleri ile sismik karakteristiği belirlenmiştir. Bu çalışmayla; sismik izolatörlü modelin, tüm deprem kayıtlarında ankastre mesnetli modele göre kat ivmelerinde azalmaya neden olduğu görülmüştür (Wu ve Samali 2002). Önceki araştırmalar genellikle tek tip izolatör ile temel izolasyon sistemlerini araştırmaya odaklanmıştır (Almazan ve Llera 2002, Kelly 2003, Sharbatdar ve diğ. 2011). Vaez vd. farklı tipteki izolatörlerin değişken kullanımlarında talebe olan etkisini yüzde olarak incelemiştir. En iyi sonuçlar; %25 FS ve %75 LRB tip izolatörleri kullanılarak elde edilmiştir (Vaez ve diğ. 2012). Literatürde bu teknolojinin gelişimi ve değişimi ile ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen, bu sistemin binaların burulma düzensizliği üzerindeki etkisine dair görece az sayıda çalışma bulunmaktadır. İsmail'in yaptığı çalışmada, taban izolatörlü asimetrik yapıların burulma tepkisini ortadan kaldırmak için bir araştırma yapılmıştır. Tüm çalışma, SAP2000'de bulunan doğrusal olmayan zaman alanı alanındaki analiz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taban izolatörlü asimetrik yapılarda, farklı elastik rijitliğe sahip dört izolatör seti kullanılarak yapıların yapısal burulma tepkilerinin teorik olarak önlenebileceği gözlenmiştir (İsmail 2015).

2.2 İzolatörlerin Burulma Davranışı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

İsmail tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, çok-özellikli bir sismik izolasyon sisteminin, birbirine oldukça yakın izolatörlü asimetrik yapıların burulma tepkilerini ortadan kaldırmaya yönelik etkisini araştırmıştır. Bunların yanı sıra, yakın fay hareketleri altında bitişik yapılarda çarpışmaların tamamen ortadan kaldırılabilirdiği

de belirtilmiştir. Tüm çalışma, SAP2000'de bulunan doğrusal olmayan ZTA analiz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, çok özellikli SAP2000 modeli, RNC izolatörü için geliştirilmiş ve daha sonra matematiksel ve deneysel çıktılar kullanılarak kabul edilebilir düzeydeki küçük hatalarla onaylanmıştır. Model, kendi kendine geri çekilme, histerik sönümlenme, tamponlama veya kendiliğinden durma, tasarım yer değiştirme, düşey rijitlik, yatay süneklik, çekme ve akma öncesi /sonrası rijitlik gibi RNC izolatörünün tüm ana ve benzersiz özelliklerini kapsamaktadır. RNC izolasyonu, izole asimetrik yapıların burulma tepkilerini, akma öncesi elastik rijitliği aynı olmayan dört izolatör seti kullanarak ortadan kaldıracak şekilde, izolasyon seviyesinde rijitliğin merkezini, izolasyon seviyesi üstündeki kütle merkezi ile çakışacak şekilde uygulanmıştır. Bu, asimetrik yapının, hiçbir burulma sergilemeyen simetrik bir yapı gibi davranmasına zorlamayı amaçlamaktadır. Son olarak, RNC izolatörünün yapısal çekişme olmadan sınırlı sismik boşluklar ve RNC izolatörünün çarpması göz önüne alınarak etkin sismik izolasyon sağlama yeteneği, tek yönlü ve çift yönlü şiddetli yakın fay deprem hareketleri altında incelenmiştir. Çok özellikli RNC izolatörün asimetrik yapıların yapısal burulma tepkilerini teorik olarak önleyebildiği, ayrıca yakın fay depremlerine karşı etkili sismik koruma sağladığı hatta küçük izolasyon periyotlarında bile etkili sismik koruma sağladığı görülmüştür (Ismail, 2015).

Lee (1980), iki doğrulu histeretik izolasyon sistemlerine sahip tek katlı bir yapı üzerinde çalışmıştır. İzolatör sisteminin burulma davranışına etkisini incelemek için ilgili bina modeline her iki yatay yönde statik eksantriklik verilmiştir. Bu yapı, 1940 El Centro kaydının çift yönlü yer hareketlerine tabi tutulmuştur. Statik eksantrisite çok büyük olsa bile izolatör sistemlerinin burulma davranışını önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır. Plan görünümünde özellikle izolatör sisteminin rijitlik merkezi ile üst yapının kütle merkezi birbirine ne kadar yakınsa izolatör sisteminin o kadar etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, üstyapı eksantrisitesinin izolatör yer değiştirmesi üzerinde fazla etkiye sahip olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu sonucun, Nagarajaiah ve diğ. (1993a) yaptığı çalışma ile çeliştiği görülmüştür.

Jangid ve Datta (1994a), rastgele zemin rastgele deprem kayıtları ve elastomerik izolatörlerle, burulmaya bağlı taban izolatörlü sistemin doğrusal olmayan tepkisi üzerinde çalışmıştır. Asimetrik taban izolasyonunun, simetrik bir izolasyona göre üst yapı yer değiştirmesini azaltmada izolatör etkinliğini azalttığı görülmüştür. Üstyapı eksantrikliği arttıkça izolatör etkinliği azalmakla birlikte, bu artışın tabanın

yer değiştirmesine etkisi olmadığı görülmüştür. Aynı izolatorler kullanırken üst yapının sünekliği arttıķa, eksantrisiteli ve eksantrisitesiz sistemin taban yer değiştirmeleri arasındaki farkın arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca taban izolatornn eksantriklik yönüne dik yer değiştirmelerinin, burulmalı sistem için simetrik sisteme göre daha az olduğu görülmüştür. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; izolator eksantrikliğinin izolatorn burulma deformasyonundaki etkinliğini azalttığı, taban yer değiştirmelerini arttırdığı ve eksantriklik yönüne dik üst yapı yer değiştirmesini çok daha az azalttığı görülmüştür.

Nagarajaiah ve diğ. tarafından yapılan çalışmanın amacı, çeşitli sistem parametrelerini tanımlamak ve bu parametrelerin elastomerik izolasyon sistemi ile tabandan izole edilen çok katlı yapıların yanal burulma tepkisine etkisini araştırmaktır. Bu alışma ile elastomerik izole yapılardaki burulma hareketlerinin ana kaynağı izolasyon sistemi dış merkezliği olarak belirlenmiştir. İzolasyon eksantrikliği arttıķa tork bytmelerinin de arttığı gözlenmiştir. Lee'nin çalışmasında ifade edilenin aksine, bina dış merkezliğinin, izolasyon sistemi eksantrisitesi kadar önemli olduğu belirtilmiştir. İzolatorlerin kullanılması, binaya iletilen kesme ve tork kuvvetlerini ankastre mesnetli binaya kıyasla önemli ölçüde azaltmasına rağmen, burulma bytmelerinin ihmal edilebilir olmadığı ifade edilmiştir (Nagarajaiah ve diğ. 1993a).

Nagarajaiah vd. (1993b) başka bir çalışmada farklı parametrelerin sürtünmeli sarkaç tip izolatorlerde burulma üzerindeki etkisini incelemiştir. Elde edilen bulgularda izolatorlerde burulma hareketinin ana nedeni bina dış merkezliği olarak belirlenmiştir. İzolator sisteminin, sabit tabanlı bir modele göre burulma etkilerini azaltmasına rağmen, ihmal edilebilir bir seviyeye indirmediği de ayrıca belirtilmiştir. Bu sonuçların yanı sıra, sünek üst yapılara sahip sistemlerde sürtünmeli sarkaç tip izolatorlü yapıların yanal-burulma tepkisi üzerinde, daha yüksek mod etkilerinin önemli olduğunu da ifade etmişlerdir.

Tena-Colunga ve diğ. (1997) hem üst yapıda hem de izolasyon sisteminde eksantrisitesi olan belirli bir yapı üzerinde çalışmıştır. Çalışma sonucunda, burulma tepkilerinin kurşun çekirdekli kauçuk yatak (LRB) tipi izolatorlerin verimini düşürdüğü, LRB tipi izolatorlerin bir kısmının akma durumunda diğer kısmının ise elastik bölgede kaldığı belirtilmiştir. Ek olarak, izolasyon sisteminin üst yapının burulma tepkisinden büyük ölçüde etkilendiği de ifade edilmiştir.

Bu çalışmalardan farklı olarak, Almazan ve De la Llera (2002) sürtünme sarkaç sistemi (FPS) ile simetrik narin bir yapı üzerinde burulma tepkisini incelemiştir. Elde edilen sonuçlar, narinliğin burulma tepkisini artırırken, yanal yer değiştirmenin P-Delta etkileriyle birlikte düzgün dağılımı bozduğunu göstermiştir.

2.3 İzolatörlü Sistemlerin Maliyete Olan Etkisi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Avcı'nın tez çalışmasında; çerçevelerden oluşan bir sistemin analizinin ayrıntılı olarak yapılması ve çıkan sonuçlara göre taban izolatörlü ve klasik yöntemle güçlendirilmesi yapılmıştır. Sistem ilk olarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile ETABS programı kullanılarak çözülmüştür. Daha sonra aynı sistemin statik itme analizi yapılarak performansı bulunmuştur. Yapı, zaman tanım alanı yöntemi ile taban izolatörleri kullanılarak analiz edilmiştir. Kullanılan izolatörler ile yapıların periyot değerleri belirgin derecede artmıştır ve ivmeler azalmıştır (UBC, 2000). Bu nedenle kesme kuvvetlerinde büyük azalmalar gözlemlenmiştir. Fakat bu yapı için DIŞ B tipi izolatörlerle güçlendirme yeterli bulunmamıştır. Yapının klasik güçlendirme yöntemi esas alınarak analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca maliyet hesabı yapılmıştır. Sonuç olarak; bu yapı için klasik güçlendirme yöntemi daha ekonomik bulunmuştur (Avcı, 2007).

Hoşbaş'ın tez çalışmasının konusu çok katlı betonarme bir yapıyı sismik izolatörler kullanarak modellemek ve yapının perdelerle güçlendirilmiş durumu ile karşılaştırılmasıdır. Bu karşılaştırma yapısal davranış ve ekonomik yönden yapılmıştır. Tez çalışması dört ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, sismik izolasyon teorisi açıklanmıştır ve sismik izolasyon sistemlerinin türleri hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, sismik izolasyon sistemlerinin ön tasarım adımları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, yapıda kullanılacak izolasyon sistemi olarak kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler seçilmiştir. Daha sonra, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Her iki yöntem için yapısal davranışı belirlemek amacıyla ZTA doğrusal elastik olmayan analiz SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca, ön tasarım aşamasında sismik izolasyon sistemi kullanmak için yapılması gereken fizibilite çalışmasının önemi vurgulanmıştır. Dördüncü bölümde, her iki yöntemin mevcut yapıya uygulanması durumunda

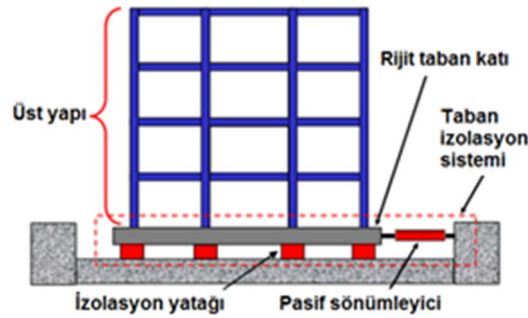
maliyete etkiyen faktörler belirtilmiştir. Son olarak, her iki yöntem için ekonomik analiz yapılmış ve sismik izolasyon sistemi uygulanması ve perdelerle güçlendirilme yapılması durumundaki maliyetler karşılaştırılmıştır (Hoşbaş ve Hasgür, 2006; Varnava and Petros, 2012).

3. SİSMİK İZOLATÖRLERİN GENEL ÇALIŞMA PRENSİPLERİ VE TÜRLERİ

3.1 Sismik İzolasyon Kavramı

Dünyada yaşanan birçok kuvvetli yer hareketi ile meydana gelen can ve mal kayıpları, yapıların sismik performansının iyileştirilmesindeki önemi arttırmıştır. Bu amaçla bir yapıda hasarsızlığı garanti eden mevcut teknolojiler içindeki önemli çözüm yöntemlerinden birisi de sismik izolatörlerdir.

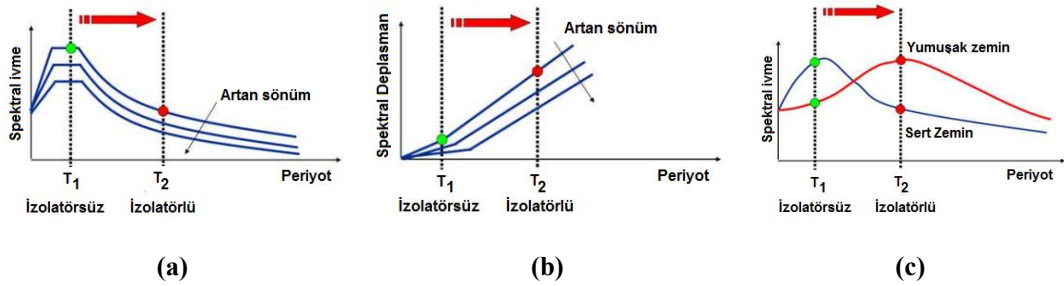
Taban izolatörlü bir sistem genel olarak izolatör yatağı üstündeki bir rijit taban matı üzerine inşa edilen üst yapıdan oluşur. Gerekmesi durumunda ilave sönümleyicilerde sisteme dahil edilebilir (Şekil 3.1). Ancak, yapıları izole etmek için tercih edilebilen ilave sönümleyicileri (damper) kullanmanın ise pek çok sakıncası olabilmektedir. Bunlar; dahili kurşun dolgu dışında tüm sönümleyicilerin mekanik bağlantılar ve rutin bakım gerektirmesi, metalik sönümleyicilerin akma durumuna gelmesi/esnemesi, izole edilmiş binanın dinamik hareketine, doğrusal olmayan bir durum getirerek izole davranışı karmaşılaştırması ve ilave sönümleyicilerin, daha yüksek modlarda tepki oluşturarak izolasyonun etkinlik derecesini azaltması olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.1: Taban izolatörlü sistemlerin genel görünümü.

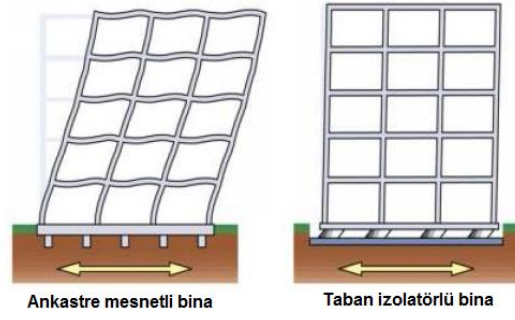
İzole edilmiş yapının ilk dinamik modu, yalnızca izolasyon sistemindeki deformasyonu içerir; üst yapı, tüm uyarmalar için rijittir. Yapıda deformasyona neden olan daha yüksek modlar, birinci moda ve dolayısıyla yer hareketine ortogondur (dikdir). Daha yüksek modlar harekete katılmaz, bu nedenle bu yüksek frekanslarda

yer hareketinde yüksek enerji varsa bu enerji yapıya iletilemez. İzolasyon sistemi deprem enerjisini absorbe etmez, ancak bunu sistemin dinamikleri aracılığıyla saptırır. Dolayısıyla sismik izolatörlerin genel amacı; yapının dayanım, rijitlik veya sünekliğini arttırmaktan ziyade yapıya aktarılan sismik talebi azaltmaktır. Bu açıdan sismik izolatörlerin arkasındaki temel fikir; yapının temel periyotunu, yer hareketlerinin baskın periyotlarından uzaklaştırarak üst yapıyı güçlü yer hareketlerinin yıkıcı etkilerinden ayırmaktır. İzolatör elemanlarının her birinde, yeterli düzeyde süneklik ve sönüm ile istenen bu davranış sağlanmış olur. Böylece zeminden yapıya aktarılacak olan kuvvetli yer hareketi talepleri, izolatör elemanları içinde sönümlenerek yapıya aktarılan kuvvetler minimize edilir (Şekil 3.2). Azalan kuvvetler bina katlarına etkileyen kesme kuvveti, ivme ve deplasman taleplerini de ciddi oranda düşürür. Böylelikle yapıyla birlikte yapısal olmayan elemanlar ile yapı içindeki değerli ekipmanların da hasarsızlığı maksimum düzeyde sağlanmış olur (Şekil 3.3).



Şekil 3.2: İzolatörlerin a) spektral ivme, b) spektral deplasman, c) periyot üzerindeki etkisi.

Burada dikkat edilmesi gereken bir husus, zemin özelliklerinin bu davranış üstündeki etkisidir. Öyle ki, daha yumuşak zeminler daha yüksek periyotlarda yer hareketi üretme eğilimindedir ve bu da yüksek periyotlara sahip yapıların tepkisini arttırır. Bu nedenle, yüksek bir periyota sahip olan sismik izolasyon sistemleri, yumuşak zemin koşullarına pek uygun değildir (Şekil 3.2c). Bu yönüyle izolatör sistemleri, düşük periyotlu rijit zemin üzerindeki yapılarda efektif olarak kullanılabilirken, yüksek periyotlu yumuşak zemin üzerindeki yapılarda ise daha az efektif olduklarını söylemek mümkündür.



Şekil 3.3: Ankastr mesnetli ve taban izolatörlü binaların deprem davranışı.

Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında, özellikle deprem sonrası kesintisiz kullanım performans düzeyinin sağlanması gereken merkezlerin tasarımında veya mevcut haliyle yetersiz performans gösteren yapıların sismik performansının iyileştirilmesinde, izolatör sistemleri sağladıkları avantajlarla ön plana çıkmaktadır.

3.2 Sismik İzolasyonun Tarihi

Sismik izolasyon, son otuz yılda yapıların sismik tasarımında popüler ve etkili bir teknik haline gelmesine rağmen, sismik izolasyonun ilkel uygulamaları tarihin çok eski zamanlarına kadar uzanmaktadır. Bu anlamda, Pantheron'da M.Ö. 440 yılında izolatör sistemlerinin çalışma prensibine benzer, enerji dağıtmaya yönelik düzeneklere rastlanmış ve bu düzeneklerin yapı kolonlarının yapımında mermerleri birbirine bağlamak için kullanıldığı görülmüştür. Sismik izolasyonun bu ilkel örneğinde, mermerler, kolon yüksekliği boyunca mermerlerin nispi hareketine izin veren kurşun ve demir plakalar aracılığıyla birleştirilmiştir. Enerji kaybı bu hareket tarafından sağlanmıştır. Mermerlerin yer değiştirmeleri, direnç kuvvetini sağlayan bağlantı malzemelerinin akmasına neden olmuştur.

Modern zamanlarda sismik izolasyon sisteminin ilk örneği 1870'te Touaillon tarafından önerilmiş ve bunu 1900'lerin başlarında Bechtold ve Calantarients izlemiştir. İlgili dönemde, yapıları depremlerin hasar verici etkisinden korumak için icat edilen birçok mekanizmanın, genel olarak yapıları zeminden ayıran bir tür destek ile bunu sağladıkları görülmüştür (Ozdemir, 2010). Bunlara örnek verilecek olursa; bir binanın yer değiştirmesine izin vermek için silindirler, kum katmanları veya benzer malzemeler kullanılarak çeşitli fikirler önerilmiştir. Silindirler üzerine inşa edilen bazı

bina örnekleri arasında Kırım, Sevastopol'da bir bina ve Mexico City, Meksika'da beş katlı bir okul sayılabilir. Bununla birlikte, Çin'deki bir binanın temeli ile bina arasında, özellikle deprem anında binanın yer değiştirmesine izin verecek şekilde tasarlanmış bir kum tabakası bulunmaktadır.

Yalıtılmış binaların en son örneklerinde ise, sistemin yük taşıyıcı bileşeni olarak çelik takviye katmanlarına sahip çok katmanlı lamine kauçuk yataklar kullanılmaktadır. Takviye edici çelik plakalar nedeniyle, bu mesnetler düşey yönde çok rijittir ancak yatay yönde sünektir, dolayısıyla izolasyon etkisi gösterir. Bu rulmanların üretimi kolaydır, hareketli parçaları yoktur, zamanla deforme olmazlar ve çevresel bozulmaya karşı dirençlidirler.

Özellikle Yeni Zelanda ve Japonya'da kullanılanlar başta olmak üzere, birçok izolasyon sistemi; doğal kauçuk yatakları, düşük dahili sönümlenme ve bir tür mekanik sönümleyici ile birleştirir (LDRB). Bunlar, rulmanın içindeki hidrolik amortisörler, çelik çubuklar, çelik bobinler veya kurşun dolguları içerir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde en yaygın kullanılan izolasyon sistemi, kurşun-tapalı (dolgulu) kauçuk yataktır (LRB). Bu rulmanlar, bir veya daha fazla dairesel deliğe yerleştirilmiş kurşun dolguya sahip çok katmanlı, lamine elastomerik rulmanlardır. Kurşun dolgular, sönümlemeyi izolasyon sistemine dahil etmek için kullanılır. Bazı izolasyon sistemleri sadece kurşun dolgulu kauçuk yataklardan (LRB) oluşsa da genellikle çok katmanlı elastomerik yataklarla (kurşun tapaları olmayan) birlikte kullanılırlar. Sönümlemeyi bir izolasyon sistemine dahil etmenin başka bir yöntemi, elastomerin kendisine sönümlemeyi dahil etmektir. Amerika Birleşik Devletleri, İtalya, Japonya, Çin ve Endonezya'daki binalar bu yüksek sönümlenme özelliğine sahip doğal kauçuk mesnetler (HDRB) kullanılarak izole edilmiştir. Bu yaklaşımın basitliği, kullanımının hızla yayılmasını sağlamıştır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde inşa edilen, sismik olarak izole edilmiş ilk binada bu tip izolatör (HDRB) kullanılmıştır. Los Angeles şehir merkezinin yaklaşık 97 km doğusunda Rancho Cucamonga şehrinde bulunan, San Bernardino İlçesi için bir hukuk hizmetleri merkezi olarak kullanılan bu bina, Foothill Toplulukları Hukuk ve Adalet Merkezi (FCLJC) olarak bilinmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde sismik olarak izole edilmiş ilk bina olmasının yanı sıra, aynı zamanda dünyada yüksek

sönümlü doğal kauçuktan yapılmış izolasyon rulmanlarını (HDRB) kullanan ilk bina olmuştur.

İkinci en yaygın izolasyon sistemi türü kayıcı elemanlar kullanır. Bu yaklaşım, düşük bir sürtünme seviyesinin izolasyon ara yüzü boyunca kesme transferini sınırlayacağını varsayar. Sürtünme katsayısı ne kadar düşükse, iletilen kesme o kadar az olur. Önerilen tüm sistemlerin en eski ve en basiti olmasına rağmen dezavantajları da yok değildir. Özellikle rüzgâr yüküne karşı yeterli direnç sağlamak ve küçük depremler veya diğer uyarımlar altında istenmeyen hareketi önlemek için oldukça yüksek bir sürtünme katsayısı değeri gereklidir. Birçok sürtünme yüzeyi, basınca ve kayma hızına duyarlı kayma özelliklerine sahiptir. Kayma süreci doğası gereği doğrusal olmadığından, uygun bir dinamik analiz de doğrusal olmamalıdır. Ayrıca, kayma veya yapışma meydana geldiğinde genel yapının rijitliğindeki herhangi bir ani değişiklik, yapıda yüksek frekanslı titreşimler -yer hareketinde bulunmayabilecek frekanslarda titreşimler- üretme etkisine sahiptir.

Bir izolasyon sisteminde düz kaydırıcı (FS) kullanmanın bir diğer sorunu, etkili bir geri yükleme kuvvetinin olmamasıdır. Bu nedenle yer değiştirme için yönetmelik gereksinimleri son derece büyüktür. Olası bir yer değiştirme herhangi bir yatay yönde olabileceğinden, yatak plakalarının ve destek sisteminin çapının çok büyük olması gerekir. Ek olarak, izolatörler üzerindeki üst yapı bileşenleri, bu büyük yer değiştirmelerin neden olduğu büyük momentler için tasarlanmalıdır.

İzolatörlere geri yükleme kuvveti yeteneği sunmanın birkaç yolu vardır. Örneğin, Kelly (1986), düz kaydırıcı ve elastomerik yatakları birleştirmeyi, böylece her iki tip izolatörün en iyi özelliklerinden yararlanmayı önermiştir. Kaydırıcıların kullanılması uzun periyotlu bir sistem oluşturur; kauçuk yataklar, bir merkezleme hareketi sağlayarak yer değiştirmeyi kontrol ederler, burulmayı kontrol ederler ve yer değiştirmeler tasarım düzeyini aşarsa, bir rijitleştirme hareketi üretirler. Bu düz kaydırıcı-elastomer kombinasyonu, 1992 yılında tamamlanan Mackay Maden Okulu'nun güçlendirilmesinde ve Martin Luther King, Jr./Drew Hastanesi'nde (Watts, California) yüksek sönümlü kauçuk izolatörler ve kurşun-bronz kaydırıcılar birlikte kullanılmıştır.

Kayıcı bir izolatörde (FS) geri yükleme kuvveti kabiliyeti üretmenin diğer bir yolu, kayan yüzeyi eğmektir. Sürtünme sarkaç sistemi (FPS), yapının ağırlığının birbirine göre yer değiştiren küresel kayan yüzeyler üzerinde taşındığı kayıcı bir izolasyon sistemidir. Sistem, yer hareketi belirli bir eşik seviyesini aştığında hareket eder. Yeniden merkezleme hareketi, küresel yüzeyde kayma meydana geldiğinde binanın yükseltilmesi ile üretilir. 1986'da geliştirilen (Zayas ve Mahin 1987) bu sistem, ilk olarak 1989 Loma Prieta, California depreminde ağır hasar gören San Francisco'daki dört katlı bir apartmanı güçlendirmek için kullanılmıştır. Güçlendirme, ahşap çerçevesel bir yapının üst üç katını destekleyen, zemin seviyesinde oluşturulan çelik çerçeve ile sağlanmıştır. İzolatörler, çelik çerçeve kolonlarının altına yerleştirilmiştir.

Genel olarak bakıldığında izolatör sistemleri tarih boyunca pek çok değişim ve gelişime uğrayarak günümüz teknolojisiyle birlikte tarihi yapıların sismik performansının iyileştirilmesinde ve önemli tesislerin tasarımında kullanılmıştır. Ülkemizde de başta havalimanları ve veri merkezlerinin güçlendirme çalışmalarının yanı sıra yeni yapılan pek çok şehir hastanesinin tasarımında izolatör sistemlerinden faydalanılmaktadır. Ülkemizin önemli bir deprem kuşağında olması ve izolatörlerin depremde hasarsızlığı garanti eden bir sistem olması nedeniyle, bu teknolojinin zamanla daha yaygın bir şekilde, daha düşük maliyetlerle konut ve okul gibi yapılarda da tercih edileceği düşünülmektedir.

3.3 Sismik İzolasyon Türleri

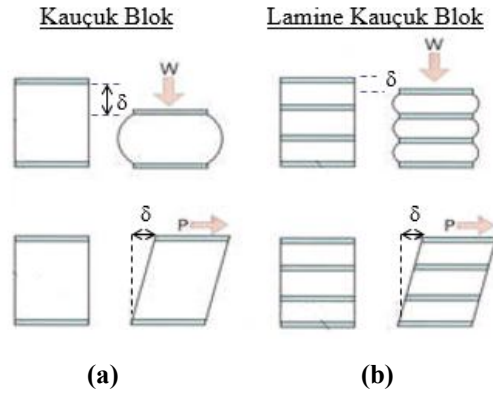
Günümüzde sismik izolasyon birçok yapıda kullanılmış ve kullanılmaya da devam etmektedir. Bu yapılarda kullanılan izolasyon sistemlerinin yapımı esas olarak iki sistemden oluşur. Bunlar; elastomerik ve kayıcı izolatörlerdir. İzolasyon sisteminin türü ne olursa olsun her türlü izolasyon sisteminden beklenen özellikler (Skinner ve diğ., 1993; Naeim ve Kelly, 1999);

- Çok yumuşak zeminler dışında, yapısal periyodu ve spektral talepleri artırmak için yeterli yatay süneklik,
- İzolatör elemanları ile yer değiştirmeleri uygulanabilir bir seviyede tutabilmek için yeterli enerji dağıtma kapasitesi,

- Deformasyondan sonra kendi kendine merkezleme kapasitesi ve
- Genel hizmet yükü altında yeterli düşey rijitlik olarak ifade edilebilir.

3.3.1 Elastomerik İzolatörler

Elastomerik lamine kauçuk izolatör yataklarının temel bileşeni; birbirini izleyen katmanlara yerleştirilmiş çelik ve kauçuk plakalardır. Bu iç takviye çelik plakalara şim adı verilir. Çelik şimler, kauçuğun özellikle aksenal yük karşında yanıl şişkinliğini azaltır ve yatağın düşey rijitliğini artırır (Kunde ve Jangid, 2003). Kauçuk ise yatayda süneklik sağlar (Şekil 3.4). Bu tür sismik izolatörlerin kullandığı elastomerler genellikle doğal kauçuktan yapılıdır.



Şekil 3.4: Düşey ve yatay kuvvet etkisindeki a) kauçuk blok, b) lamine kauçuk blok davranışı.

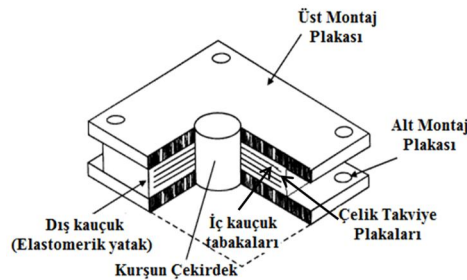
Uygulamada en çok kullanılan elastomerik izolatörlerin 3 türü vardır. Bunlar;

- Düşük Sönümlü Kauçuk Yatak (LDRB)
- Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak (HDRB) ve
- Kurşun Dolgulu Kauçuk Yatak (Düşük Sönümlü Kauçuk Yatak + Kurşun Dolgu) (LRB) olarak ifade edilebilir.

LDRB tip izolatörler; %100'e kadar ve aşan kesme gerilmeleri için yatay yönde doğrusal davranış gösterirler. Sönümlenme oranı %2-3 arasındadır. Üretiminin basit, modellemesinin kolay olması avantajlarının yanı sıra yükleme hızına, yükleme geçmişine, sıcaklık ve yaşlanmaya karşı çok hassas değildir. Ancak ek sönümlenme sistemine ihtiyaç duyulur.

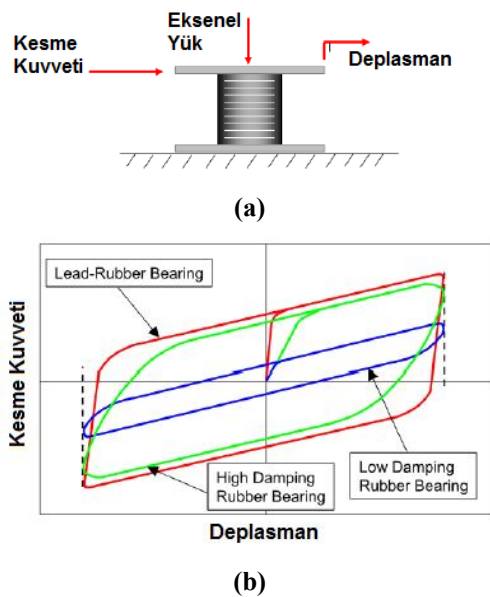
HDRB tip izolatörler; doğrusal maksimum kayma gerilimi %200-350 arasında değişkenlik göstermektedir. Ekstra ince karbon siyahı, yağlar veya reçineler ve diğer dolgu maddeleri eklenerek sönümlenme artırılmıştır. Sönüm oranı %100 kayma gerilimlerinde %10- 20 bant genişliğine sahiptir. Kayma modülü ise 50-200 psi (0.35-1.38 MPa) arasındadır. Efektif rijitlik ve sönüm; elastomer ve dolgusuna, temas basıncına, yükleme hızına, yükleme geçmişine (kazıma-scragging) ve sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yüksek sönümlü kauçuk yatakların dinamik özellikleri, yükleme koşullarına son derece duyarlıdır. Örneğin, yüksek sönümlü kauçuk yataklar yükleme/boşaltma döngüsüne tabi tutulduğunda; ilk harekette (yükleme-boşaltma) stabilize olan davranış, döngü sayısı arttıkça rijitlik ve sönümlemedeki azalma ile değişikliğe uğrar. Bu durum, ilk döngü ile son döngüye bağlı davranışlar arasında önemli ölçüde farklılık oluşturur. Ancak zamanla (saatler veya günler), ilk yatak özelliklerinin geri kazanılabileceği de unutulmamalıdır.

LRB tip izolatörler ise; merkezi kurşun çekirdekle birlikte düşük sönümlü kauçuğun bir arada kullanımı ile ortaya çıkmıştır (Şekil 3.5). Kayma modülü, %100 kayma gerilmesinde 85-100 psi (0.55-0.69 MPa) arasında değişmektedir. Maksimum kayma gerilmesi %125-200 arasındadır (maksimum kayma gerilimi tipik olarak %200'den az olduğundan HDRB ile arasındaki bu farklılık çok önemli değildir). Katı kurşun silindir, elastomerik malzemenin merkezine preslenerek (basınçla) takılır. Kurşunun akma dayanımı 1500 psi (10.3 MPa)'dir. Kurşun dolgu sisteme yüksek başlangıç rijitliği (rüzgâr yüklemesini kısıtlar) ve daha yüksek enerji dağıtma kapasitesi sağlar. Kurşun aktıktan sonra sistem hareket etmeye başlar ve döngüsel olarak enerjiyi dağıtır. Tekrarlanan döngünün neden olduğu sıcaklık artışı izolatörün efektifliğini azaltır. Ancak, kurşun normal sıcaklıklarda yeniden kristalleştiği için kurşunun yorulması bir sorun teşkil etmez. Histeretik çevrim büyük ölçüde yer değiştirmeye bağlıdır.



Şekil 3.5: LRB tip izolatör bileşenleri.

Bu özelliklerinin yanı sıra elastomerik yatakların ve sönümleyicilerin nasıl birleştirildiğine bağlı olarak, kauçuk izolatörler "tek kombinasyon" ve "ayrı kombinasyon" olarak iki kategoriye ayrılabilir. Tekli kombinasyonda, tek bir izolatör ünitesi, yatay süneklik ve enerji dağıtımı gibi ikili bir işlevi sağlayabilir. Tipik bir örnek, doğal kauçuk yatağı, merkezi bir kurşun dolguyla birleştiren kurşun-kauçuk yataktır (LRB). LRB izolatörlerin ana sönüm kaynağı kurşun dolgudur ve sisteme %20-30 arasında değişen efektif sönüm sağlar. Ayrı kombinasyonda, elastomerik yataklar, ayrı ünitelerdeki bir dizi sönümleyici ile desteklenir. Bu bağlamda kullanılan sönümleyiciler; çelik plakalar, çelik çubuklar, çelik halkalar ve benzerlerinden yapılmış sünek tip sönümleyiciler veya histeretik sönümleyiciler, viskoz malzemelerden, silikon sıvılarından vb. yapılan viskoz sönümleyiciler (Iwan ve Gates 1979) içerir. Yüksek sönümlü kauçuk yatak (HDRB) ise, %10-20 arasında değişen efektif sönümleme sergileyen özel bir bileşik kauçuktan yapılmıştır. Her tasarım firmasının HDRB üretiminde kullandığı bileşenler genellikle farklı olduğundan, çeşitli firmalar tarafından üretilen HDRB'lerin dinamik özelliklerinde büyük farklılıklar gözlemlenebilir. Bu sönümleyicilerin ortak bir özelliği, hepsinin istenen yüksek sönümleme kapasitesi özelliğini taşımasıdır. Kurşun dolgu dışında, genel şekilleri itibariyle LRB ve HDRB izolatörler birbirine oldukça benzerdir. Düşük sönümlü kauçuk izolatörler (LDRB) ise genellikle ilave sönüm cihazlarıyla birlikte kullanılarak ayrı kombinasyonun bir örneği olarak gösterilebilir. Bu üç elastomerik izolatörün en önemli farklılığı histeretik çevrimleridir.



Şekil 3.6: Elastomerik yatak a)yüklemeleri, b) histeretik çevrim kıyaslaması.

Elastomerik yatakların histeretik davranışı, yatakların sabit aksenal yüke ve sinüzoidal yanal yüke maruz kaldığı deneysel testlerle belirlenebilir. Düşük sönümlenme özelliğine sahip kauçuk yataklar, önemli miktarda enerjiyi dağıtamamaları nedeniyle dar histerezis döngüleri oluşturur. Bunun aksine, yüksek sönümlü ve kurşun dolgulu kauçuk yataklar, önemli miktarlarda enerji dağıtma kabiliyetleri nedeniyle daha geniş histerezis döngüleri üretir. Belirli bir tepe yer değiştirmesi için, kurşun dolgulu kauçuk yatakların yüksek sönümlü kauçuk yataklardan daha yüksek başlangıç rijitliği ve daha fazla döngü alanı (enerji kaybı) sergilediği unutulmamalıdır. Genel olarak, elastomerik yataklar, düşük kesme gerilimlerinde yüksek rijitlik, orta gerilimlerde azaltılmış rijitlik ve yüksek gerilimlerde arttırılmış rijitlik gösterirler. Şekil 3.6'da izolatör türlerinin histeretik çevrimleri verilmiştir. En büyük enerji çevrimi ve başlangıç rijitliğiyle birlikte tersinir etkilerde en az bozulma LRB tip izolatörde elde edildiği için, tez kapsamında kauçuk izolatörler içerisinde LRB tip izolatör kullanımı tercih edilmiştir.

3.3.2 Kayıcı İzolatörler

Kesme kuvvetinin izole edilmiş yapıya aktarımını azaltmak için düşük sürtünmeli ara yüzler uygulayan en popüler sürtünme veya kayma sistemleri ise;

- Electricite de France Sistemi (EDF),
- Esnek Sürtünme Taban İzolatörü (R-FBI),
- Sürtünme Sarkaç Sistemleri (FPS) ve
- Teflon ve cilalı paslanmaz çelikten şekillendirilmiş düz kayıcı sistemler (FS) olarak 4 farklı şekilde ifade edilebilir.

EDF sistemi, kayan yüzey neopren yataklara bağlıdır ve izole edilmiş yapı, izolasyon sisteminin homojen olmayan yerleşimi nedeniyle aşağı doğru kayma potansiyeline sahiptir.

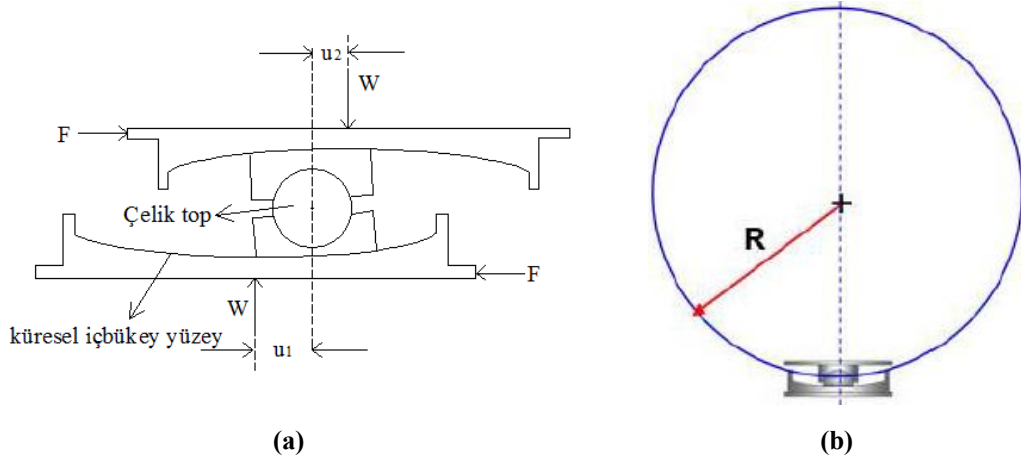
Merkezinde bir kauçuk çekirdek içeren R-FBI'lar için, blokaj meydana gelebilir ve belirli teflon katmanlarında bu blokaj yoğunlaşabilir. Tüm teflon katmanlarını aynı kayma seviyesiyle hareket ettirmek için R-FBI'nın ortasına bir çelik

çubuk yerleştirilirse, o zaman özellikle güçlü bir depremden sonra yapının orijinal konumuna geri dönememe sorunu ortaya çıkmaktadır.

Bu sistemlerde izolasyon, kayma ve sürtünme ile sağlanmaktadır. Elastomerik ve LRB mesnetlerle karşılaştırıldığında, çoğu sürtünme sistemi, izole edilmiş yapının doğal frekansından veya depremin frekans içeriğinden etkilenmeme avantajına sahiptir. Bu sebeple, sürtünmeli taban izolasyon sistemleri geniş bir frekans girişi aralığı için etkilidir. Sürtünme katsayısı, sistemde kaymanın (hareketin) meydana gelip gelmeyeceğini belirleyen anahtar parametredir. Bununla birlikte, çoğu sürtünme sisteminin dezavantajı, yapıyı orijinal konumuna geri getirememesidir. Büyük bir depremden sonra sistemin kayan kısımları arasında kalıcı bir kayma olması muhtemeldir.

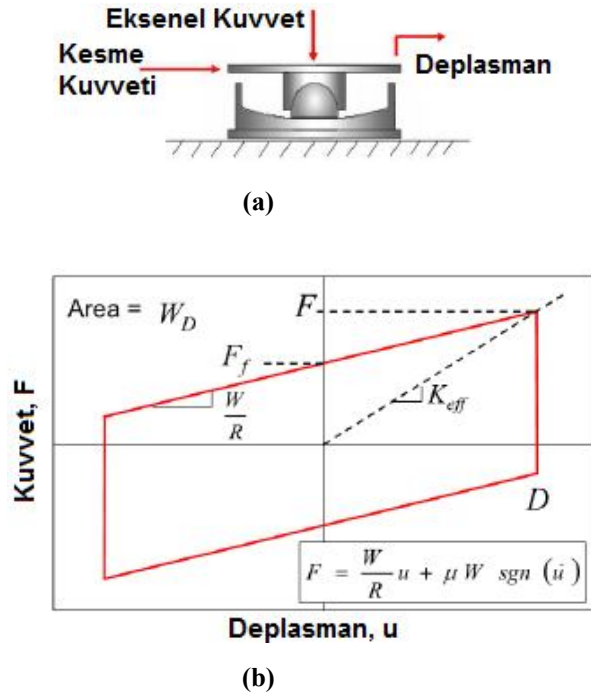
Kalıcı kayma veya artık yer değiştirmeler sorunu, kayan yüzeyin küresel bir şekil aldığı FPS'nin kullanılmasıyla çözülebilir. Küresel kayan yüzeyin geometrisi, R yarıçaplı bir daire ile tanımlanır (Şekil 3.7). Bu yarıçap, yatak kayma yüzeyinin "eğrilik yarıçapı" dır. Daire bir düşey eksenin (kesikli çizgi) üzerinde döndürülürse, küresel bir yüzey oluşur. Bu yüzeyin bir kısmı, yatağın kayma yüzeyini temsil eder. Küresel bir kayan yüzey için, eğrilik yarıçapı "R" sabittir, böylece yatak doğrusal bir geri yükleme kuvveti sergiler, yani sabit yerçekimi yükü "W" altında rijitlik, "W / R" oranına eşittir (Zayas ve Mahin 1987).

FPS'nin temel bileşenleri; içbükey plakalar, mafsalı kaydırıcı, yatak malzemesi ve paslanmaz çelik kaplamadır (Constantinou ve diğ. 2007). Kayıcı yüzeyin şekli nedeniyle, yanal ötelenmeyle yatağa düşey hareket eşlik eder. Düşey elastik hareket, yaklaşık olarak yanal yer değiştirmenin karesiyle orantılıdır ve eğrilik yarıçapı ile ters orantılıdır. Düşey doğrusal olmayan hareket ise sürtünme ve hıza bağlı olarak değişkenlik gösterir (NZSEE 2019). Şekil 3.7'de gösterildiği gibi, düşeydeki bu hareket, yanal yer değiştirmeye kıyasla genellikle önemsizdir. Ayrıca, kayan yüzeyin küresel şekli, yanal frekansın iki katı olan bir düşey frekansla sonuçlanır (yani, kaydırıcı yanal olarak bir döngü boyunca hareket ederken, dikey olarak iki döngü boyunca hareket eder).



Şekil 3.7: FPS tip izolatör a) bileşenleri, b) yarıçap gösterimi.

Bina üst yapısının rijit bir gövde (rigid body) gibi davrandığını varsayarsak, izole edilmiş yapının doğal periyodu (yani, tam bir döngü süresi hareket) eğrilik yarıçapı tarafından kontrol edilir ve bina ağırlığından bağımsızdır. Bu nedenle, yapının ağırlığı değişirse (örneğin, depolama tesisleri veya tanklar) veya varsayılandan farklıysa, doğal periyot değişmeyecektir. Ayrıca, her izolatördeki yanal kuvvet, o izolatörün taşıdığı ağırlıkla orantılıdır. Böylelikle yapının kütle merkezi ile izolasyon sisteminin rijitlik merkezi çakışacak ve bu nedenle asimetrik binaların burulma tepkisi minimuma indirilecektir.



Şekil 3.8: Sürtülmeli sarkaç tip izolatörün (FPS) a) yüklemesi, b) idealize histeretik çevrimi.

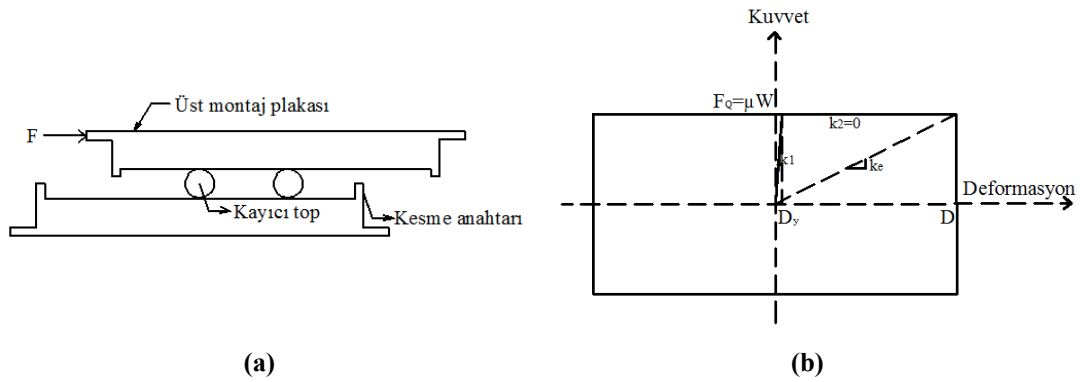
Yatağın yanal kuvvetinin iki bileşeni vardır. Bunlar, yapı kütesinin kayan yüzey boyunca yükselmesi nedeniyle oluşan geri yükleme kuvveti ve kayan ara yüzdeki sürtünmeden kaynaklanan sürtünme kuvvetidir. Kayan ara yüz, FPS'nin davranışında çok önemli bir rol oynar. Ara yüzün sürtünme tepkisi, sürgü çapı, temas basıncı, kayma hızı ve sıcaklıktan etkilenir. Geri yükleme kuvveti rijitlik sağlarken sürtünme kuvveti enerji kaybı sağlar. Bu iki basit bileşenin histerezis döngüleri, yatağın histerezis döngüsünü oluşturmak için birleştirilebilir (Şekil 3.8).

Bu döngünün geçerliliği, matematiksel modelin geliştirilmesinde yapılan varsayımlara bağlıdır. Örneğin Şekil 3.8'de verilen histerezis için sürtünme katsayısı sabit kabul edilmiştir (Basit Coulomb sürtünme modeli). Gerçekte, sürtünme katsayısı hem hıza hem de basınca bağlı olarak değişkenlik gösterir. Basınç kuvveti; desteklenen ağırlıktan kaynaklanan, desteklenen ağırlığın dikey ivmesinden kaynaklanan ve devrilme momentlerinden kaynaklanan basınç olmak üzere üç kısımdan oluşur ancak son iki bileşen, ilk terime göre nispeten küçük olma eğiliminde olduklarından tipik olarak ihmal edilir. Yapılan bir diğer kabul, hareket yönü değiştiğinde yapışma-kayma davranışının ihmal edilmesidir. Eğer gerçekte olduğu gibi bu davranış dikkate alınırsa (ihmal edilmezse), histerezis eğrisi daha pürüzlü olur ve yön değişiminin olduğu noktalarda aynı deplasman değeri için yatakta oluşan kuvvet, artı ve eksi değer arasında değişkenlik gösterir.

FPS'nin kalıcı deplasmanları ve burulma davranışını genel olarak engellemesinin dışında sağladığı diğer avantajlar ise; nispeten küçük inşaat maliyeti, kurulum için küçük ağ yüksekliği gerektirmesi, yüksek düşey rijitlik sağlaması, sıcaklık ve korozyona karşı kanıtlanmış dayanıklılığa sahip olması ve kütle merkezinin kayma merkezi ile çakışması (burulma etkilerinin küçülmesi anlamına gelir) olarak ifade edilebilir. Bu nedenlerle FPS, sismik izolasyonda kullanılan en popüler sürtünme sistemlerinden biri haline gelmektedir. Tüm bu avantajlar göz önünde bulundurularak; tez çalışması kapsamında kayıcı tip izolatörlerden, FPS tip izolatörlerin kullanılması tercih edilmiştir.

Tez kapsamında kullanılan bir diğer kayıcı izolatör türü ise düz kayıcı izolatörlerdir (flat sliding-FS). Bu izolatörler ise kauçuk, rulman, yatak tutucu, flanş plakası ve sürgülü düz bir plakadan oluşur (Şekil 3.9a). Rulmanlar yapının doğal periyodunu arttırmaz, aksine üst yapıya aktarılan kesme kuvvetini sınırlar. Kalıcı

izolasyon sistemi yer değiştirmesini önlemek için tamamlayıcı kendi kendine merkezleme mekanizması gerektirir. Genel olarak, düz bir kayar izolatörün geri yükleme kuvveti olmayan histeretik döngüsü dikdörtgen bir şekle benzer (şekil 3.9b). Buna bir çare olarak, bu tür bir kaydırma, geri yükleme kuvveti sağlayan bazı elemanlarla (örneğin, LRB veya HDRB) veya küresel yüzey (FPS) gibi diğer kayma yüzeyleriyle birlikte uygulanabilir. Bina yapılarında, bu nedenle yaygın olarak kullanılmaz. Düz kaymalı yataklar, bir taban izolasyon sisteminin elemanları olarak kullanılabilir. Dolayısıyla düz kayıcı izolatörlerin kullanımı, bu noktada işlerlik kazanır ve farklı tip izolatörlerin kombinasyonunu değerlendirmiş oluruz. Nitekim tez kapsamında da LRB tip izolatörlerle birlikte kullanılarak, kauçuk ve kayıcı izolatörlerin bir arada kullanımını irdelenecektir. Bu tür kayıcı izolatörlerin, FPS tip izolatörden ayrılan özelliği eğrilik yarıçapının sonsuz olması ve yatak yanal kuvvetinin basitçe sürtünme kuvvetine eşit olmasıdır. Ayrıca akma sonrası rijitliği sıfıra eşittir. Tasarım depremleri altındaki düz kayıcı izolatör sistemlerinde sürtünme katsayısı, yağlanmamış yataklar için 0.1–0.15 ve yağlanmış yataklar için <0.02 aralığındadır (Tyler, 1977).



Şekil 3.9: FS tip izolatör a) bileşenleri, b) histeretik çevrimi.

Düz kayıcı yataklar, 1965'ten beri birçok köprünün üst yapılarına uygulanmaktadır. Bu uygulamalarda izolatörler, dönme kabiliyeti sağlamak için serbest kaymalı yataklar, genellikle çanak yataklar olarak kullanılır. Çelik plakadaki bir yuvaya yerleştirilmiş kauçuk bir katmanla desteklenen PTFE (teflon) disk, paslanmaz çelik yüzeye doğru kayma hareketi gerçekleştirir. Kauçuk tabaka, düzgün bir yatak gerilimi dağılımına sahip olmak için kullanılır. Bu genellikle standart elastomerik izolatörlerden daha ekonomik bir yaklaşımdır. Özellikle perdeli çerçevesel yapılarda perde alt uçlarına veya birbirine çok yakın konumdaki kolon elemanlarının alt

uçlarına bu tür düz kayıcı izolatör kullanımı tercih edilir. Çünkü bu bölgelerde izolatör oldukça büyük çekme gerilmelerine maruz kalır. Sismik yönetmelikler, izolatörün kayma modülünün 3 katına kadar nihai bir gerilme gerilimine izin verse de kauçuk tipi izolatörler genellikle bu büyüklükteki bir çekme gerilimini tolere edemezler (Kelly 2003). Bu nedenle izolasyonlu yapıların tasarımında (rneğin perde duvarlar ve çevresi) bu kadar büyük çekme gerilimine maruz kalabilecek noktalarda düz kaydırmalı (FS) izolatör tiplerinin kullanılması tercih edilmektedir (Ghasemi 2020). Ayrıca FS tipi izolatörler LRB tipi izolatörlere göre daha ucuz olduğu için özellikle de tercih edilmektedir (Cancellara 2019).

4. İVME KAYITLARININ SEÇİMİ VE ÖLÇEKLENDİRİLMESİ

4.1 İvme Kayıtlarının Seçim ve Ölçeklendirilme Metotları

Depreme dayanıklı yapıların tasarımında yer hareketleri genellikle ivme veya deplasman spektrumlarının kullanılmasıyla ifade edilir. Bu spektrumlar çoğunlukla elastik bir spektrumun ölçeklendirilmesiyle elde edilirler. Ancak düzensiz, yüksek mod etkisinin muhtemel olduğu veya izolatörlü yapılarda elastik spektrumu ölçeklendirmek uygun olmayabilir. Bu gibi durumlarda ise dinamik analiz kullanılması gerekebilir (ASSHTO 1999, ASCE 2005, EN-8 2005). Yapıların sismik performansını değerlendirmede kullanılan en gerçekçi yöntem bu nedenle, zaman tanım alanında (ZTA) dinamik analizdir. Dinamik bir analizin temel gerekliliği ise, uygun bir deprem kayıt seti kullanmaktır. Bu tür analizlerin yapılmasında kullanılan ivme kayıtlarının da davranış üzerinde önemli etkiye sahip olduğu aşıkardır. Günümüzde deprem kayıt seçimi ve ölçeklendirilmesi ile ilgili birçok yöntem vardır, ancak herhangi bir uygulamada hangi yöntemin diğerlerinden daha uygun olduğunu seçmek araştırmacıya bağlıdır.

4.1.1 İvme Kaydı Seçim Metotları

Deprem kayıt seti elde etmenin üç temel yolu vardır. Bunlardan ilki yapay kayıtlar oluşturmaktır. Bu yöntem elastik spektruma çok yakın sonuçlar verebilir ancak gerçekçi olmayan yüksek sayıda güçlü hareket döngüsünün varlığı, özellikle ZTA dinamik analizler için bu kayıtların kullanılmasının sakıncalı kabul edilmesine neden olmuştur (Bommer ve Acevedo 2004). Ayrıca Naeim ve Lew (1995), bir tasarım spektrumuyla uyumlu yapay kayıtlar oluşturmanın uygun olmadığını belirtmişlerdir. İkinci seçenek, yapay kayıtların kullanılmasıdır. Bu kayıtların oluşturulması sismolojik kaynak modellerine dayanmaktadır. Bu modeller aynı zamanda saha koşullarının etkisini de dikkate alır. Ancak bu yaklaşım, oluşturulan yer hareketlerini büyük ölçüde etkileyebilecek ilgili parametreleri tanımlamak için mühendislik sismolojisi konusunda uzmanlığa ihtiyaç duyar (Bommer ve Acevedo 2004). Son

olarak, üçüncü seçenek, orijinal kaydedilmiş ivme kayıtlarını kullanmaktır. Orijinal kayıtlı verilerin kullanımı, yapay kayıtların oluşturulmasında ele alınan sorunları ortadan kaldırır. Bu kayıtların seçilmesiyle ilgili basit prosedürler, analizlerde kullanımını kolaylaştırır. Orijinal kayıtların işlenmesindeki basitlik, mühendislik sismolojisindeki uzmanlık ihtiyacını da ortadan kaldırır. Ayrıca bu kayıtlara erişim oldukça kolaydır. Özellikle uzun periyottaki tepkiler söz konusu olduğunda, Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Ground Motion Veritabanı'ndan elde edilen verilerin daha güvenli olduğu ifade edilmiştir (Bommer ve Acevedo, 2004).

Kayıtların seçimi ve ölçeklendirilmesi, davranışı büyük ölçüde etkilediğinden hem seçimde hem de ölçeklendirmede kullanılan parametreler konusunda çok dikkatli olunmalıdır. Yer hareketi kayıtlarını seçerken, doğrusal olmayan dinamik analizlerin hassasiyetini etkileyen temel olarak üç parametre vardır. Bunlar depremin büyüklüğü, fay kırığına olan uzaklık, sahadaki zemin sınıflandırması, fay kırılma mekanizması ve tek bir kaydın diğerlerine göre daha baskın olma durumudur.

Depremin büyüklüğü bazı çalışmalarda uygun bir ölçeklendirme sağlandığında önemli bir parametre olmadığı bildirilirken (Shome ve diğ. 1998, Baker ve Cornell 2005), bazı çalışmalarda ise davranışı önemli şekilde etkilediği belirtilmiştir (Stewart ve diğ. 2001, Bommer ve Acevedo 2004). Depremin büyüklüğünü önemli bir parametre olarak destekleyen görüşler, hareketin süresi (döngü sayısı) ve tepki spektrumunun şekli üzerinde büyüklüğün ciddi orandaki etkisine dayanmaktadır. Bu nedenle, kayıtların olabildiğince dar bir büyüklük aralığında seçilmesini önerirler. Ayrıca Shome ve diğ. (1998)'de kayıt büyüklüklerinin genel olarak aynı olmasını önermiştir.

Literatürde davranışı etkileyip etkilemediği konusunda deprem büyüklüğü üzerindeki tartışmalar fay kırığına olan mesafede yoktur. Genel kabul; fay kırığına olan mesafenin etkisinin deprem büyüklüğünden daha az olduğudur (Shome ve diğ. 1998, Bommer ve Acevedo 2004, Baker ve Cornell 2005). Ayrıca dar bir büyüklük aralığı ile gerekli kayıt sayısı elde edilemediği takdirde, kayıt sayısını artırmak için mesafe aralığının genişletilebileceği belirtilmiştir. Ancak bu genelleme, yumuşak zemin sınıfı ve yakın alan etkileri içeren zemin hareketlerinden seçilen kayıtlar için geçerli değildir (Bommer ve Acevedo 2004).

Davranışı etkilediği düşünölen üçüncü parametre ise zemin sınıflandırmasıdır. Zemin sınıflandırması, davranış spektrumunun genliği ve şekli açısından kayıtları oldukça etkilemektedir. Ancak, zemin sınıflandırmasının, sahadaki en yüksek 30 m derinliğin özelliklerine dayandığı da unutulmamalıdır (Bommer ve Acevedo 2004).

Fay mekanizmalarının etkisi incelendiğinde hem normal hem de doğrultu atımlı fay mekanizmalarından elde edilen kayıtlar arasındaki farkın önemli olmadığı, ters fay mekanizmalı kayıtların daha yüksek genlikleri olduğu konusunda ortak bir fikir birliği vardır (Bommer ve Acevedo 2004). Ancak genel olarak fay mekanizmasının türlerinin kayıtların seçiminde çok önemli olmadığı sonucuna varılmıştır. Seçilen kayıtlar içinde bir tanesinin diğerlerine göre baskın olması ise, genel bir durumdan ziyade o kaydın özelliklerini davranışa yansıtacağı için uygun bulunmamaktadır.

Tez kapsamında, geçmiş depremlerden seçilen ivme kayıtlarının magnitüdü 6.0-7.5 aralığında olup, fay kırığına mesafeleri 10-27 km arasında değişmektedir. Zemin sınıfı olarak TBDY-2018 yönetmeliğine göre binaların ZC zemini üzerinde bulunduğu kabul edilmiştir ve normal veya doğrultu atımlı fay mekanizmaları kullanılmıştır.

4.1.2 İvme Kaydı Ölçeklendirme Metotları

Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi için mevcut yönetmeliklerde iki yöntem vardır. Bunlardan ilki yer hareketinin sadece bir yatay bileşeninin ölçeklendirildiği elastik nükleer santraller için geliştirilmiştir. İkinci yöntem ise sismik olarak izole edilmiş yapıların ZTA dinamik analizleri için 1990'ların başında geliştirilmiştir (Huang 2008). Bu yöntem deprem kaydının her iki yatay bileşenini de aynı ölçek katsayısı ile ölçeklendirme fikrine dayalıdır. Tez kapsamında da ikinci ölçeklendirme metodu kullanılmıştır.

Literatürde ölçeklendirme konusunu ve doğrusal olmayan yapıların tepkisine etkilerini tartışan çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Shome ve diğer. 1998, Baker ve Cornell 2005, Hancock ve diğer. 2008). Literatürdeki yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesine ilişkin temel anlaşma, doğrusal olmayan yapıların tepkisinin

büyük ölçüde ölçeklendirme için izlenen prosedürlere bağlı olduğudur. Ölçeklendirme yöntemine bağlı olarak sonuçlar fazla veya az tahmin edilebilir (Huang ve diğ. 2006, Huang, 2008).

Huang ve diğ. (2006), iki ölçekleme tekniğinin doğrusal olmayan yapıların tepkisi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yazarlar ilk olarak spektral olarak eşleştirilmiş kayıtları kullanmıştır ve genlik ölçeklendirme kullanılarak sonuçları karşılaştırmışlardır. Huang ve diğ. (2006), spektral olarak eşleştirilmiş kayıtların, doğrusal olmayan yapılarda tepkinin daha küçük elde edildiği sonucuna varmıştır. Bu sonuç aynı zamanda Carballo (2000) tarafından gözlemlenmiştir. Ayrıca Huang ve diğ. (2006) ivme ve yer değiştirmelerin dağılımı söz konusu olduğunda spektral olarak eşleştirilmiş kayıtların kullanılmaması gerektiğini ifade etmişlerdir. Yaygın olarak kullanılan iki genlik ölçekleme prosedürü aşağıdaki paragraflarda özetlenmiştir ve bu yöntemlerin uygunluğu ilgili prosedürlere göre ele alınmıştır.

Genlik ölçekleme prosedürlerinden ilki; yapının baskın periyotunda her kaydın spektral ivme değerinin, hedef spektrumun spektral ivmesiyle eşleşecek şekilde ölçeklendirilmesi fikrine dayalıdır (Shome ve diğ. 1998). Bu yöntemin en büyük dezavantajı tek bir periyot değeri için hesap yapılmasıdır. Oysa periyot değerinin tahmininde (özellikle izolatörlü yapılarda) pek çok belirsizlik vardır. Ayrıca yapı hasar aldıkça binanın baskın periyotu uzar yani değişir. Yüksek modların etkili olduğu sistemlerde (özellikle zemin-yapı etkileşimli sistemler) baskın periyottan daha küçük veya daha büyük periyot değerleri daha önemli olacaktır.

İkinci genlik ölçeklendirme prosedürü ise; belirli bir periyot aralığında ölçeklendirmenin yapıldığı metottur. Haselton ve Baker (2006) yaptıkları çalışmada, kayıtları tek bir periyotta değil, çeşitli periyotlarda ölçeklendirmenin önemini belirtmişlerdir. Bu sonuç, Bommer ve Acevedo'nun (2004) çalışmasında da ele alınmıştır. Kayıtların çeşitli periyotlarda ölçeklendirilmesi, bir hedef spektrum ve her kaydın spektral koordinatları arasındaki karesi alınmış hataların toplamını en aza indirerek gerçekleştirilir. Bir kaydın her iki yatay bileşeninin kullanılması gerektiğinde, kare hataların toplamını en aza indirmek için iki bileşenin geometrik ortalaması için aynı prosedür kullanılmalıdır. (Huang 2008). Bu yöntem geometrik ortalama denir. Geometrik ortalama ölçeklendirme ile elde edilen ölçek faktörü, her iki bileşen için de kullanılır. Bu, bileşenler arasındaki farkı korumak için yakın fay

etkisi olan kayıtlar için özellikle önemlidir (Stewart ve diğ. 2001). Bu yöntemde ölçeklendirme için periyot aralığına karar verilebilir. Ayrıca bu yöntem, yer hareketlerinin yatay bileşenleri arasındaki spektral şekli ve korelasyonu da korur.

Ölçeklendirme konusundaki bir diğer önemli husus, ölçek faktörüdür. Krinitzsky ve Chang'ın (1977) çalışmasına göre, ölçek faktörü dörtten büyük olan kayıtlar kullanılmamalıdır. Benzer bir çalışmada Vanmarcke (1979) sınıvlaşma analizleri için ölçek faktörleri sınırının iki olması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca Malhotra (2003) yaptığı çalışmada, bulduğu ölçek faktörlerinden 5.84'ün ölçeklendirme faktörü için normalde kabul edilen üst sınır olan 4'ten daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Hancock ve diğ. (2008), 10'a kadar ölçekleme faktörüne sahip yapıların tepkisinde sürekli bir artış veya azalma olmadığını bildirmişlerdir.

Bir diğer önemli konu da kayıt sayısıdır. Mevcut yönetmeliklerde, üç kayıt kullanılırsa bu üç kaydın maksimum değerinin dikkate alınması gerektiğini; yedi veya daha fazla kayıt kullanılırsa, sonuçların ortalamasının dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir. Ancak dinamik analizlerde kullanılacak kayıt sayısı birçok araştırmada endişe oluşturmaktadır. Shome ve diğ. (1998), kayıtların uygun şekilde ölçeklendirilmesinin, gerçek davranışı elde etmek için gereken analiz sayısını dört kat azaltılabileceğini belirtmiştir. Bu sonuç, Hancock ve diğerleri tarafından da desteklenmektedir (2008). Bommer ve Acevedo (2004), dinamik analiz için gerekli kayıt sayısının uygun ölçeklendirme ve seçim ile azaltılabileceğini de bildirmiştir. Huang (2008) yaptığı çalışmada, davranışı doğru tahmin etmek için on bir kaydın yeterli olduğu sonucuna varmıştır.

4.2 Seçilen ve Ölçeklendirilen İvme Kayıtlarının Özellikleri

Bu bölümde tez kapsamındaki bina modellerinin, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde kullanılan ivme kayıtları ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Analizlerde kullanılmak üzere Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Ground Motion Veritabanı'ndan toplam 11 adet ivme kayıt takımı seçilmiştir (PEER). Daha önce de belirtildiği gibi, on bir kaydın, uygun bir ölçekleme yöntemiyle bir hedef spektrumu temsil etmesi için yeterli olduğu bildirilmiştir (Huang, 2008). Seçilen ivme kayıtlarının moment magnitüdüleri (M_w) 6.2 ile 7.4 arasında

değişmektedir. TBDY-2018’de 30 m derinlikteki ortalama kayma dalgası hızına (V_{s30}) göre yapılan zemin sınıflandırması için, seçilen kayıtlara ait kayma dalga hızları 360 m/sn. ile 750 m/sn. arasında olup, kayıtlar ZC zemin sınıfı içindedir. Bu kayıtların her iki bileşeni (H_1 ve H_2), TBDY-2018’de tanımlanan %5 elastik sönüm oranı için elastik ivme spektrumuna göre aynı ölçek katsayısı kullanılarak ölçeklendirilmiştir. Tüm modellerde düşey periyot- $T_v \leq 0.1$ sn. olduğu için seçilen deprem kayıtlarının düşey bileşeninin (V) aynı ölçek katsayısı ile ölçeklendirilmesine gerek kalmamıştır. Dolayısıyla deprem kayıtlarında sadece iki yatay bileşen kullanılmıştır. Ölçeklendirme işlemi, sismik yönetmeliklerde en çok önerilen, deprem kayıt seçim yöntemi olan, spektral eşleştirme yöntemiyle yapılmıştır (Kayhan ve diğ. 2011). Spektrum eşleştirme yöntemini kullanmanın avantajı, analizler arasındaki dağılımın azaltılması ve daha az yer hareketi kaydı kullanarak ortalama tepkinin gerçekçi bir tahminini mümkün kılmasıdır (NEHRP 2011, Karakutuk 2015).

2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne göre deprem tehlike haritaları revize edilmiştir (TBDY 2018). Buna bağlı olarak tasarım yelpazesi, binanın bulunduğu lokasyona göre değişkenlik göstermektedir. DD-1 deprem yer hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. DD-2 deprem yer hareketi ise, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi ise, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. Çalışmada kullanılan binaların tasarım depreminde DD-2 için ZC zemin sınıfının üzerinde bir konumda (37.770918° - 29.10773°) olduğu varsayılmıştır. İzolatör tasarımı için yine ZC zemini üzerinde maksimum düşünülen deprem DD-1 için aynı ölçeklendirme işlemi yapılmıştır. Bu konum için kullanılan spektral parametreler boyutsuz olup, Tablo 4.1’de verilmiştir. Tabloda, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı ve 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı sırasıyla S_{DS} ve S_{D1} olarak ifade edilmiştir. Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı ise sırasıyla S_s ve S_1 olarak ifade edilmiştir.

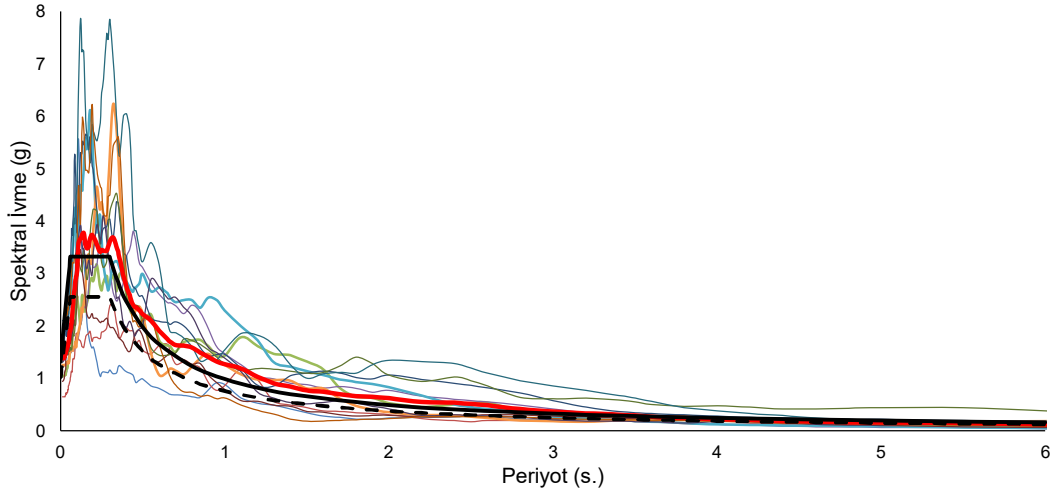
Tablo 4.1: Bina lokasyonu için zemin parametreleri.

Parametre	DD-1	DD-2
S_{DS}	2.558	1.362
S_{D1}	0.763	0.391
S_S	2.132	1.135
S_1	0.513	0.261

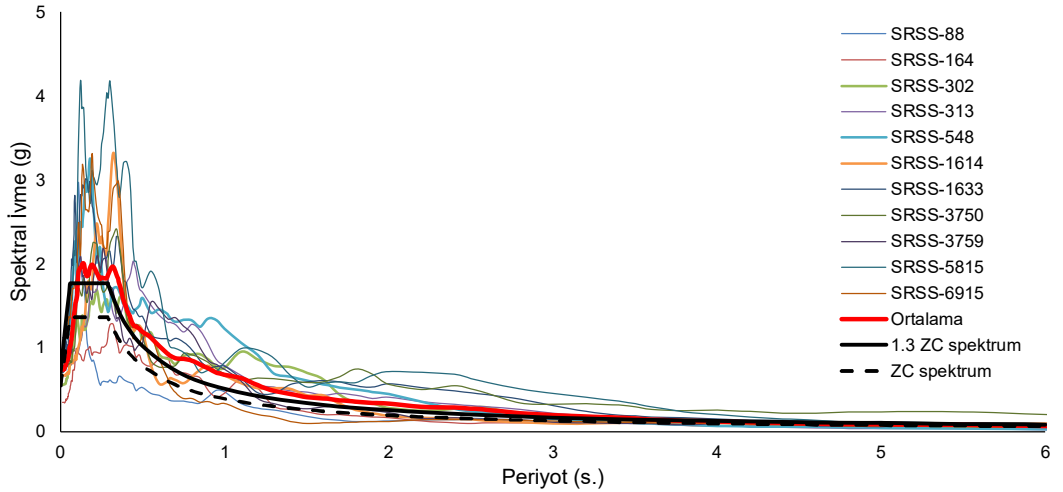
İzolatörlü binaların deprem kayıtlarının seçimi, ölçeklendirilmesi ve zaman tanım alanında dinamik analizi için dikkat edilen ve TBDY-2018’de yer alan kurallar aşağıda maddeler halinde verilmiştir (TBDY 2018).

- Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kayıt takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilmiştir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin (izolatörlü modeller için T_M , en büyük yer değiştirme altında sismik izolatörlü binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu olmak üzere $0.5T_M$ - $1.25T_M$ aralığında), tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3’ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilmiştir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılmıştır.
- Sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatları, hiçbir zaman tasarım spektrumu (yatay ve düşey elastik spektrum) ordinatlarının %90’ından daha küçük değildir.
- Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilmiştir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanmıştır.
- Doğrusal olmayan hesap, her deprem yer hareketi seviyesinde ve her iki doğrultuda on bir kayıt çifti için tekrarlanmış, ilgili deprem seviyesinde ve doğrultuda yapılan hesaplarda elde edilen en büyük değerlerin ortalamaları tasarıma esas değer olarak dikkate alınmıştır.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonucunda elde edilen yalıtım birimi yer değiştirmeleri, her bir zaman adımında meydana gelen birbirine dik doğrultudaki yer değiştirmelerin vektörel bileşkesi olarak belirlenmiştir.

Seçilen ivme kayıtlarına ait %5 sönüm oranı için elastik ivme spektrumları ve deplasman spektrumları sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Ayrıca TBDY-2018’in 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve %10 olan ZC sınıfı zemin üzerindeki spektrumu ile ivme kayıtlarının ortalaması eklenmiştir. Seçilen kayıtların saçılımı fazla olmasına rağmen TBDY-2018’e göre çizilen spektruma oldukça yakın olduğu görülmektedir. Kullanılan deprem kayıtlarına ait özellikler ve DD-2 için ölçek katsayıları ise Tablo 4.2’de verilmiştir. DD-1 için kullanılan ölçek katsayıları, DD-2’de dikkate alınan değerlerin 1.878 katıdır.

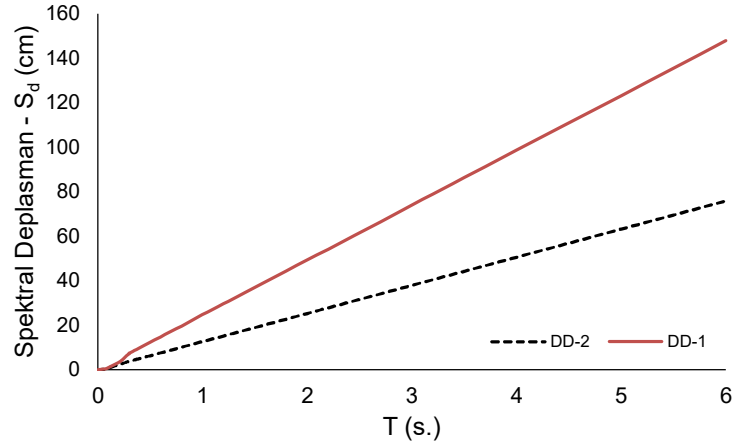


(a)



(b)

Şekil 4.1: Kullanılan deprem ivme kayıtlarının %5 sönüm için elastik ivme spektrumu a) DD-1 için spektral ivme değerleri, b) DD-2 için spektral ivme değerleri.



Şekil 4.2: Kullanılan deprem ivme kayıtlarının %5 sönüm için deplasman spektrumları.

Tablo 4.2: Çalışmada kullanılan deprem ivme kayıtları ve özellikleri (PEER).

No	RSN	Deprem Adı	Yıl	İstasyon	Mw	Bileşen H ₁ -H ₂	PGA (g)	Vs30 (m/s)	Ölçek
1	88	San Fernando	1971	Santa Felita Dam	6.6	000-090	0.387	389.0	2.5
2	164	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto	6.5	000-090	0.252	471.5	1.5
3	302	Irpinia Italy-02	1980	Rionero In Vulture	6.2	000-270	0.399	574.9	4.0
4	313	Corinth Greece	1981	Corinth	6.6	000-090	0.592	361.4	2.0
5	548	Chalfant Valley-02	1986	Benton	6.2	270-360	0.733	370.9	3.5
6	1614	Duzce Turkey	1999	Lamont 1061	7.1	E-N	0.525	481.0	4.0
7	1633	Manjil Iran	1990	Abbar	7.4	000-090	0.617	724.0	1.2
8	3750	Cape Mendocino	1992	Loleta Fire Station	7.0	270-360	0.531	515.7	2.0
9	3759	Landers	1992	Whitewater T.Farm	7.3	180-270	0.494	425.0	4.0
10	5815	Iwate Japan	2008	Yuzawa	6.9	EW-NS	0.791	655.5	4.0
11	6915	Darfield N.Zealand	2010	Heathcote V. PS	7.0	000-090	0.930	422.0	1.2

5. MODELLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

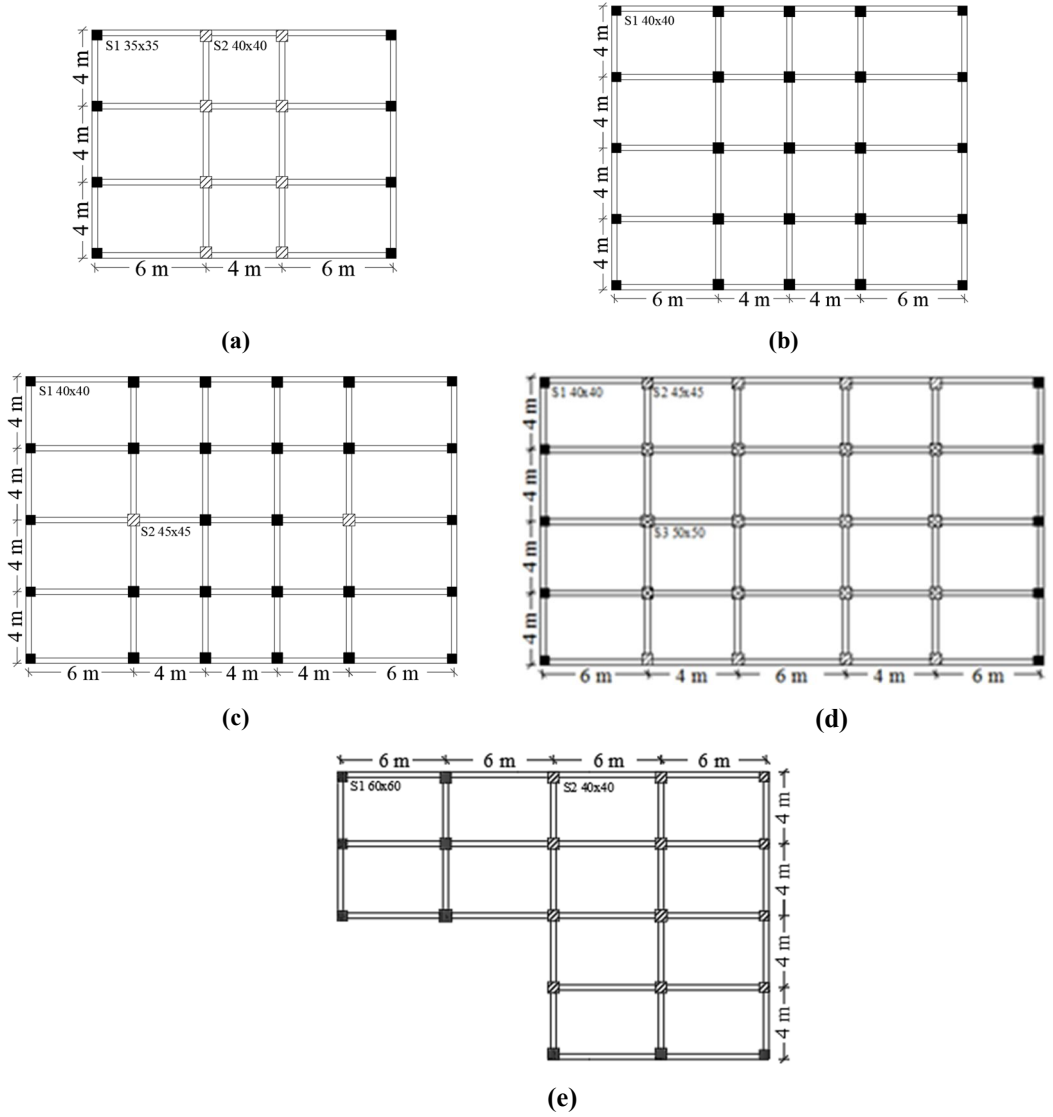
5.1 Giriş

Ülkemizde mevcut bina stokunun büyük bir bölümü 1975 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYYHY-1975) hükümlerine göre inşa edilmiştir. Ancak ilgili yönetmeliğin kapasite tasarımı ilkelerini içermemesi nedeniyle bu yönetmeliğe göre projelendirilen bina stoku deprem davranışı açısından oldukça yetersiz kalmıştır. Paulay ve Priestley (1992) tarafından önerilen sünek bina tasarımı, 1998 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYYHY-1998) ile ülkemizde uygulamaya koyulmuştur. Bu yönetmelikle birlikte, yeni tasarlanan binalar için hedef performans kriterleri getirilmiştir (Aydınoglu 2007). 1998 yılında revize edilen yönetmelik ülkemiz bina stoku için önemli bir eşik olmasına rağmen deprem performansı açısından yetersiz mevcut binalar için herhangi bir hüküm içermemektedir. Bu eksiklik 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe (DBYBHY-2007) mevcut binaların performans değerlendirmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili yeni bir bölüm eklenerek giderilmiştir. 2018 yılında revize edilen Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018) ise deprem tehlike haritalarında köklü bir değişimle birlikte, performans sınırlarında da pek çok değişiklik yapılmıştır. Ayrıca, önceki yönetmeliklerden farklı olarak binaların taban izolatörleri ile tasarım veya güçlendirilmesi ile ilgili ilk defa yönetmelik hükümleri yer almıştır.

Tez çalışmasının bu bölümünde hem izolasyon sisteminin hem de üst yapının modellenmesi ve analiz yöntemleri TBDY-2018'e göre tartışılmaktadır. İlk olarak, ankastre mesnetli yapıların özellikleri ve modellenmesi sunulmuştur. Daha sonra izolatörlerin tasarımına yönelik TBDY-2018'de açıklanan prosedürler ayrıntılı olarak incelenmiş ve izolatörlerin kuvvet-deformasyon ilişkisinde zarf eğrisini oluşturan parametreler tanımlanmıştır. Tanımlanan tüm parametrelere uygun olarak hem üst yapının hem de izolatörlerin özellikleri ve modellenmesi sunulduktan sonra son olarak modellere uygulanan analiz yöntemlerinden bahsedilmiştir.

5.2 Ankastre Mesnetli Binaların Doğrusal Analiz Modellerinin Oluşturulması

Tez çalışması kapsamında TBDY-2018 hükümleri dikkate alınarak, 4 farklı üç boyutlu (3B) orta yükseklikteki betonarme ankastre mesnetli bina, 3, 5, 7 ve 9 katlı olarak, herhangi bir yapısal düzensizlik olmaksızın modellenmiştir. Bu modeller, her iki asal eksen için tamamen simetriktir. Bu modellerle birlikte burulma düzensizliği olan, 5 katlı L şeklinde kalıp planına sahip farklı bir bina da ayrıca modellenmiştir.



Şekil 5.1: Modellerin ait plan görünüşleri a) 3 katlı, b) 5 katlı, c) 7 katlı, d) 9 katlı, e) 5 katlı L bina.

Şekil 5.1'de verilen 3B modellerin plan görünüşleri tüm katlarda aynı olup kat yüksekliği 3.2 m olarak alınmıştır. Beton basınç dayanımı 30 MPa ve donatı akma dayanımı 420 MPa olarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan binaların ZC zemin

sınıfının üzerinde Denizli ili Pamukkale Üniversitesi kampüsünde olduğu varsayılmıştır. Yapısal modeller, perde duvarları olmayan tipik kiriş-kolon betonarme çerçeve binalardır. Modeller üzerindeki hareketli yükler ve duvar yükleri TS-498'e uygun olarak belirlenmiştir (TS498 1997). Binalarda bulunan döşemelerin kendi ağırlıkları ve üzerine gelen yükler, bağlı oldukları kirişlere düzgün yayılı yük olarak etki ettirilmiştir. Her katın kendi içinde rijit diyafram olduğu kabul edilmiştir. Kolon ve kiriş boyutları Tablo 5.1'de verilmiştir. Kesitlere ait etkin eğilme rijitlikleri kolonlarda 0.7EI, kirişlerde 0.35EI olarak dikkate alınmıştır (TBDY 2018).

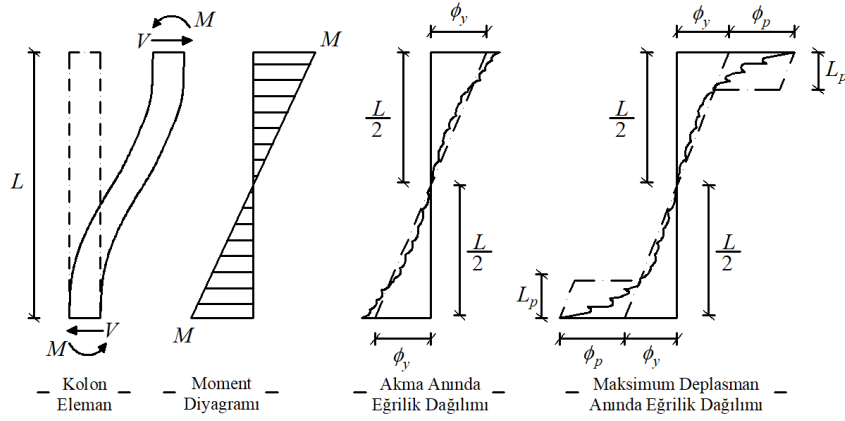
Tablo 5.1: Modeller için taşıyıcı sistem elemanı boyutları.

Model	3 Katlı	5 Katlı	7 Katlı	9 Katlı	5 Katlı L Bina
Kiriş Elemanlar (mm x mm)	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500	300 x 500
Kolon Elemanlar (mm x mm)	350 x 350 400 x 400	400 x 400	400 x 400 450 x 450	400 x 400 450 x 450 500 x 500	400 x 400 600 x 600

5.3 Ankastre Mesnetli Binaların Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Modellerinin Oluşturulması

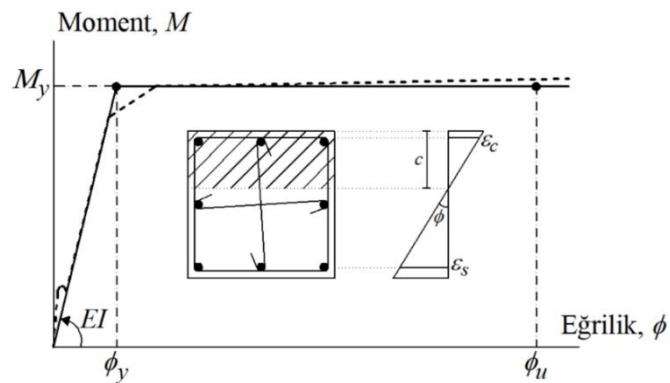
Doğrusal elastik olmayan davranış kolon ve kiriş elemanlarının uç noktalarında tanımlanan plastik mafsallar aracılığı ile modele yansıtılmıştır. Bir kesitte plastik mafsallık davranışı, kesitte meydana gelen momentin kesitin moment taşıma kapasitesine (M_r) eşit olması durumunda görülmektedir. Bu eşitliğin sağlanmasının ardından plastik mafsallık davranışı gösteren kesitlerde sabit moment altında şekil değişikliği meydana gelmektedir. Şekil 5.2'de çift eğrilikli bir kolonda plastik mafsallık oluşumu görülmektedir.

Kolon elemanda meydana gelen deplasman artışı ile oluşan moment değeri kolon kesitinin moment taşıma değerine ulaştığı anda plastik davranış başlamakta ve çatlakların olduğu bölgelerdeki eğrilik değerlerinde ciddi artışlar görülmektedir. Elemana ait deplasman kapasitesini elde etmek için kritik kesite ait moment-eğrilik ilişkisine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 5.2: Çift eğrilikli bir kolonda plastik mafsall oluşumu.

Moment-eğrilik ilişkisini belirleyebilmek için literatürde çok sayıda sargılı beton davranış modeli (Kent ve Park 1971, Sheikh ve Uzumeri 1982, Park ve diğ. 1982, Mander ve diğ. 1988, Hoshikuma ve diğ. 1997, Razvi ve Saatcioglu 1999, Legeron ve Paultre 2003, Akiyama ve diğ. 2010) bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında yapılan moment-eğrilik analizlerinde, TBDY-2018 tarafından önerilen Mander sargılı beton modeli (Mander ve diğ., 1988) kullanılmıştır. Şekil 5.3'te tipik bir kolon kesitine ait moment-eğrilik grafiği görülmektedir. Kolon kesiti için hesaplanan moment-eğrilik grafiği kesite ait akma anındaki eğrilik değerini (ϕ_y) elde etmek amacıyla iki doğrulu (bilineer) olarak temsil edilmiştir. Şekil 5.3'te M_y ile kesitin moment taşıma kapasitesi, ϕ_u ile maksimum eğrilik değeri, ϵ_c ile sargılı alan içindeki en dış beton lifinde meydana gelen şekil değiştirme değeri, ϵ_s ile çekme donatısının şekil değiştirme değeri ve c ile tarafsız eksen değeri ifade edilmektedir. İdealize edilen moment-eğrilik grafiğinde ilk doğrunun eğimi ise kesitin rijitliğini (EI) temsil etmektedir.



Şekil 5.3: Kolon kesitine ait tipik moment-eğrilik grafiği ve idealleştirilmiş eğri.

Kritik kesitlere ait moment-eğrilik analizleri SEMAp (2008) programı ile elemanın boyutları, enine ve boyuna donatı içerikleri ve eksenel yük seviyeleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen eğrilik değerlerinden ilgili nokta için hesaplanan kesitin akma anındaki dönme (θ_y) ve akmadan sonraki plastik dönme kapasitesi (θ_p) değeri 5.1 ve 5.2 denklemleriyle hesaplanmıştır.

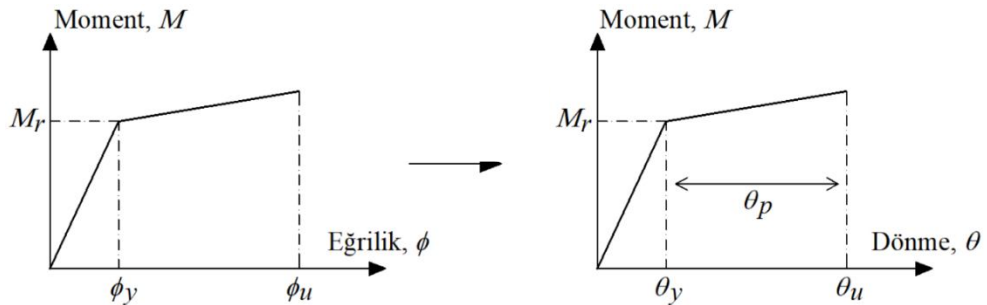
$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (5.1)$$

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 + 0.5 \frac{L_p}{L_s}\right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (5.2)$$

Denklemlerde yer alan h kesit yüksekliğidir. L_s ifadesi elemanın kesme açıklığını (tez kapsamındaki modellerde eleman net boyunun yarısı), L_p ifadesi ise plastik mafsallık boyunu ifade etmektedir. Elemanlardaki plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu (L_p), hesap doğrultusundaki kesit boyutunun yarısı ($L_p=0.5h$) olarak hesaplara dahil edilmiştir. Kiriş ve kolon elemanlarda $\eta = 1$ alınmıştır. Düğüm noktasına veya temele kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapı d_b ile ifade edilmiştir. Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı ile donatının ortalama akma dayanımı ise sırasıyla f_{ce} ve f_{ye} ile ifade edilmektedir. Elastik ve plastik dönme kapasitesi değerlerinin elde edilmesinin ardından kesitin toplam dönme kapasitesi (θ_u), denklem (5.3)'teki gibi hesaplanmıştır.

$$\theta_u = \theta_y + \theta_p \quad (5.3)$$

Tez kapsamında kullanılacak binaların tüm kolon ve kiriş kritik kesitleri için (5.1)-(5.3) denklemleri kullanılarak Şekil 5.4'te görülen moment-dönme ilişkisi belirlenmiştir. Şekil 5.4'te moment-dönme kapasitesinin belirlenmesi için moment-eğrilik grafiğine uygulanan dönüşüm işlemi görülmektedir.



Şekil 5.4: Moment-eğrilik grafiğinden moment-dönme ilişkisinin elde edilmesi.

Deplasman kapasitesinin hesabı için Moment-Alan teoreminden faydalanılmıştır. Bu teoreme göre; iki nokta arasında meydana gelen deplasmandaki değişim, bu iki nokta arasında eğrilik diyagramının altında kalan alanın momentine eşittir. Diğer bir ifade ile deplasman kapasitesi eğriliğin altına kalan alanın, eğriliğin sıfır olduğu noktaya göre momenti alınarak hesaplanmaktadır. Kesitin elastik ve plastik deplasman kapasitesi (5.4) ve (5.5) denklemleri ile hesaplanmıştır.

$$\Delta_y = \theta_y \left(\frac{2L}{3} \right) \quad (5.4)$$

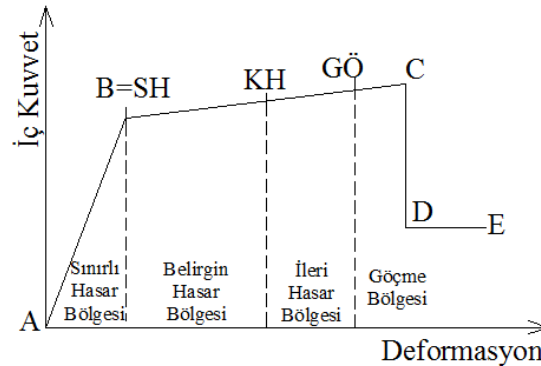
$$\Delta_p = (\theta_u - \theta_y) \left(\frac{L}{2} - \frac{L_p}{2} \right) \quad (5.5)$$

Kesitin yaptığı toplam deplasman kapasitesi (Δ_u) ise elde edilen elastik (Δ_y) ve plastik deplasman (Δ_p) kapasitesi toplamına eşittir (Denklemler 5.6-5.7):

$$\Delta_u = \Delta_y + \Delta_p \quad (5.6)$$

$$\Delta_u = \theta_y \left(\frac{2L}{3} \right) + (\theta_u - \theta_y) \left(\frac{L}{2} - \frac{L_p}{2} \right) \quad (5.7)$$

Plastik mafsalların tanımlanmasında akma ve nihai dönme kapasitelerinin haricinde, bu iki kritik nokta (θ_y , θ_p) arasında tanımlanan, kesit hasar sınırları da kullanılmaktadır. Betonarme kesitler için TBDY-2018’de ifade edilen bu hasar sınırları; Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) olarak ifade edilmektedir (Şekil 5.5). Bu hasar sınırlarına karşılık gelen dönme değerleri (θ_{SH} , θ_{KH} ve $\theta_{GÖ}$) de Tablo 5.2’de verilen denklemlere göre elde edilmiştir.



Şekil 5.5: Tipik dayanım-deformasyon ilişkisi.

Kullanıcı tanımlı plastik mafsalların moment-eğrilik analizine bağlı olarak; kuvvet deformasyon ilişkisini tanımlayan eğri üzerindeki A, B, C, D ve E noktaları Şekil 5.5’te ayrıca belirtilmiştir. A, B, C, D ve E olarak gösterilen noktalar, her bir yapısal elemanın parametrelerine bağlı olarak hesaplanmıştır. “B” noktası kesitin akma noktasına ulaşarak elastik ötesi davranışa geçildiğini gösterir. “B-C” noktaları arasında kesit taşıma gücünü korur ve pekleşme gözlemlenir. Bu aralıkta sünek elemanların kuvvet-deformasyon ilişkisindeki hasar sınırı durumları, TBDY-2018’de açıklandığı gibi SH (sınırlı hasar), KH (kontrollü hasar) ve GÖ (göçmenin önlenmesi) olarak tanımlanır. “C” noktası ise kesitin göçmeye ulaştığını gösterir. Bu noktadan sonra “D” noktasına kadar kesit taşıma gücünü ciddi oranda kaybeder ve “E” noktasına ulaşılır.

Tablo 5.2: Kesit hasar sınırlarına karşılık gelen dönme değerleri.

Hasar Sınırı			Formül
Akma sınırı	Birim Şekil Değişirme	Beton	$\epsilon_{y,c} = 0.0035$
		Donatı	$\epsilon_{y,s} = 0.01$
	Dönme		$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}}$
Sınırlı Hasar	Birim Şekil Değişirme	Beton	$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025$
		Donatı	$\epsilon_s^{(SH)} = 0.0075$
	Dönme		$\theta_p^{(SH)} = 0$
Kontrollü Hasar	Birim Şekil Değişirme	Beton	$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75\epsilon_c^{(GÖ)}$
		Donatı	$\epsilon_s^{(KH)} = 0.75\epsilon_s^{(GÖ)}$
	Dönme		$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)}$
Göçmenin Önlenmesi	Birim Şekil Değişirme	Beton	$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$ $\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}}$ $\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0 h_0} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_0} \right) \left(1 - \frac{s}{2h_0} \right)$ $\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s}$
		Donatı	$\epsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\epsilon_{su}$
	Dönme		$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 + 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5\phi_u d_b \right]$

Elde edilen eğrilik değerlerinden ilgili nokta için hesaplanan dönme değerleri, modelleme ve analiz aşamalarında kullanılan SAP2000 programında (SAP2000 CSI) tanımlanmıştır.

SAP2000 programı hem otomatik mafsal kullanımını hem de kullanıcı tanımlı mafsal özelliği seçeneklerini sağlamaktadır (SAP2000 CSI). Tez kapsamında kullanıcı

tanımlı plastik mafsal kullanımı tercih edilmiştir. Zaman tanım alanında dinamik analizler çift yönlü olarak yapıldığından, kolon elemanlarda plastik mafsallar M_2-M_3 etkileşimi dikkate alınarak uygulanmıştır. Ankastre mesnetli modellere ait parametreler ve kapasite eğrileri Tablo 5.3'te verilmiştir. İlk üç moda ait periyot değerleri sırasıyla T_x , T_y ve T_z ile ifade edilmiştir. Modellere ait sismik ağırlık W , taban kesme kuvvetleri ise ilgili yön doğrultusunda V_{tx} ve V_{ty} ile belirtilmiştir. Sismik ağırlık, yapıların sabit yükler ve azaltılmış hareketli yükleri yansıtmaktadır.

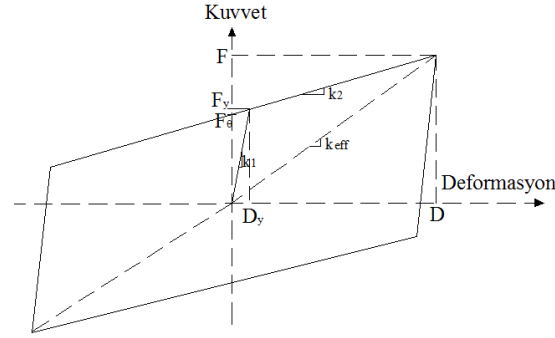
Tablo 5.3: Ankastre mesnetli modellere ait parametreler ve kapasite eğrileri.

Model	Parametre	3-katlı	5-katlı	7-katlı	9-katlı	5-katlı (L bina)
Ankastre	T_x (s)	0.51	0.87	1.15	1.51	0.84
	T_y (s)	0.48	0.82	1.12	1.34	0.75
	T_z (s)	0.47	0.78	1.05	1.32	0.68
	W (kN)	4623.6	12753.8	19885.5	32623.2	11094.5
	V_{tx} (kN)	1549.8	3200	3472.6	4836.1	1638.0
	V_{ty} (kN)	1399.7	2996.7	3009.6	4565.2	1976.6

5.4 Taban İzolatörlü Sistemlerin Oluşturulması

Bu başlık altında öncelikle izolatörlerin kuvvet-deformasyon ilişkisini tanımlayan parametreler ifade edilmiştir. Daha sonra izolatörlerin tasarımına yönelik TBDY-2018’de açıklanan prosedürler ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Tipik izolatörün kuvvet yer değiştirme davranışı doğrusal değildir, histeretiktir ve rijit doğrusal (rigid-linear), iki doğrusal (bi-linear) veya üç doğrusal (tri-linear) bir modelle idealleştirilebilir. Tez çalışması kapsamında kullanılan doğrusal olmayan özellikteki LRB ve FPS tip izolatörler, Şekil 5.6’daki gibi özelliklerinin döngüden döngüye bozulmasını dikkate almadan, genelleyici(idealleştirilmiş) iki doğrusal bir histeretik ile temsil edilmiştir.



Şekil 5.6: İzolatörün iki doğrusal kuvvet-deformasyon ilişkisi.

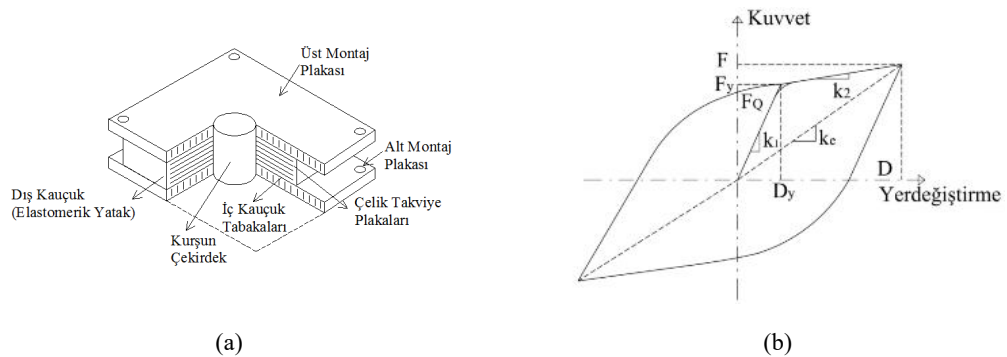
Şekil 5.6’da, F_0 karakteristik dayanımı, F_y akma kuvvetini, D_y akma yer değiştirmesini, D maksimum yanal izolatör yer değiştirmesini, k_1 ilk elastik rijitliği (başlangıç rijitliği), k_2 akma sonrası rijitliği (doğrudan izolatörün rijitliği ile ilgili) ve k_{eff} efektif rijitliği temsil etmektedir. İzolatörün kuvvet-deformasyon ilişkisini tanımlayan bu zarf eğrisini oluşturmak için ilgili parametrelerden sadece üçü gereklidir ve bunlar F_0 , k_2 ve D_y olarak ifade edilebilir.

Başlangıç rijitliği, akma sonrası rijitliğin aksine yoruma açıktır. Çünkü gerçek izolatör yatağı testlerinde başlangıçtan akma durumuna geçiş kademelidir. Bununla birlikte, genel prosedür, akma sonrası rijitliğin başlangıçtaki rijitliğe oranı için sabit bir değer önermektedir (Skinner at al. 1993; Naeim and Kelly 1999). Örneğin, Makris ve Shih-Po (2000) D_y ’nin izole edilmiş yapıların tepkisi üzerindeki etkisini bulmak için parametrik bir çalışma yapmışlardır. Hem kayıcı izolatörleri (0.2 mm) hem de

kurşun dolgululu kauçuk izolatörleri (10 ve 20 mm) temsil etmesi için bir dizi akma deformasyonu seçmişlerdir. Çalışmanın sonunda, histeretik dağılımın faydalarının, histeretik mekanizmanın akma yer değiştirme seviyesine göre değişiminin yok denilecek kadar az olduğunu elde etmişlerdir. Ayrıca, k_1/k_2 oranını sabitlemenin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır, çünkü bu varsayım akma dayanımı (F_y) ile akma deformasyonunun (D_y) değişmesine yol açmaktadır (Makris ve Shih-Po, 2000). Benzer bir çalışma Ryan ve Chopra (2004) tarafından yapılmıştır. Bi-lineer kuvvet-deformasyon ilişkisinde k_1/k_2 'yi sabitlemek yerine akma deplasmanının sabitlenmesi gerektiğini ve LRB'ler için önerilerinin 10 mm olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında, akma için 10 mm'lik sabit bir değer atanmıştır. Eğri yüzeyli sürtümlü sarkaç tip izolatörlerde (FPS) ise akma yer değiştirmesi, bu değer en az 10 katından daha az olması gerektiğinden, 1 mm olarak dikkate alınmıştır. Öte yandan, akma deplasman değerinin izolasyon sistemi deplasman hesabı ve dolayısıyla izolasyon kesme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi olmadığı da ifade edilmelidir. Ayrıca izolasyon sistemlerinin tasarımında tanımlanan prosedürlerin hem maksimum izolatör yer değiştirmesini hem de izolatörler tarafından taşınan kesme kuvvetini tahmin etmek için yinelemeli bir yöntem gerektirdiği de unutulmamalıdır.

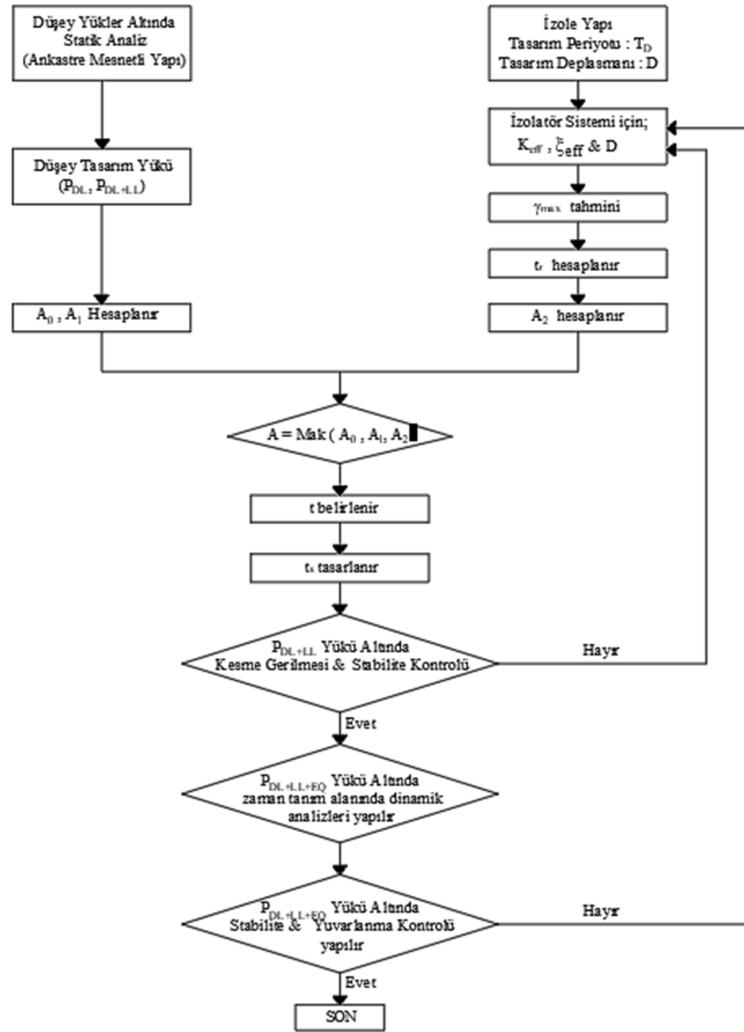
5.4.1 LRB İzolatörlü Modellerin Tasarımı

LRB tip izolatörlerin bileşenleri ve histeretik çevrimi Şekil 5.7'de verilmiştir. Tasarımında kullanılan yinelemeli yöntem ise Tablo 5.4'teki gibi özetlenebilir:



Şekil 5.7: Kurşun çekirdekli lamine kauçuk yatak a) kısımları, b) çevrim modeli.

Tablo 5.4: Ankastre mesnetli modellere ait parametreler.



İzolatörlü sistemlerin eksiksiz bir tasarımı için, izolatörlerin üst yapıdan gelen servis yüklerini hizmet ömrü boyunca destekleyebilmesi ve depremler sırasında izole yapıya periyot değişimi ve enerji dağıtımını işlevlerini sağlayabilmesi gerekmektedir. Bu tasarım amaçlarına uygun olarak aşağıdaki tasarım adımları 5.8-5.56 denklemleri kullanılarak sırasıyla gerçekleştirilmelidir;

- 1) İzole yapı için zemin sınıfı belirlenir.
- 2) Bina bir ankastre mesnet ile inşa edilmişse, indirgeme faktörü (deprem yükü azaltma katsayısı-R) Tablo 5.5'ten alınır.

Tablo 5.5: Deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları (TBDY-2018).

Performans Hedefi	R	D
KK	1.2	1.2
SH	1.5	1.5

- 3) Deprem yalıtımı uygulanan binalarda, Bina Önem Katsayısı $I = 1$ alınacaktır.
 - 4) Ölü ve hareketli yükler (G ve Q) ile binanın sismik ağırlığı ($W_T = G+nQ$) belirlenir.
 - 5) Saha sınırlarının kısıtlanması nedeniyle, binanın tabandaki izin verilen yatay yer değiştirmesi belirlenir.
 - 6) X ve Y doğrultuları boyunca ankastre mesnetli yapının doğal titreşim periyotları belirlenir.
 - 7) İzolatör yatağının kurulacağı ilgili kolon için P_{DL+LL} belirlenir (DL: Dead Load-ölü yük, LL: Live Load-hareketli yük).
 - 8) İzolatör yatağı için tasarım kayma gerilmesi (γ_{max}), efektif sönüm oranı (ξ_{eff}) ve yalıtılmış yapı için hedef tasarım periyodu (T_D) seçilir. Efektif rijitlik ve sönüm oranı, gerilme oranı (hız) ile artar. Sönüm oranındaki artışlara, efektif rijitlikte daha küçük, ancak anlamlı artışlar eşlik eder (Thompson vd. 2000).
- ✓ Tasarım kayma gerilmesi (γ_{max}) malzeme tedarikçisinden alınabilir.
 - ✓ Efektif sönüm oranı TBDY-2018'de maksimum $\xi_{eff} = \%30$ ile sınırlandırılmıştır.
 - ✓ İzole edilen yapının tasarım hedef periyodu T_D , ankastre mesnetli yapının periyodunun üç katından daha büyük olmalıdır.
 - ✓ IBC 2000'in Tablo 1623.2.2.1'den, ξ_{eff} 'e karşılık gelen sönümlenme katsayısı B_D değerleri belirlenir. Örneğin $\xi_{eff} = \%20$ olması durumunda izolasyon sistemi için, sönümlenme katsayısı B_D , 1.5'tur. Yine aynı yönetmeliğin Tablo 1615.1.2'den, izole edilmiş binaların uzun periyotlar için, sismik katsayı miktarı S_D belirlenir.
- 9) Efektif yatay rijitlik (K_{eff}) ve yatağın maksimum yatay (tasarım) deplasmanını (D) belirlemek için yönetmelik formülleri ((5.8) ve (5.9) denklemleri) veya statik veya dinamik analiz yöntemleri kullanılır.
- ✓ İzolatörün efektif yatay rijitliği (K_{eff}), $W=P_{DL+LL}$ olmak üzere;

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_D} \right)^2 \Big|_{W=P_{DL+LL}} \quad (5.8)$$

- ✓ Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için izolatör birimi yer değiştirmesi (D_D);

$$D_D = 1.3 * \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) * T_D^2 * \eta_D * S_{ae}^{DD-2} * (T_D) \quad (5.9)$$

- ✓ Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için bina etkin periyodu T_D ;

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_D}} \quad (5.10)$$

- ✓ En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için izolatör birimi yer değiştirmesi D_M ;

$$D_M = 1.3 * \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) * T_M^2 * \eta_M * S_{ae}^{DD-1} * (T_M) \quad (5.11)$$

- ✓ En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için bina etkin periyodu T_M ;

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_M}} \quad (5.12)$$

- ✓ Sönüm ölçeklendirme katsayıları η_D ve η_M ;

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \quad (5.13)$$

- 10) Kurşun çekirdeğin tasarımı: Kısa periyot akma kuvveti $Q_d=F_y$ ve akma dayanımı f_p 'ye göre kurşun çekirdeğin kesit alanı (A_p) ve çapı (d_p) belirlenir.

- ✓ Kısa periyot akma kuvveti (Q_D);

$$Q_d = \frac{W_D}{4D_D} = \frac{\pi}{2} K_{eff} \varepsilon_{ff} D_D \quad (5.14)$$

W_D bir döngüde absorbe edilen(dağıtılan) enerji miktarıdır.

- ✓ Akma sonrası yatay rijitlik ($K_d= K_2$);

$$K_d = K_{eff} - \frac{Q_d}{D_D} \quad (5.15)$$

Kurşun Çekirdeğin Tasarımı;

- ✓ Gerekli kurşun alan (A_p);

$$A_p = \frac{Q_d}{f_{py}} \quad (5.16)$$

f_{py} : kurşun çekirdeği akma dayanımıdır, kabul yapılır ($\cong 10$ MPa) (Mayes ve Naiem 2001).

- ✓ A_p 'ye bağılı olarak kurşun çekirdeğin çapı (d_p) belirlenir.
- 11) Kauçuk katmanların alanı ve boyutlarının tasarımı: Tasarım yer değiştirme D_D ve tasarım kesme gerilmesi γ_{max} 'a göre kauçuk yatağın, kauçuk katmanlarının toplam yüksekliği; t_r hesaplanır.
- ✓ Kauçuk tabakaların toplam yüksekliği (t_r);

$$t_r = \frac{D_d}{\gamma_{max}} \quad (5.17)$$

- 12) Üreticinin test raporundan Young modülü (E) ve kesme modülü (G) dahil olmak üzere malzeme özelliklerini seçilir.
- ✓ Tablo 5.6'dan kauçuk malzemeye ait rijitlik ve sabitler seçilir. Kauçuk yatak için aşağıdaki parametreler elde edilir.
- ✓ Tez çalışması kapsamında uygulamada en çok kullanılan IRHD-60 türü kauçuk malzeme seçilmiştir ve bu malzemeye ait kopma uzaması $\epsilon_b = \% 500$ 'dür.
- ✓ Malzeme özellikleri (k, E, G) elde edilir.

Tablo 5.6: Kauçuk malzemeye ait rijitlik ve sabitler (UBC-1997).

Kauçuk Rijitliği IRDH ± 2	Young's Modülü-E (N/cm ²)	Kesme Modülü-G (N/cm ²)	Modifiye Katsayısı-k
30	92	30	0.93
35	118	37	0.89
40	150	45	0.85
45	180	54	0.8
50	220	64	0.73
55	325	81	0.64
60	445	106	0.57
65	585	137	0.54
70	735	173	0.53
75	940	222	0.52

- 13) Her bir kauçuk tabakanın A alanı ve kalınlığı t belirlenir.
- a) Hiçbir sallanma olmaması koşulunda şekil faktörü (S) seçilir.
- ✓ Şekil faktörü (S) seçimi;

$$\frac{K_V}{K_H} = \frac{\frac{E_C * A}{t_r}}{\frac{G * A}{t_r}} = \frac{E_C}{G} = \frac{E(1 + 2kS^2)}{G} \geq 400 \Rightarrow S \geq \sqrt{\frac{\left(\frac{400G}{E} - 1\right)}{2k}} \quad (5.18)$$

K_V = Kauçuk yatağın düşey rijitliği

K_h = Kauçuk yatağın yatay rijitliği

G = Kesme modülü (0.4-1.0 MPa)

E = Young Modülü (1.5-5.0 MPa)

E_c = Kauçuk-çelik kompozitin basınç modülü, $E_c = E(1+2kS^2)$

A = Kauçuk rulmanın tam kesit alanı (yükli alan)

t_r = Kauçuk tabakanın toplam yüksekliği

k = Modifiye(düzeltilme) faktörü (0.5-1)

S = Şekil faktörü= A/A_f

A_f = Kauçuk yatak çevresindeki yüksüz alan

✓ Kauçuk-çelik kompozit basınç modülü (E_c);

$$E_c = E(1 + 2kS^2) \quad (5.19)$$

b) Düşey yük durumu P_{DL+LL} altında izin verilen normal gerilme σ_c 'ye bağlı kauçuk yatağın efektif alanı (A_0);

$$\sigma_c = \frac{P_{DL+LL}}{A_0} \leq 80 \frac{kgf}{cm^2} \Rightarrow \frac{P_{DL+LL}}{80} \leq A_0 \quad (5.20)$$

c) Düşey yük durumu P_{DL+LL} altında kayma gerilmesi durumu için efektif alan (A_1);

$$6S * \frac{P_{DL+LL}}{E_c A_1} \leq \frac{\varepsilon_b}{3} \Rightarrow 18S \frac{P_{DL+LL}}{E_c \varepsilon_b} \leq A_1 \quad (5.21)$$

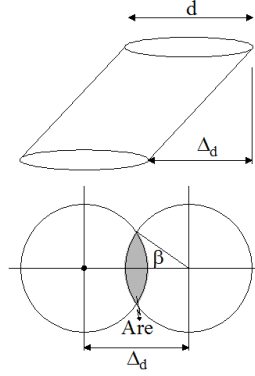
d) Kauçuk yatağın elastik modülü (K_r);

$$K_d = K_r \left(1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right) \Rightarrow K_r = \frac{K_d}{\left(1 + 12 \frac{A_p}{A_0} \right)} \quad (5.22)$$

e) Kesme hasarı durumuna göre her bir kauçuk tabakanın minimum kesit alanı (A_{sf});

$$G = \frac{K_r t_r}{A_{sf}} \Rightarrow A_{sf} = \frac{K_r t_r}{G} \quad (5.23)$$

- ✓ A_{sf} 'ye karşılık gelen çap (d) belirlenir.
- ✓ Minimum kesit alanından elde edilen kesit çapına bağlı olarak efektif kesit alanı ($A_{re}=A_2$) dairesel kesit için (Şekil 5.8);



Şekil 5.8: Efektif kesit alan görünümü.

$$A_{re} = A_2 \leq \frac{d^2}{4} * (\beta - \sin\beta) \quad (5.24)$$

$$\beta = 2\cos^{-1}\left(\frac{D_d}{d}\right) \quad \beta: \text{radyan} \quad (5.25)$$

- f) Yatağın tasarım kesit alanı A , hesaplanan üç değer (A_0 , A_1 ve A_2) arasında maksimum olandır:
- ✓ $A = \max(A_0, A_1, A_2)$ belirlenir.
 - ✓ Tasarım kesit alanına (A) bağlı olarak kauçuk tabaka için uygun boyutlar seçilir.
- 14) Her bir kauçuk tabakanın kalınlığı; t ve kauçuk tabakaların sayısı, N olmak üzere:
- a) Her bir lastik tabakasının kalınlığı (t), dairesel kesit için S faktör katsayısından ve kauçuk tabakanın boyutlarından belirlenir.

$$S = \frac{d}{4t} \Rightarrow t = \frac{d}{4S} \quad (5.26)$$

- b) Gerekli olan kauçuk katman sayısını belirlemek için $t_r = N * t$ kullanılır.

$$t_r = N * t \quad (5.27)$$

15) Çelik levha kalınlığı, t_s belirlenir.

✓ Çelik levha kalınlığı (t_s);

$$t_s \geq \frac{2(t_i + t_{i+1})P_{DL+LL}}{A_{re} * F_s} \geq 2 \text{ mm} \quad (5.28)$$

✓ Üst ve alt kapak plakalarının kalınlığı sırasıyla $t_{\bar{u}}$ ve t_a olmak üzere, kauçuk rulmanın toplam yüksekliği (h);

$$h = t_r + Nt_s + t_{\bar{u}} + t_a \quad (5.29)$$

16) Kesme gerilmesi ve stabilite koşulları takip edilecek bölümde verilmektedir. Yatak için belirlenen boyutlar kesme gerilmesi ve stabilite gereksinimlerini karşılamıyorsa, daha iyi bir tasarım için 8'den 15'e kadar olan adımlar tekrarlanacaktır.

17) Kesme ve stabilite kontrolleri için aşağıdaki adımlar izlenecektir.

✓ Kesme gerilmesi ve stabilite koşulları:

a) Kauçuk tabakaların tasarımında, normal yük durumu için kesme gerilmesi kontrolü yapılır.

✓ Düşey yük (P_{DL+LL}) kontrolü;

$$\gamma_{SC,DL+LL} = 6S \frac{P_{DL+LL}}{E_c A} \leq \frac{\epsilon_b}{3} \quad (5.30)$$

b) Yatağın labil hale gelmesini önlemek için, yatağın ortalama basınç gerilmesi kontrolü yapılır.

✓ Dairesel kesit için stabilite kontrolü;

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \leq \frac{GSd}{2.5t_r} \quad (5.31)$$

c) Kurşun çekirdek boyutu, rulmana (kauçuk yatağa) başlangıç rijitliği ve enerji dağıtma kapasitesini sağladığı için kontrol edilir.

✓ Kurşun çekirdeğin çap kontrolü;

$$1.25 \leq \frac{H_p}{d_p} \leq 5 \text{ cm olmalı} \quad (5.32)$$

H_p ; kurşun dolgunun efektif yüksekliğini, d_p ; kurşun dolgunun çapını ifade eder.

18) Tasarım sonucu LRB izolatörü ile ilgili hesaplanan parametreler aşağıda özetlenmiştir.

- Kauçuk rulman çapı
- Kauçuk rulman toplam yüksekliği
- Kauçuk tabaka sayısı
- Her bir tabaka kalınlığı
- Kurşun çekirdeğin çapı
- Çelik plaka sayısı
- Çelik plakaların kalınlığı
- Üst ve alt kapak plakalarının kalınlığı

19) İzolatör tasarımından sonra gerçekleştirilen modal analiz, statik itme analizi ve seçilen deprem kayıtları kullanılarak yapılan zaman tanım alanında dinamik analizler sonucunda aşağıdaki parametre değerleri elde edilmiştir.

- a) Modal analiz sonucunda x ve y doğrultularında T_{DpX} ve T_{DpY} periyotları elde edilmiştir.
- b) İzolasyon ara yüzündeki minimum taban kesme kuvveti (V_b) belirlenir.

$$V_{b,1} = K_h * D_D = (\Sigma K_{eff}) * D_D \quad (5.33)$$

$$V_{b,2} = \frac{W_T}{g} * \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)^2 * D_D \quad (5.34)$$

$$V_b = \max (V_{b1}, V_{b2}) \quad (5.35)$$

- c) İzolasyon ara yüzünün üstündeki üst yapının deprem kuvveti (V_s) hesaplanır.

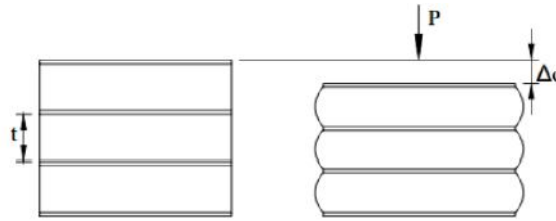
$$V_s = \frac{V_b}{R_I} \quad (5.36)$$

- d) Tasarım deprem kuvvetinin kat seviyelerindeki dağılımı hesaplanır.

$$F_x = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^N w_i h_i} V_s \quad (5.37)$$

- 20) Kat seviyelerinde hesaplanan yatay kuvvetler bulunduğundan sonra, %5 eksantrisite dikkate alınarak ve ilgili yönü için düşey ve yatay yüklerin tamamını (%100) aynı anda uygulayarak deprem yükü altında merkezi izolatör için SAP2000 programı tarafından hesaplanan;
- Maksimum basınç(sıkıştırma) kuvveti; $P_{DL+LL+EQ}$ bulunur.
 - Ötelenme oranları hesaplanır ki burada zemin kat dışındaki ötelenme oranlarının oldukça düşük (yaklaşık %0.3 mertebelerinde) olması, izolatör üstündeki yapının katı cisim gibi davranarak elastik kaldığını gösterir.
 - Deprem yükü altındaki stabilite ve devrilme koşulları kontrol edilir.
- ✓ Deprem yükü için kayma gerilmesi durumu;

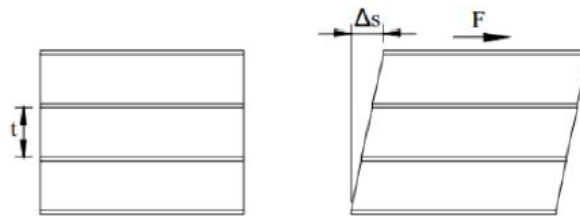
Maksimum basınç kuvveti ($P_{DL+LL+EQ}$) kullanılarak açılmal şekil değıştirme γ_{sc} hesaplanır (Denklem 5.38 ve Şekil 5.9).



Şekil 5.9: Basınçtan meydana gelen açılmal şekil değıştirme.

$$\gamma_{sc} = 6S \frac{P_{DL+LL+EQ}}{A_{re} E_c} \quad (5.38)$$

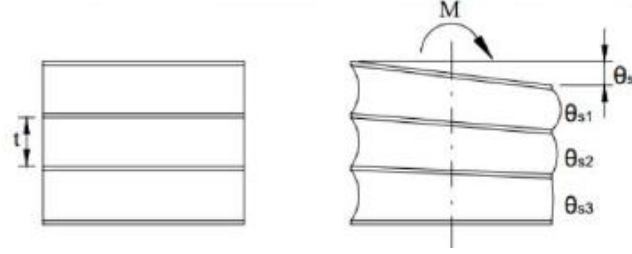
Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (genleşme, rüzgâr vb.) oluşacak yatay yer değıştirmeden meydana gelen açılmal yer değıştirme (γ_{eq}) hesaplanır (Denklem 5.39 ve Şekil 5.10).



Şekil 5.10: Deprem etkisi dışındaki yatay yer değıştirmeden meydana gelen açılmal şekil değıştirme.

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r} \quad (5.39)$$

İzolator birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden meydana gelen birim şekil değıştirme (γ_{sr}) hesaplanır (Denklem 5.40-5.41 ve Şekil 5.11).



Şekil 5.11: İzolator birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden meydana gelen birim şekil değıştirme.

Tasarım dönme açısı θ_s sabit yük, hareketli yük ve imalat sırasındaki oluşan dönme etkilerini de içerecektir. Bu değeri en az 0.005 radyan olarak alınacaktır. B çelik plakaya yapışmış olan elastomer çapını, t elastomer katman kalınlığını, t_r toplam elastomer kalınlığını, e ise bina kütle merkezi ile izolator rijitlik merkezi arasındaki statik eksantrisiteyi ifade etmektedir. Ayrıca b ; hesap yapılan doğrultu için bina boyutu, d ; hesap yapılan doğrultuya dik doğrultu için bina boyutudur.

$$\theta = \frac{12 * D_D * e}{b^2 + d^2} \geq 0.005 \text{ radyan} \quad (5.40)$$

$$\gamma_{sr} = \frac{B^2 * \theta}{2 * t * t_r} \quad (5.41)$$

Elastomer malzemede deprem yükü dışında düşey yüklerden meydana gelen birim şekil değıştirmeler denklem (5.42) ve (5.43)'teki sınırlardan en küçük olanı sağlamalıdır. Bu denklemlerde ϵ_b , elastomer malzemenin kopma birim şekil değıştirme değeri (Tez çalışması kapsamında kullanılan elastomer $\epsilon_b = \%500$ kopma birim şekil değıştirmesine sahiptir).

$$\gamma_{sc} = 6S \frac{P_{DL+LL+EQ}}{A_{re} E_c} \leq 3.5 \text{ veya } \gamma_{sc} < \epsilon_b / 3 \quad (5.42)$$

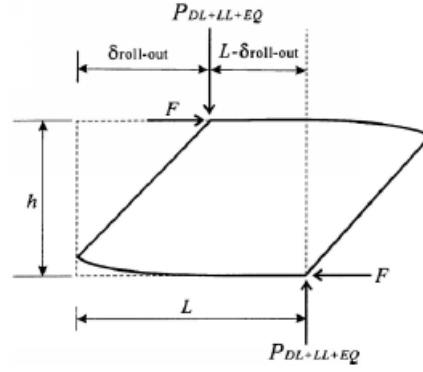
$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} \leq 5.0 \text{ veya } \gamma_{sc} + \gamma_{eq} + \gamma_{sr} < 0.75 \epsilon_b \quad (5.43)$$

Elastomer malzeme ara yüzünde yatay yer değiştirmeden ve dönmeden meydana gelen toplam birim şekil değiştirme denklem (5.44) ve (5.45)'teki sınır değerleri sağlamalıdır.

$$\gamma_{eq} = \frac{D}{t_r} \leq 2.0 \quad (5.44)$$

$$\gamma_{sc} + \gamma_{eq} + 0.5\gamma_{sr} \leq 6.0 \quad (5.45)$$

- ✓ Yuvarlanma koşulu kontrol edilir (Denklem 5.46 ve Şekil 5.12);



Şekil 5.12: Yuvarlanma durumunda kauçuk izolatör yatağı.

$$\gamma_{roll-out} = \frac{1}{2} * \frac{P_{DL+LL+EQ} * L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff} * h} \geq D_D \quad (5.46)$$

- ✓ Burkulma kararlılığı kurşun çekirdekli dairesel izolatörler için denklem (5.47-5.51) arasında verilmiştir.

$$P_{cr} = \frac{0.218GB^4 * \left(1 - \frac{B_L}{B}\right) * \left(1 - \frac{B_L^2}{B^2}\right)}{t * t_r * \left(1 - \frac{B_L^2}{B^2}\right)} \quad (5.47)$$

$$\frac{P_{cr}}{P_u} \geq 2.0 \quad (\text{Statik Durumda}) \quad (5.48)$$

$$\frac{P'_{cr}}{P_u} \geq 1.1 \quad (DD - 1 \text{ Düzeyinde Depremlili Durumda}) \quad (5.49)$$

P_{cr} = Burkulma yükü

P_u = Depremlili ve depremsiz durum için izolatöre gelen maksimum aksenal kuvvet

B = Dairesel kesitli izolatör için izolatör çapı

B_L = Dairesel kesitli izolatör için kurşun dolgu çapı

$$\frac{P_{cr}}{P_u} \geq 2.0 \quad (\text{Statik Durumda}) \quad (5.50)$$

$$\frac{P'_{cr}}{P_u} \geq 1.1 \quad (\text{DD - 1 Düzeyinde Depremlili Durumda}) \quad (5.51)$$

Yatay yer değiştirme olduğu durumda, DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü P'_{cr} denklem (5.52) ile hesaplanacaktır. A_{re} 'nin belirlenmesinde tanımlanan D değeri için D_{TM} kullanılacaktır.

$$P'_{cr} = P_{cr}(A_{re}/A) \quad (5.52)$$

Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekil değiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi denklem (5.53)'e göre hesaplanacaktır.

$$P_{DL+LL+EQ} = \frac{3.5 A_{re} E_c}{6S} \quad (5.53)$$

Elastomer yalıtım birimlerinin yatay yer değiştirme olmadığı durumlardaki burkulma yükü sınırı denklem (5.54)'de verilmiştir.

$$\frac{\min(P_{cr}, P_{DL+LL+EQ})}{P_{1.4G+1.6Q}} \geq 2.0 \quad (5.54)$$

Elastomer yalıtım birimlerinin en büyük deprem yer hareketi düzeyinde meydana gelen yatay yer değiştirme altındaki burkulma yükü sınırı denklem (5.55)'te verilmiştir.

$$\frac{\min(P'_{cr}, P_{DL+LL+EQ})}{P_{1.2G+Q+Ed}} \geq 1.1 \quad (5.55)$$

- ✓ Çelik plaka (şim-shim) kalınlığının seçimi LRB tip boşluklu plakalarda denklem (5.56)'ya göre yapılmalıdır. Plaka kalınlığı belirlenirken kauçuk ve plaka arasında oluşan kayma gerilmeleri nedeni ile oluşan radyal ve çevresel çekme gerilmeleri ile düşey basınç gerilmeleri ile oluşan çekme gerilmeleri dikkate alınır.

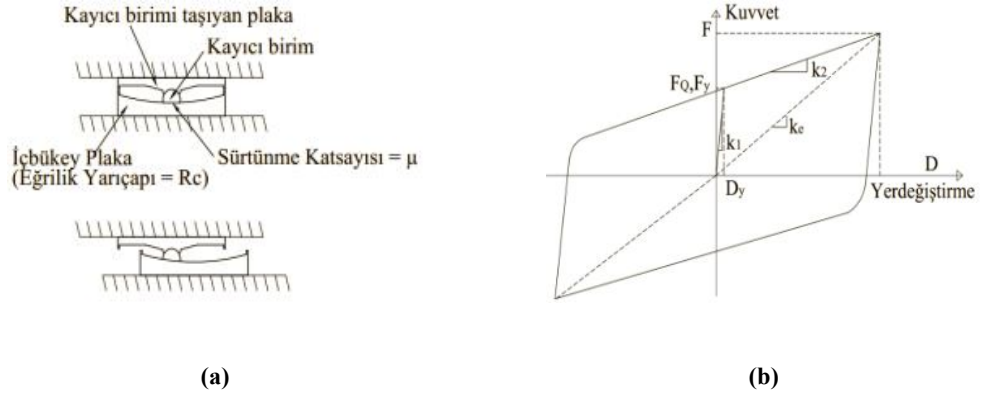
$$t_s \geq \frac{3t}{1.08 * F_y * \frac{A_r}{P_u} - 2} \quad (5.56)$$

Yukarıda maddeler halinde ifade edilen tüm tasarım ve kontrol aşamaları tamamlandıktan sonra, tez çalışması kapsamında kullanılacak LRB izolatörlerinin geometrisi ve teknik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen tasarım parametrelerine uygun olarak, Bölüm 5.2’de modellenen hiçbir düzensizlik türü içermeyen 3, 5, 7 ve 9 katlı ankastre mesnetli binalar ve %20 statik eksantrisite oranına sahip 5 katlı L kalıp planına sahip ankastre mesnetli binaların temel kotunda, her kolon elemanın altında bir adet olmak üzere izolatör elemanları yerleştirilmiştir. LRB tip izolatörlü modeller oluşturulurken, izolatör arayüzüne ait rijitlik merkezi (RM) ile üst yapıya ait kütle merkezi (KM) karşılaştırılmıştır. Böylece olası burulma etkilerinin oluşmasının engellendiği “e0-LRB” modelleri elde edilmiştir.

Simetrik binalarda, toplam yatay izolatör rijitliği korunarak, izolatörlerin dağılımı izolatör arayüzüne ait RM ile üst yapıya ait KM arasındaki mesafe, binanın plan görünümünde X doğrultusundaki boyutu dikkate alınarak %10 ve %20 olacak şekilde gerçekleştirilerek “e10-LRB” ve “e20-LRB” modelleri de ayrıca oluşturulmuştur. Bu modellerin dışında, simetrik binanın kullanım amacının sonradan değişmesi durumunda, üst yapıda rijitlik ve kütle merkezi kaynaklı düzensizlik oluşabileceği düşünülerek, %20 statik eksantrisiteye sahip LRB tip taban izolatörlü üst yapı modelleri de türetilmiştir. Bu modeller içinde üstyapıyı burulma davranışı açısından en çok zorlayan model seçilerek detaylı incelemesi yapılmıştır.

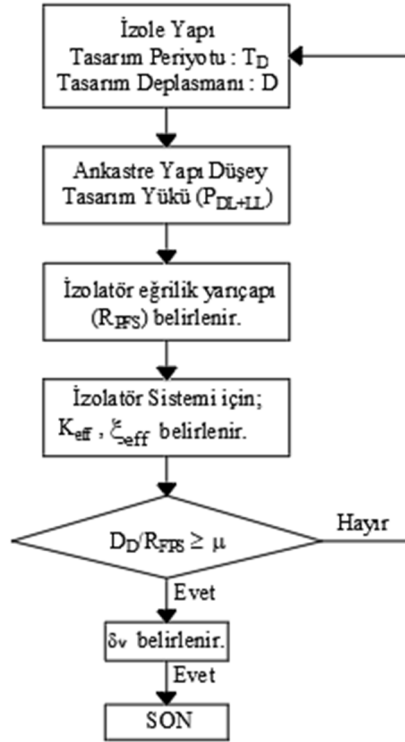
5.4.2 FPS İzolatörlü Modellerin Tasarımı

FPS tip izolatörlerin bileşenleri ve histeretik çevrimi Şekil 5.13’te verilmiştir. Tasarım aşamaları Tablo 5.7’de verilmiş ve (5.57)-(5.62) denklemleri ile yapılması gereken hesaplamalar sırasıyla özetlenmiştir:



Şekil 5.13: Eğri yüzeyli sürtünlü sarkaç tip izolatörlerin a) bileşenleri b) çevrim modeli.

Tablo 5.7: FPS izolatör tasarım adımları.



- 1) Sürtünlü sarkaç yatağı, desteklenen yapının, düz bir kayma yüzeyi yerine, bir küresel içbükey kayma yüzeyi kullanılarak orijinal konumuna geri dönmesini sağlar ve böylece yeniden merkezleme problemini ortadan kaldırır. Sürtünme sarkaç yatağı, yalıtılmış yapının sarkaca benzer bir şekilde titreşmesine izin verdiğinden, doğal bir titreşim periyodu (T_D) oluşur. Sürtünlü sarkaç tasarımı, önemli bir konu doğal periyodun (T_D) yeterince uzun olmasını sağlamaktır, böylece zeminden üst yapıya aktarılan kuvvetler büyük ölçüde azaltılabilir. Sürtünlü sarkaç sisteminin (FPS) izole yapısının periyodu (T_D), küresel kayma

yüzeyi için uygun bir eğrilik yarıçapı (R_{FPS}) seçimi ile denklem (5.57)'ye göre tasarlanabilir.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{R_{FPS}}{g}} \quad (5.57)$$

g yer çekimi ivmesidir.

- 2) FPS'nin periyodu, desteklenen yapının kütesinden bağımsızdır. Böyle bir özellik, izole edilmiş yapının tepkisinin kontrol edilmesinde FPS'nin bir avantajını temsil eder. İzbükey kayma yüzeyinin kullanılması nedeniyle, FPS, deprem yüklemesinden sonra, izole edilen yapı için orjinal pozisyonuna dönmek üzere bir yeniden merkezleme mekanizması sağlar. Kolon tabanındaki her bir FPS tarafından taşınan düşey yükün W olduğunu dikkate alırsak, FPS'nin etkin rijitliği denklem (5.58) kullanılarak hesaplanabilir:

$$K_{eff} = \frac{W}{R_{FPS}} + \frac{\mu W}{D_H} \quad (5.58)$$

K_{eff} = FPS'nin efektif rijitliği

W = Kolon tabanında her bir FPS tarafından taşınan düşey yük

μ = kayma yüzeyinin sürtünme katsayısıdır (Üretici firmadan alınır.)

D_H = Saha sınırlarının kısıtlanması nedeniyle, binanın tabandaki izin verilen yatay deplasmanı

Denklem (5.58)'de görüldüğü gibi FPS'nin etkin rijitliği, K_{eff} ; taşınan düşey yüke (W) bağlıdır, bu da tasarımcıların farklı sürekli yüklere sahip kolonlar için uygun izolasyon sistemlerini seçmelerini zorlaştırır.

- 3) İzolasyon sistemi tarafından sağlanan etkili sönümlenme oranı (ξ_{eff}), denklem (5.59)'daki gibi ifade edilebilen tasarım yer değiştirmesinin bir fonksiyonudur:

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} * \frac{\mu}{\mu + D_H/R_{FPS}} \quad (5.59)$$

- 4) Tasarım deplasmanı kontrolü denklem (5.60)'a göre yapılır.

$$D_D = 1.3 * \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) * T_D^2 * \eta_D * S_{ae}^{DD-2} * (T_D) \leq D_H \quad (5.60)$$

- 5) İzolatörün kavisli yüzeyinin neden olduğu, yapının düşey yer değiştirmesi δ_v , denklem (5.61)'e göre tahmin edilebilir:

$$\delta_v \cong \frac{D_H^2}{2R_{FPS}} \quad (5.61)$$

- 6) Düşey deplasmana (δ_v) göre disk derinliği (δ) seçilir ($\delta > \delta_v$ olacak şekilde).
 7) Yatay deplasmana (D_H) göre disk çapı(d) seçilir ($d > 2 D_H$ olacak şekilde) ve denklem (5.62) ile seçilen disk çapının uygunluğu kontrol edilir.

$$\frac{(d/2)^2}{2R_{FPS}} \geq \delta_v \quad (5.62)$$

- 8) Taban izolatörlü yapının orijinal konumuna geri dönmesini sağlamak için, deprem yükü altındaki yapının yatay yer değiştirmesi D , geri yükleme kuvvetinin F ($= W*D / R_{FPS}$), sürtünme kuvveti (μW) değerinden daha az olmaması gerekliliğini denklem (5.63) ile karşılanmalıdır:

$$\frac{D_H}{R_{FPS}} \geq \mu \quad (5.63)$$

Denklem (5.63), FPS türü izolatör ile izole edilmiş yapının yeniden merkezlenmesi için kontrol edilmesi gereken koşul olarak da ifade edilebilir.

- 9) Tasarım sonucu FPS izolatörü ile ilgili hesaplanan parametreler aşağıda özetlenmiştir.

→ Eğri yüzeyin eğrilik yarıçapı (R_{FPS})

→ Disk derinliği (δ)

→ Disk çapı (d)

- 10) İzolatör tasarımından sonra gerçekleştirilen modal analiz, statik itme analizi ve seçilen deprem kayıtları kullanılarak yapılan zaman tanım alanında dinamik analizler sonucunda aşağıdaki parametre değerleri elde edilmiştir.

- a) Modal analiz sonucunda x ve y doğrultularında T_{DpX} ve T_{DpY} periyotları elde edilmiştir.

- b) İzolasyon ara yüzündeki minimum taban kesme kuvveti (V_b) belirlenir (Denklem 5.64-5.66).

$$V_{b,1} = K_h * D_D = (\Sigma K_{eff}) * D_D \quad (5.64)$$

$$V_{b,2} = \frac{W_T}{g} * \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)^2 * D_D \quad (5.65)$$

$$V_b = \text{mak}(V_{b1}, V_{b2}) \quad (5.66)$$

- c) İzolasyon ara yüzünün üstündeki üst yapının deprem kuvveti (V_s) hesaplanır.

$$V_s = \frac{V_b}{R_I} \quad (5.67)$$

- d) Tasarım deprem kuvvetinin kat seviyelerindeki dağılımı hesaplanır.

$$F_x = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^N w_i h_i} V_s \quad (5.68)$$

Yukarıda maddeler halinde ifade edilen tüm tasarım ve kontrol aşamaları tamamlandıktan sonra, tez çalışması kapsamında kullanılacak FPS izolatörlerinin geometrisi ve teknik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen tasarım parametrelerine uygun olarak, Bölüm 5.2’de modellenen hiçbir düzensizlik türü içermeyen 3, 5, 7 ve 9 katlı ankastre mesnetli binalar ve %20 statik eksantrisite oranına sahip 5 katlı L kalıp planına sahip ankastre mesnetli binaların temel kotunda, her kolon elemanın altında bir adet olmak üzere izolatör elemanları yerleştirilmiştir. FPS tip izolatörlü modeller oluşturulurken, izolatör arayüzüne ait rijitlik merkezi (RM) ile üst yapıya ait kütle merkezi (KM) çakıştırılmıştır. Böylece olası burulma etkilerinin oluşmasının engellendiği “e0-FPS” modelleri elde edilmiştir.

Simetrik binalarda, toplam yatay izolatör rijitliği korunarak, izolatörlerin dağılımı izolatör arayüzüne ait RM ile üst yapıya ait KM arasındaki mesafe, binanın plan görünümünde X doğrultusundaki boyutu dikkate alınarak %10 ve %20 olacak şekilde gerçekleştirilerek “e10-FPS” ve “e20-FPS” modelleri de ayrıca oluşturulmuştur. Bu modellerin dışında, simetrik binanın kullanım amacının sonradan değişmesi durumunda, üst yapıda rijitlik ve kütle merkezi kaynaklı düzensizlik oluşabileceği düşünülerek, %20 statik eksantrisiteye sahip FPS tip taban izolatörlü üst

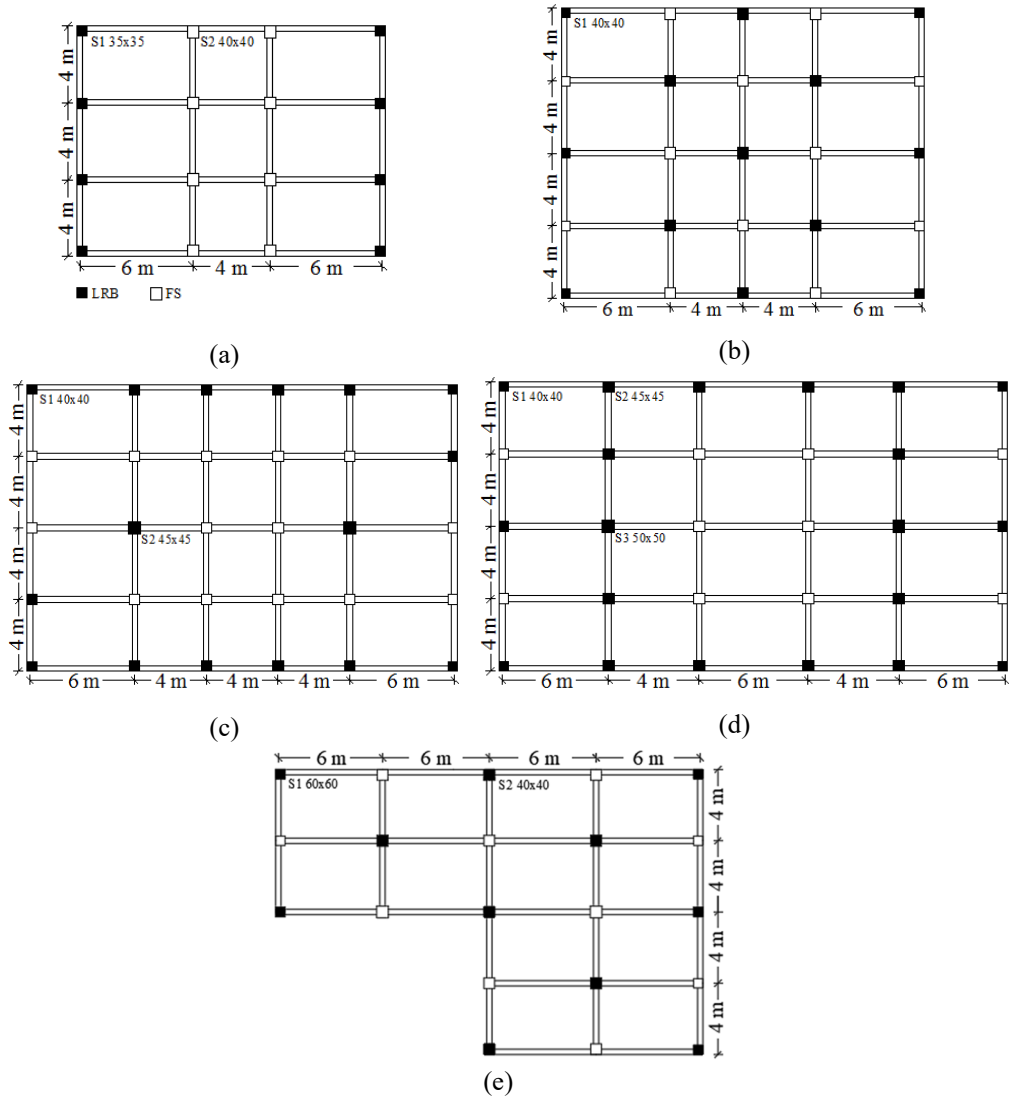
yapı modelleri de türetilmiştir. Bu modeller içinde üstyapıyı burulma davranışı açısından en çok zorlayan model seçilerek detaylı incelemesi yapılmıştır.

5.4.3 Combo İzolatörlü Modellerin Tasarımı

LRB ve FS tip izolatörlerin birlikte kullanıldığı Combo modellerin tasarımında kullanılan LRB izolatörlerine ait tasarım parametreleri, sadece LRB izolatörlerin kullanıldığı modelde kullanılan izolatörler ile aynıdır. Combo modelde kullanılan FS izolatörlerde ise, sadece FPS tip izolatörlerin kullanıldığı modeldeki izolatörler ile aynı sürtünme katsayısına sahip olan, akma sonrası rijitliği sıfır ve eğrilik yarıçapı sonsuz olan düz kaydırıcı izolatörler kullanılmıştır. Farklı izolatör türlerinin bir arada kullanıldığı Combo modellerin tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken husus, hangi izolatör türünden ne oranda ve hangi lokasyonda kullanılacağı konusudur (Şekil 5.14). Bu aşama, çalışma kapsamında iteratif olarak deneme yanılma yoluyla elde edilmiştir.

Farklı türdeki izolatörlerin bir arada kullanıldığı modellerde hangi izolatör türünden ne oranda kullanılması gerektiği hala araştırmaların konusudur. Bu nedenle bu konu hakkında pek çok fikir ayrılıkları mevcuttur. Örneğin Yeni Zelanda'da düz kayar (FS) izolatörlerin oranının bazı uygulamalarda bina ağırlığının üçte ikisini destekleyecek kadar yüksek olduğu görülmektedir. Yüksek yer değiştirme seviyesindeki kauçuk izolatör düşey yük taşıma kapasitesini düşürdüğü için, büyük çekme etkisinde kalan perde veya birbirine yakın konumda bulunan kolon elemanların alt uçlarında FS tip izolatörlerin kullanımı tercih edilmektedir. Bu tercih, genel sistem rijitliğini yönetilebilir bir seviyede tutmak için yapıldığının kanıtı olarak kabul edilir (Whittaker 2016). Öte yandan, kurşun-kauçuk yatak sistemlerinde akma sonrası (kauçuk) rijitliği kontrol etmek için düz kaydırıcıların kullanımı, potansiyel bir endişe kaynağıdır. Uluslararası uygulamalar, üst yapı ağırlığının sadece küçük bir kısmının düz kayar izolatörlerde desteklenmesine izin veriyor gibi görünmektedir. Yeni Zelanda'da yüksek oranda düz kayar izolatör kullanımının kabul edilebilir bir uygulama haline geldiği temelde belirsizdir. Sistemin genel elastik rijitliğini yönetmek için düz kayar izolatörlerin kullanıldığı yerlerde, tasarımcılar her bir rulman tipini

nereye yerleştireceklerine karar vermelidir. Çünkü izolatörlerin dağılımı, sistemin burulma davranışı açısından düzensizliğe sebep olabilir.



Şekil 5.14: Combo modeller için izolatör lokasyonları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı, e)5 katlı (L bina).

Bu çalışmada, FS izolatörleri her iki yönde baskın titreşim modunda burulma davranışı oluşmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Ayrıca, Combo modele ait periyot değerinin, ankastre mesnetli geleneksel modelin periyot değerinden en az 3 kat büyük olma şartı ile FS izolatörlerin maksimum hangi oranda kullanılması gerektiğinin sınır değeri oluşmuştur. Çünkü FS tip izolatörler, yapının doğal periyotunu arttırmazlar.

Yukarıda ifade edilen tüm tasarım ve kontrol aşamaları tamamlandıktan sonra, tez çalışması kapsamında kullanılacak Combo izolatörlerinin geometrisi ve teknik

özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen tasarım parametrelerine uygun olarak, Bölüm 5.2’de modellenen hiçbir düzensizlik türü içermeyen 3, 5, 7 ve 9 katlı ankastre mesnetli binalar ve %20 statik eksantirisite oranına sahip 5 katlı L kalıp planına sahip ankastre mesnetli binaların temel kotunda, her kolon elemanın altında bir adet olmak üzere izolator elemanları yerleştirilmiştir. Combo tip izolatorlu modeller oluşturulurken, izolator arayüzüne ait rijitlik merkezi (RM) ile üst yapıya ait kütle merkezi (KM) karşılaştırılmıştır. Böylece olası burulma etkilerinin oluşmasının engellendiği “e0-Combo” modelleri elde edilmiştir.

Tablo 5.8: Modellere ait periyot değerleri.

Model	3 kat			5 kat			7 kat			9 kat			5 kat (L Bina)			
	T _x	T _y	T _z	T _x	T _y	T _z	T _x	T _y	T _z	T _x	T _y	T _z	T _x	T _y	T _z	
Ankastre	0.51	0.48	0.47	0.87	0.82	0.78	1.15	1.12	1.05	1.33	1.18	1.16	0.84	0.75	0.68	
e0	LRB	3.53	3.52	3.31	3.34	3.32	3.16	3.90	3.88	3.71	5.21	5.18	4.87	-	-	-
	FPS	3.17	3.03	2.39	3.03	2.94	2.37	4.70	4.27	3.28	3.65	5.90	4.67	-	-	-
	Combo	2.38	3.68	2.78	2.75	2.67	2.25	3.77	3.35	2.98	4.95	4.02	3.55	-	-	-
e10	LRB	3.18	3.52	2.79	2.75	2.67	2.25	4.84	5.56	4.24	6.37	7.12	5.49	-	-	-
	FPS	2.41	2.95	2.23	2.42	3.73	2.80	4.05	3.62	2.97	5.17	4.14	3.61	-	-	-
	Combo	3.18	2.72	2.46	3.01	4.65	3.78	3.50	7.11	4.96	4.04	7.36	4.96	-	-	-
e20	LRB	2.35	2.98	1.95	3.26	4.03	2.77	3.19	4.23	2.62	5.62	4.43	7.77	3.21	4.10	2.65
	FPS	2.01	2.58	1.69	2.32	3.60	2.54	2.58	3.21	2.95	4.52	3.61	3.70	2.45	3.47	2.80
	Combo	2.23	2.59	1.90	3.03	4.64	3.92	3.15	4.81	4.32	3.84	4.17	7.40	3.11	4.73	4.16

Tablo 5.9: İzolatörlü modellerin tasarım parametreleri.

Parametre	Birim	3-katlı	5- katlı	7- katlı	9- katlı	5- katlı - L Bina
		LRB	LRB	LRB	LRB	LRB
P _{DL+LL}	kN	320	682	870	1327	682
d _p	mm	43	67	70	71	67
d	m	0.40	0.55	0.60	0.70	0.55
t _r	m	0.65	0.65	0.75	1.00	0.65
k _v	kN/m	98399	186035	192520	440057	186035
k _e	kN/m	143	305	294	252	305
k ₂	kN/m	98	209	202	173	209
F _y	kN	14.7	31.3	34.2	39.7	31.3
k ₂ /k ₁	-	0.69	0.54	0.50	0.46	0.54
ξ _{eff}	-	0.15	0.20	0.22	0.25	0.20
D _{max}	m	0.35	0.40	0.40	0.45	0.40

Parametre	Birim	3-katlı	5- katlı	7- katlı	9- katlı	5- katlı - L Bina
		FPS	FPS	FPS	FPS	FPS
P _{DL+LL}	kN	320	682	870	1327	682
k _e	kN/m	99	445	622	676	445
k ₂	kN/m	76	99	85	124	99
μ	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
R	m	2.24	2.24	3.05	4.24	2.24
ξ _{eff}	-	0.20	0.24	0.27	0.29	0.24
D _{max}	m	0.35	0.40	0.40	0.45	0.40

Parametre	Birim	3-katlı	5- katlı	7- katlı	9- katlı	5- katlı - L Bina
		FS	FS	FS	FS	FS
P _{DL+LL}	kN	320	682	870	1327	682
k _e	kN/m	10E+10	10E+10	10E+10	10E+10	10E+10
k ₂	kN/m	0	0	0	0	0
μ	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
R	m	∞	∞	∞	∞	∞
D _{max}	m	0.35	0.40	0.40	0.45	0.40

Simetrik binalarda, toplam yatay izolatör rijitliği korunarak, izolatörlerin dağılımı izolatör arayüzüne ait RM ile üst yapıya ait KM arasındaki mesafe, binanın plan görünümünde X doğrultusundaki boyutu dikkate alınarak %10 ve %20 olacak şekilde gerçekleştirilerek “e10-Combo” ve “e20-Combo” modelleri de ayrıca oluşturulmuştur.

Oluşturulan ankastre mesnetli ve taban izolatörlü tüm modellere ait periyot değerleri Tablo 5.8’de ve taban izolatörlü modellerin tasarım parametreleri ise Tablo 5.9’da sırasıyla verilmiştir. 5 katlı L bina modelinde, 5 katlı düzenli yapıya göre eksenel yük oranında önemli bir değişiklik olmadığı için aynı tasarım parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 5.10: Tez kapsamında modellenen binalar.

Kat Sayısı	Mesnet	Düzensizlik Türü/Nedeni/Eksantrisite Oranı
3, 5, 7, 9	Ankastre	-/-/0
	LRB	-/-/0
		i / RM / 10
		i / RM / 20
b / KM / 20		
FPS	b / RM / 20	
	-/-/0	
	i / RM / 10	
	i / RM / 20	
Combo	b / KM / 20	
	b / RM / 20	
	-/-/0	
	i / RM / 10	
5 kat L Bina	i / RM / 20	
	b / RM / 20	
	Ankastre	b / RM / 20
	LRB	b / RM / 20
FPS	b / RM / 20	
Combo	b / RM / 20	

Tez kapsamında, TBDY-2018’e göre modellenmiş toplam 60 mevcut binaya, 11 ivme kayıt takımı kullanılarak 1320 adet 3B çerçeve sisteme ait zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modeller Tablo 5.10’da özetlenmiştir. Düzensizlik izolatör arayüzünde ise “i”, bina da ise “b”, rijitlik merkezinden kaynaklanıyorsa “RM”, kütle merkezinden kaynaklanıyorsa “KM”, eksantrisite oranı ise yüzde olarak ilgili modele göre 0, 10

veya 20 ile ifade edilmiştir. Tezin bu bölümünde son olarak 3B çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan analizi hakkında bilgilere yer verilmiştir.

5.5 Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz

Taban izolatörlü modellerin TBDY-2018'e göre analiz edilmesinde önerilen üç analiz türü vardır. Bunlar Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (EDYY), Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (ZTA)'dir. Literatür incelendiğinde en gerçekçi sonuçlar ZTA ile elde edilse de özellikle taban izolatörlü sistemlerin ön tasarım aşamasında EDYY ile tasarımının yapılması önerilmektedir. Çünkü ZTA ile elde edilecek maksimum izolatör deplasmanı ve taban kesme kuvveti gibi tasarım parametreleri yaklaşık %80 oranındaki bir doğrulukla EDYY ile elde edilebilmektedir. EDYY ile ciddi oranda kısalan iteratif süreç, tasarımcıya büyük kolaylık sağlamaktadır. Ancak bu analiz türlerinin seçilip uygulanabilmesi için çeşitli kısıtlamalar mevcuttur. Tez kapsamında kullanılan izolatörlü modellerin ZC zemin sınıfı üzerinde olması ve üstyapıda herhangi bir düzensizlik türünün bulunmaması EDYY'nin uygulanabilmesi için gerekli birtakım kriterleri sağlasa da bazı modellerin periyot değerinin 4.0 sn.'den küçük olmaması, kat sayısının 4'ten fazla olması, izolatör arayüzü üstünde bina yüksekliğinin 20 m'den büyük olması, bu yöntemin tez çalışması kapsamında kullanılan modeller için geçerliliğini yitirmesine neden olmuştur. Bu nedenle tüm modeller için seçilip uygulanan yöntem ZTA dinamik analiz yöntemi olmuştur.

Zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi, bir yapının tepkisinin zamana bağlı değişen deprem yüklemesi altında adım adım elde edilmesi işlemidir. Zaman tanım alanında analiz, yapıda kullanılan malzeme ve kesitlerin tanımlamasında, doğrusal olmayan davranışın dikkate alınıp alınmamasına bağlı olarak doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analiz olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Tez kapsamında kullanılan modellerin hem taşıyıcı sistem elemanları hem de izolatör sistemleri doğrusal elastik olmayan davranışa sahip olduğu için, zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır.

Doğrusal olmayan dinamik analizlerin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle ankastre mesnetli modellerin modal analizi yapılarak modellere ait serbest titreşim

periyotları elde edilmiştir. Genel hareket denkleminde göre belirlenen yapı tepkisini, en doğru şekilde temsil edebilmek için yapıya ait sönüm oranının gerçeğe en yakın haliyle tanımlanması büyük önem arz etmektedir. Chopra yaptığı çalışmada genel hareket denkleminde bulunan sönüm matrisinin sönüm oranına göre belirlenmesi gerektiğini ifade etmiştir (Chopra 1995). Literatürde (Pant ve diğ. 2013, Wang 2015, Spears ve Jensen 2012) sıkça kullanılan ve yapıya eşit bir şekilde dağıldığı varsayılan sönüm mekanizması olan Rayleigh sönümü %5 olarak ankastre mesnetli modellerin dinamik analizinde kullanılmıştır. Taban izolatörlü modellerde ise yine Rayleigh sönümü tercih edilmiş ancak ilk 3 modun katkısı sıfır olarak dikkate alınmıştır. Bunun sebebi izolatör sistemlerinin yapının mod şeklini değiştirmesi ve sistemdeki sönümün izolatör sistemleriyle karşılanmasıdır. İzolatörlü modellerde sönüm, histeresis eğrisinin deprem yüklemesi etkisindeki çevrimiyle oluşur ve izolatör sistemiyle karşılanan sönümün modal sönümle çakışmasını engellemek için yapının ilk 3 modu için sönüm oranı sıfır olarak dikkate alınır (Giammona vd., 2015). Yapının kendine ait %5 sönüm yeteneği ihmal edildiği için analizler sonucunda elde edilen görece ötelenme ve ivme talepleri gerçek değerinden bir miktar daha yüksek hesaplanmış olur (Özpalanlar 2004). Bu ise daha güvenli tarafta tasarım yapmamızı sağlar.

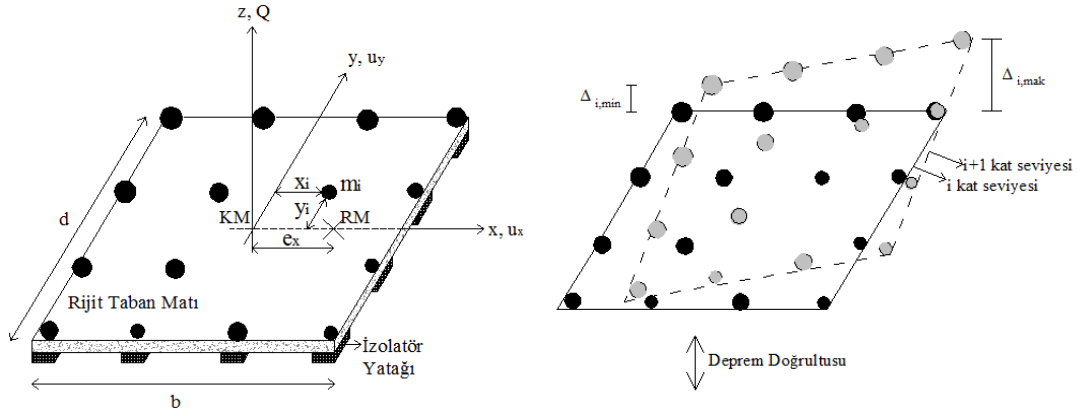
Sönüm seviyeleri farklı sistemlerden oluşan çok serbestlik dereceli yapılar için literatürde en çok tavsiye edilen ve kullanılan sayısal çözüm yöntemi doğrudan entegrasyondur. Doğrudan entegrasyonun ise kendi içinde zaman entegrasyonuna göre Newmark (1959), Hilber ve diğ. (1977), Wilson ve diğ. (1972) ve Chung ve Hulbert (1993) gibi farklı yöntemleri mevcuttur. Yapılan tez çalışmasında Newmark Ortalama İvme Metodu (NOİM) sayısal çözüm algoritması kullanılmıştır. Bu metotta deprem kayıt ivmesinin her bir adımdaki değişimi β ve γ katsayıları ile tanımlanmaktadır. Bu katsayılar için literatürde Chopra (2013)'ün yaptığı çalışma incelendiğinde, en doğru yaklaşımla çözümlerin $\gamma=0.5$ ve $0.16 \leq \beta \leq 0.25$ değerlerinde gerçekleştiğini belirtmiştir. Bu nedenle binaların doğrusal olmayan dinamik analizlerinde NOİM için $\gamma=0.5$ ve $\beta=0.25$ olarak dikkate alınmıştır.

Yapılan dinamik analizlerin sonucunda deplasman, görece ötelenme, ivme, taban kesme kuvveti, burulma katsayısı ve histeresis çevrimler elde edilerek yapı ve izolatör sistemleri açısından değerlendirmeleri yapılmıştır.

5.6 Burulma Davranışının Değerlendirilmesi

Taban izolasyon sistemindeki yapı, Şekil 5.15'te gösterildiği gibi, kütlelerin karşılık gelen kolon lokasyonlarında toplandığı rijit bir platform olarak idealize edilmiştir. Rijit diyafram davranışına sahip olduğu düşünülen taban katı, aksel olarak uzayamayan kütsüz izolatörler ile desteklenmektedir. İzolatör sisteminin rijitlik merkezi (RM), genellikle üst yapının kütle merkezi (KM) ile çakışmaz. Bu durum kuvvet kolu, RM ve KM arasındaki mesafeye eşit olacak şekilde, deprem kuvveti nedeniyle burulma momentine neden olur. Sonuç olarak, sistemin yanal hareketi burulma hareketi ile birleştirilir. Burulma etkisi her iki yatay doğrultuda da meydana gelir. Ancak Bölüm 5.2'de modellenen ankastre mesnetli binaların x yönü burulma etkilerine karşı daha zayıf olduğundan, izolatör arayüzünde tek yönlü bir eksantrisite oluşturularak (x yönünde (e_x)), sistemin en kritik yönündeki eksantrisitesi (e_x) ele alınmıştır.

TBDY-2018 (TBDY 2018) ve diğer tüm benzer sismik kodlar (ATC-40 1996; FEMA-356 2000) binaların deprem davranışı üzerinde olumsuz etkisi olan plandaki burulma düzensizliğinden, yapıların tasarım ve imalat aşamasında kaçınılması gerektiğini belirtir. TBDY-2018'deki burulma davranışı tanımı Şekil 5.15'te gösterilmektedir. TBDY-2018'e (TBDY 2018) göre, denklem (5.63)'te tanımlandığı gibi düzensizlik katsayısı (η_{bi}) 1,2'den büyükse, yapıda burulma düzensizliği meydana gelir. Denklem (5.63)'te belirtilen $\Delta_{i, mak}$ ve $\Delta_{i, min}$ i. kat düzeyindeki maksimum ve minimum görelî kat yer değıştirmeleridir. Ortalama görelî kat yer değıştirmesi, Denklem (5.64)'te verildiğı gibi hesaplanır. TBDY-2018'de (TBDY 2018) üst yapılar için burulma düzensizliğı konusunda kısıtlamalar olsa da tabandan izole edilmiş sistemlerin tasarımında sadece deplasman talepleri eksantrisite oranı dikkate alınarak bir miktar büyütölmektedir. Deplasman talebinde güvenli tarafta kalmayı sağlayan bu parametrenin dışında herhangi bir kontrol parametresi veya kısıt söz konusu değıildir.



Şekil 5.15: Burulma düzensizliği durumu (TBDY 2018).

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{mak}}{(\Delta_i)_{ortalamae}} > 1.2 \quad (5.63)$$

$$(\Delta_i)_{ortalama} = \frac{(\Delta_i)_{mak} - (\Delta_i)_{min}}{2} \quad (5.64)$$

Tez çalışması kapsamında binaların burulma davranışı incelenirken, kullanılan deprem kayıtlarının her anında burulma katsayıları hesaplanmıştır ve maksimum görelî kat ötelenme oranı oluştuğu andaki burulma katsayıları dikkate alınmıştır.

6. GELENEKSEL VE TABAN İZOLATÖRLÜ MODELLERİN DEPREM DAVRANIŞI

Tezin bu bölümünde hiçbir düzensizlik türü olmayan ankastre mesnetli ve taban izolatörlü modellerin deprem performansı karşılaştırılmıştır. Seçilen ivme kayıtlarının (11x2 adet) yatay bileşenleri aynı anda her iki asal eksen doğrultusunda 3, 5, 7 ve 9 katlı ankastre mesnetli, e0-LRB, e0-FPS ve e0-Combo (LRB+FS) taban izolatörlü 3B modellerine (4x4 adet) etki ettirilerek, toplam 352 adet ZTA doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır.

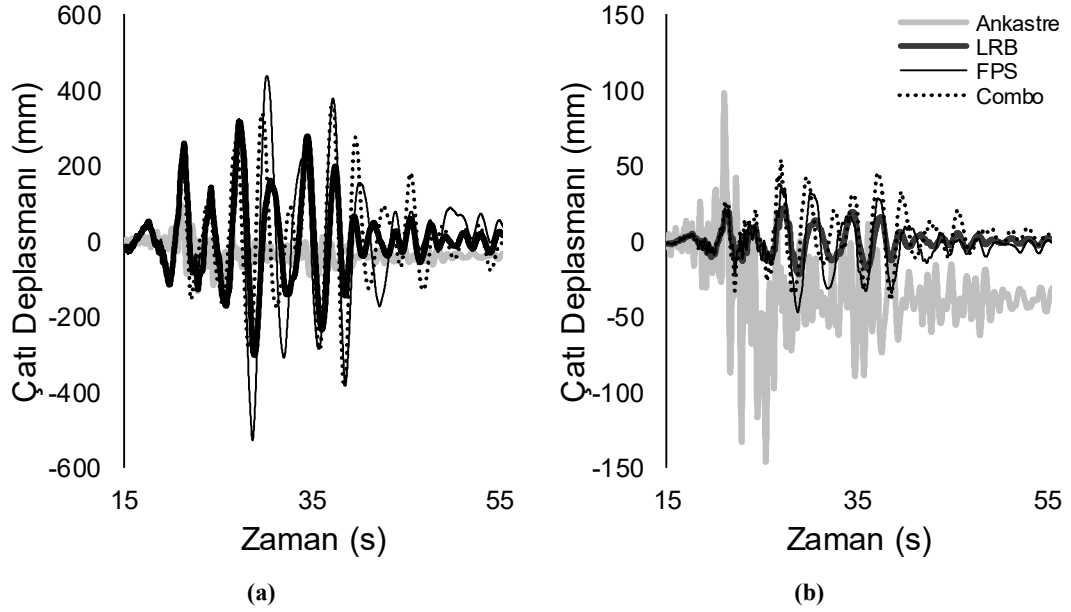
Elde edilen mutlak değerce maksimum çatı deplasmanı bina yüksekliği ile normalize edilerek çatı ötelenme oranı (ÇÖÖ), katlar arası görelî ötelenmeler kat yüksekliği ile normalize edilerek görelî kat ötelenme oranları (GKÖÖ) ve maksimum taban kesme kuvveti bina ağırlığı ile normalize edilerek taban kesme katsayısı (TKK) elde edilmiştir.

6.1 Çatı Deplasman Taleplerinin Karşılaştırılması

Ankastre mesnetli ve taban izolatörlü modellerin çatı deplasmanları tüm deprem kayıtları için karşılaştırılmıştır. Taban izolatörlü bir sistemin çatı deplasmanı, izolatör arayüzünün yaptığı deplasman ile üst yapı deplasman taleplerinin toplamından oluşur. Sisteme etkiyen deprem taleplerinin büyük bir kısmı izolatör arayüzünde sönmülenererek, binaya aktarılan talepler önemli ölçüde azaltılmış olur. Bu nedenle taban izolatörlü sistemlerde üst yapıya aktarılan taleplerin hesaplanabilmesi için, toplam çatı deplasmanından, izolatör arayüzünün deplasmanı çıkartılmalıdır. Dolayısıyla izolatörlü bir sistemin deplasman taleplerini sadece yere göre veya sadece izolatör arayüzüne göre değerlendirmek yanıltıcı olabilmektedir.

Ankastre mesnetli ve taban izolatörlü modellerin çatı deplasmanlarının deprem süresi boyunca yere göre ve izolatör arayüzüne göre x doğrultusundaki değişimi, 5 katlı modellerin RSN-5815 kaydı için Şekil 6.1’de örnek olarak verilmiştir. Çatı deplasman talepleri yere göre incelendiğinde taban izolatörlü modellerin, ankastre mesnetli modele göre deplasman taleplerinin oldukça büyük olduğunu söylemek

mümkündür (Şekil 6.1a). Ancak bu farkın asıl sebebi izolatör arayüzünün yaptığı deplasmandır. Modellerin izolatör arayüzüne göre çatı deplasmanları incelendiğinde, izolatörlü modellerin çatı deplasmanlarının ankastre mesnetli modele göre ciddi oranda düştüğü görülür (Şekil 6.1b). Ayrıca ankastre mesnetli modelde kalıcı deformasyonların, taban izolatörlü modellere göre oldukça yüksek olduğunu Şekil 6.1b'ye bakarak söylemek mümkündür.



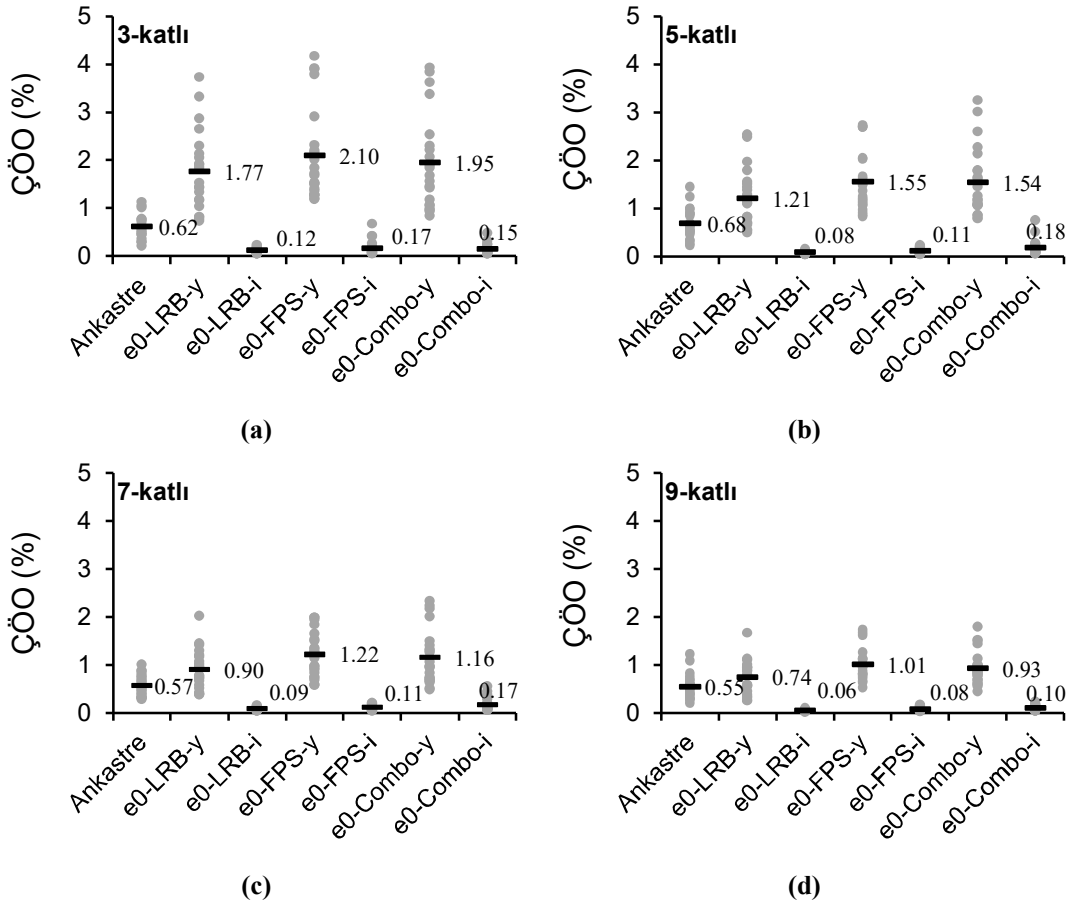
Şekil 6.1: 5 katlı modellerin RSN-5815 kaydı için çatı deplasman taleplerinin a) yere göre, b) izolatör arayüzüne göre zamanla değişimi.

Doğrusal olmayan ZTA'da izole edilmiş yapıların izolatör ve çatı yer değiştirmeleri TBDY-2018'de ifade edildiği gibi, her bir zaman adımında her iki yatay doğrultudaki yer değiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü (SRSS) alınarak hesaplanmıştır. Daha sonra bu değerlerin en büyükleri alınarak, tüm ivme kayıt çiftleri için maksimum izolatör ve çatı yer değiştirmeleri elde edilmiştir. Deprem kayıtları için elde edilen maksimum deplasmanlar kullanılarak, ortalama izolatör ve çatı deplasman talepleri hesaplanmıştır.

Kat yüksekliğinden bağımsız olarak mutlak değerce maksimum deplasman taleplerinin değerlendirilebilmesi için, tüm deprem kayıtlarında maksimum deplasman talepleri bina yüksekliği ile normalize edilerek hesaplanan ÇÖÖ'ları Şekil 6.2'de verilmiştir. Taban izolatörlü modellerin ÇÖÖ'ları yere göre "-y"; izolatör arayüzüne

göre “-i” ile belirtilmiştir. Maksimum ÇÖÖ’larına ait ortalama talepler ise şekil üzerinde sayısal olarak ayrıca ifade edilmiştir.

Maksimum çatı ötelenme talepleri ortalama değerler açısından değerlendirildiğinde taban izolatörlü tüm modellerin yere göre ÇÖÖ’ları ankastre mesnetli modelden büyük olarak hesaplanırken, izolatör arayüzüne göre durum tam tersidir. Örneğin, ankastre mesnetli bir modelin ortalama maksimum ÇÖÖ, 5 katlı modelde %0.68 olarak hesaplandığında, taban izolatörlü modellerin yere göre ortalama maksimum ÇÖÖ %1.55 olarak, izolatör arayüzüne göre ise maksimum %0.11 olarak hesaplanmıştır.

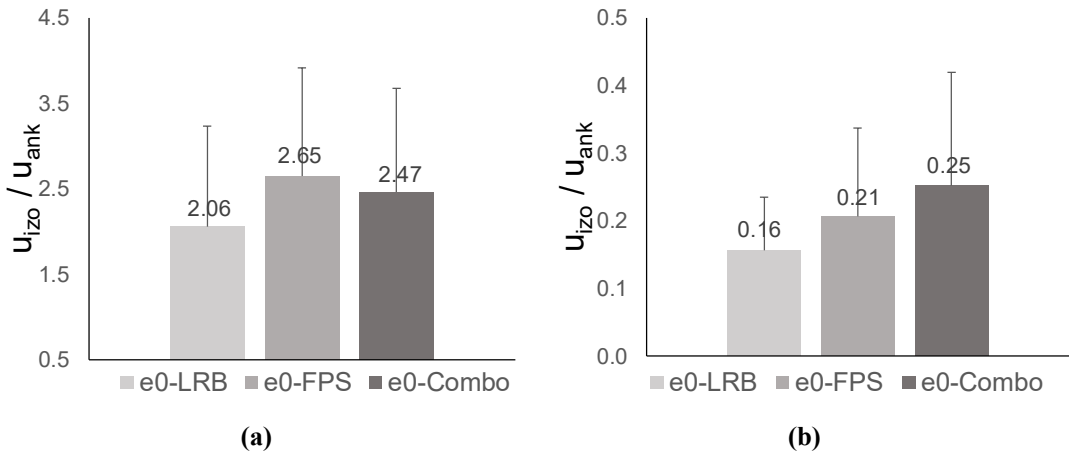


Şekil 6.2: Modeller için hesaplanan çatı ötelenme oranları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.

Kullanılan izolatör türüne göre bir değerlendirme yapıldığında yere göre en büyük ÇÖÖ’ları FPS tip izolatörün kullanıldığı modellerde hesaplanırken, izolatör arayüzüne göre en büyük ÇÖÖ’ları genellikle Combo tip izolatörlü modellerde hesaplanmıştır. Bu durumun nedeni, Combo izolatörlü modellerde kullanılan FS tip izolatörlerin geri çağırıcı kuvvet üretmemesi ve bu modellerde kullanılan LRB tip

izolatörlerin ürettiği geri çağırıcı kuvvetin yetersiz kalması olarak görülmüştür. Sadece LRB tip izolatörün kullanıldığı modellerde ise tüm modeller içinde en düşük ÇÖÖ'ları hesaplanmıştır.

Taban izolatörlü modeller için hesaplanan ortalama ÇÖÖ'ları birbirine yakın bir bant aralığındadır. Ancak analiz sonuçları tek tek incelenecek olursa, yer değiştirme taleplerinde, ivme kayıtlarının özelliklerine göre önemli bir dağılımın olduğu görülmektedir. Önceki çalışmalara benzer şekilde, birkaç yer hareketi kaydının frekans içeriğinin taban izolatörlü sistemin dinamik tepkisini etkilediğini söylemek mümkündür (Güner 2012; Matsagar ve Jangid 2010; Tena-Colunga ve Zambrana-Rojas 2006).

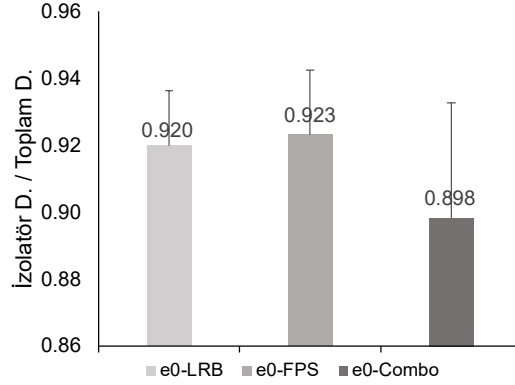


Şekil 6.3: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modellere göre maksimum deplasman talepleri oranı a)yere göre, b) izolatör arayüzüne göre.

Taban izolatörlü modellerin maksimum tepe deplasman taleplerinin ankastre mesnetli modellerin maksimum tepe deplasman taleplerine oranları (u_{izo}/u_{ank}) da Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Taban izolatörlü modellerde çatı katında yere göre hesaplanan ortalama maksimum yer değiştirme talepleri, ankastre mesnetli modele göre en az 2.06 kat artarken (LRB modellerinde), standart sapmalar dikkate alındığında FPS tipi modellerde bu artışın 3.91 kata kadar çıktığı söylemek mümkündür (Şekil 6.3a). Bununla birlikte, izolatör arayüzünde sönuümlendikten sonra üst yapıya aktarılan deplasman talepleri ankastre mesnetli modelin maksimum deplasman talebine oranlandığında, en fazla % 25 olarak Combo tipi izolatörlü modellerde ve en az % 16 olarak LRB tipi izolatörlü modellerde hesaplanmıştır (Şekil 6.3b). Ayrıca standart sapmaların en büyük ortalama sahip olan Combo tip izolatörlü modellerde en fazla,

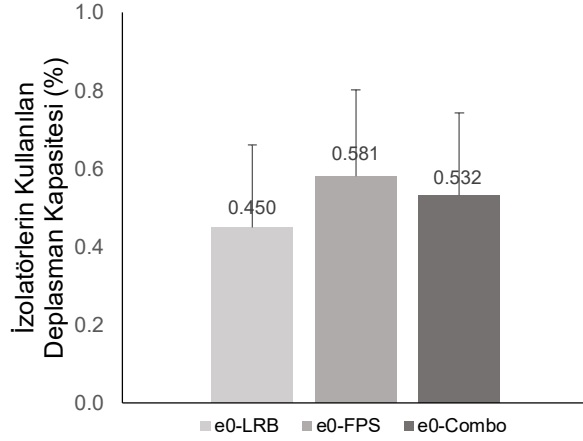
en düşük ortalamaya sahip olan LRB tip izolatörlü modellerde en az olduğu belirlenmiştir.

İzolatörün maksimum yer değiştirmesinin binanın toplam yer değiştirmesine oranı Şekil 6.4'te verilmiştir. Talep oranları tüm modellerde benzer bir eğilim gösterdiği için 3, 5, 7 ve 9 katlı modeller birlikte değerlendirilmiştir. İzolatör türüne bakılmaksızın, yer değiştirme taleplerinin %89'undan fazlası izolatör sistemi tarafından karşılanmıştır. Taban izolasyon sisteminin, seçilen ivme kayıtları kullanılarak yapılan ZTA dinamik analizlerin sonucunda, üst yapı deplasman taleplerini önemli ölçüde azalttığını söylemek mümkündür. Ayrıca toplam izolatör rijitlik değerlerinin, izolatör yer değiştirme talepleri üzerinde çok sınırlı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 6.4: İzolatör deplasmanının toplam deplasmana oranı.

İzolatör deplasman kapasitesinin ortalama kullanım oranı Şekil 6.5'te verilmiştir. Kullanılan izolatör kapasiteleri LRB, FPS ve Combo tipi izolatörler için sırasıyla % 45.0, % 58.1 ve % 53.2 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, aynı tasarım yer değiştirme değerine göre modellenen izolatörlerden kapasite kullanım oranı en yüksek ve en düşük olan izolatör türleri sırasıyla, eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç (FPS) ve kurşun dolgululu kauçuk (LRB) tip izolatörler olduğunu açıkça göstermektedir. Sonuçlar ayrı ayrı incelendiğinde, bazı yer hareketi kayıtları için kapasite kullanım oranının FPS tipi izolatörlerde % 80'e yaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle, ortalama değerlere dayalı bir değerlendirme yapmak yanıltıcı olabilmektedir.



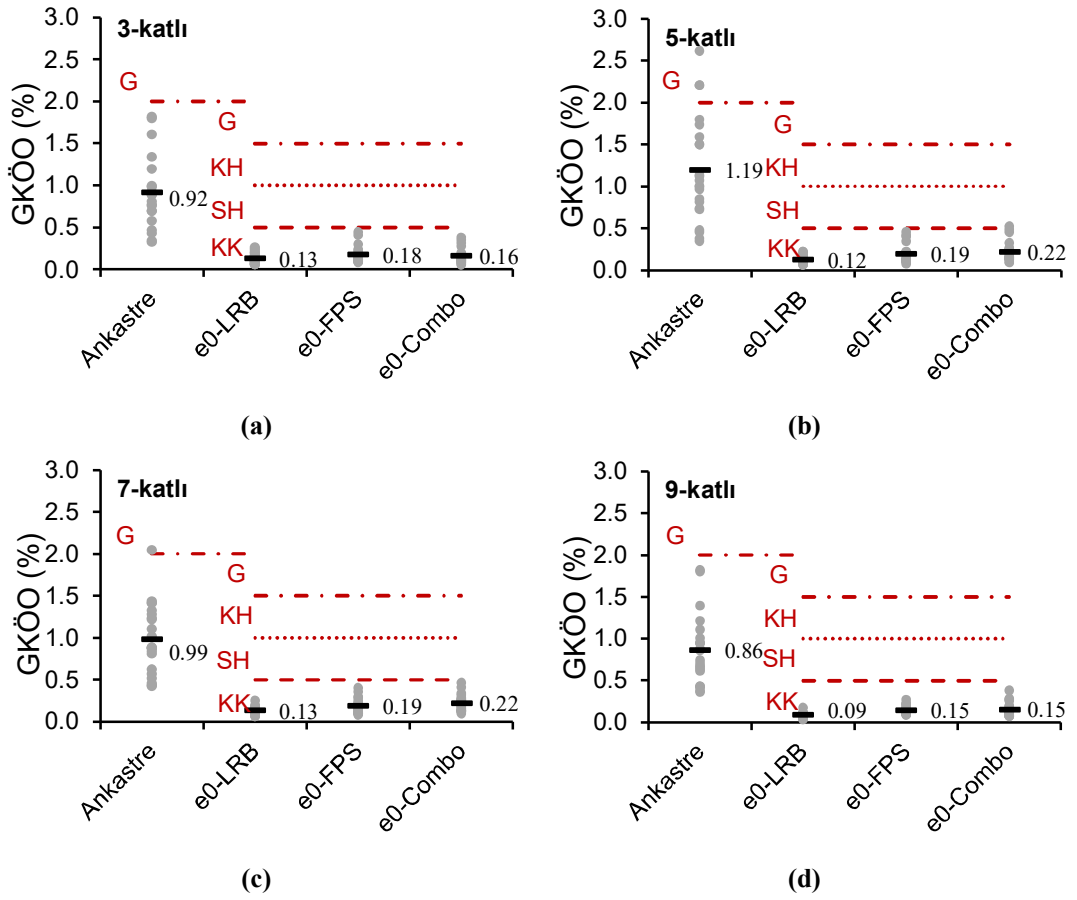
Şekil 6.5: İzolatör türüne göre kullanılan deplasman kapasiteleri.

6.2 Görelî Ötelenme Taleplerinin Karşılaştırılması

Katlar arası görelî ötelenme oranlarının (GKÖÖ) değerlendirilmesi, üstyapı talebinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Şekil 6.6'da ankastre mesnetli ve hiçbir düzensizlik içermeyen taban izolatörlü binaların maksimum GKÖÖ'ları karşılaştırılmıştır. Genel bir değerlendirme yapabilmek için her deprem kaydında elde edilen maksimum GKÖÖ ile hesaplanan ortalama değerler şekil üzerinde ayrıca belirtilmiştir. Şekil 6.6'da ifade edilen bir diğer parametre, TBDY-2018'e (TBDY 2018) göre ankastre mesnetli binalar için %2 GKÖÖ için göçme (G) hasar sınırı ile taban izolatörlü binaların GKÖÖ'na göre kesintisiz kullanım (KK), sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme (G) hasar sınırlarıdır.

GKÖÖ değerleri incelendiğinde, izole edilmiş tüm modellerin hem ortalamalar hem de her deprem durumu için kesintisiz kullanım (KK) performans seviyesinde olduğunu göstermektedir. Genel olarak, LRB tipi izolatör modellerinde, FPS ve Combo tipi izolatör modellerine kıyasla daha küçük GKÖÖ hesaplanırsa da taban izolatörlü modeller arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Ancak ankastre mesnetli geleneksel modellerde durum oldukça farklıdır. Aslında TBDY-2018'de taban izolatörlü binalar için verilen performans sınırlarına göre, ankastre mesnetli modeller ortalamalar açısından genel olarak sınırlı hasar seviyesinde olmalarına rağmen, deprem bazında incelendiğinde, önemli sayıda modelin kontrollü hasar ve göçme durumuna ulaştığı görülmektedir. Yine TBDY-2018'de ankastre mesnetli modeller

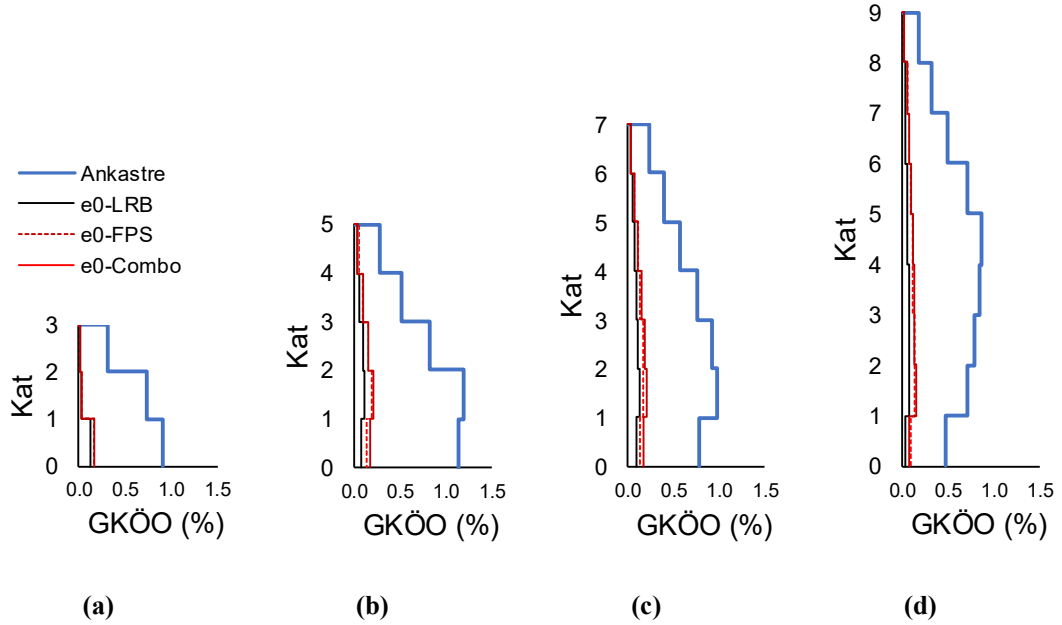
için %2'lik GKÖO ise 5 katlı modeller için iki deprem durumunda, 7 katlı modeller için bir deprem durumunda aşılmaktadır. Göçme hasar sınırının aşıldığı ankastre mesnetli modellerde ilgili deprem durumları belirlenerek, izolatörlü modellerde ne tür bir davranış değişimi olduğu incelendiğinde ise, izolatöre ait deplasman kapasitelerinin %100'ünün kullanıldığı ve GKÖO'nun SH performansına yaklaştığı tespit edilmiştir. Ancak TBDY-2018 yönetmeliğine göre tasarımları kabul edilebilir düzeyde kalmıştır.



Şekil 6.6: Maksimum görelî kat ötelenme oranları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.

Katlar arası görelî ötelenmeler kat yüksekliği ile normalize edilerek elde edilen GKÖO'larının katlara göre maksimum değerlerinin ortalaması Şekil 6.7'de verilmiştir. Amacımız ankastre mesnetli geleneksel binalar ile taban izolatörlü binaların sismik performansını karşılaştırmak olduğu için her bir deprem kaydının sonuçlarına göre değerlendirme yapmaktan ziyade, genel eğilimin daha sağlıklı olarak gözlemlenebilmesi için katlara göre maksimum görelî ötelenme oranlarının ortalaması kullanılmıştır. Şekil 6.7'de gösterildiği gibi, ankastre mesnetli binalar, artan ötelenme taleplerinden ve GKÖO'larının düzensiz dikey dağılımından kaynaklanan kısmi

göçmeden ciddi şekilde hasar görmüşlerdir. Elastomerik ve sürtümlü taban izolasyon sistemlerinin kurulumu, GKÖO'larını neredeyse tekdüze hale getirerek değerleri hasarsız aralığa indirgemmiştir.

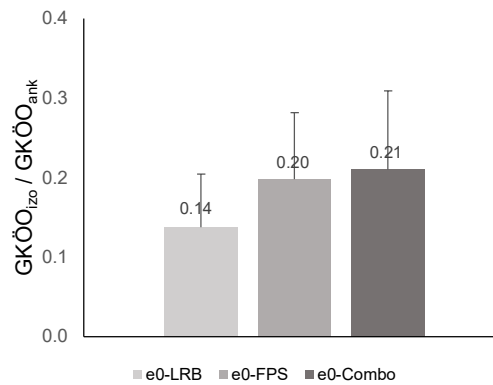


Şekil 6.7: Modellerin ortalama maksimum görece ötelenme oranlarının katlara göre dağılımı a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.

Büyükten küçüğe doğru GKÖO'ları sırasıyla ankastre mesnetli, Combo, FPS ve LRB modellerinde hesaplanmıştır. Combo modelinde diğer izole modellere kıyasla daha büyük bir GKÖO hesaplanmasının nedeni, bu modelde kullanılan FS izolatorlerinin geri çağırıcı kuvvet üretmemesi ve Combo modelde kullanılan LRB tip izolatorlerin ürettiği geri çağırıcı kuvvetlerin yetersiz kalması olarak yorumlanmaktadır. Sürtünme esaslı izolatorlerin kullanıldığı modellerde (FPS ve Combo), kauçuk izolatorlü modellere (LRB) göre daha büyük GKÖO'nun hesaplanmasının sebebi ise; sürtünme esaslı izolatorlerde, sürtünme eşiği aşıldıkça yatay yöndeki bina davranışının ankastre mesnetli bina davranışı ile aynı olmasıdır (Mazza 2017). Tüm bu farklılıklara rağmen, taban izolatorlü modeller için ortalama sonuçlar arasındaki farklılıklar ihmal edilebilir düzeydedir, ankastre mesnetli modellerde ihmal edilemeyecek bir düzeydedir. Çünkü, taban izolatorlü modellerde meydana gelen GKÖO'ları binanın kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyini sağlarken, ankastre mesnetli geleneksel binalarda hesaplanan GKÖO'ları sınırlı hasar (SH) ve kontrollü hasar (KH) performans düzeyindedir. Taban izolatorlü modellere kıyasla geleneksel modellerde hesaplanan ortalama maksimum GKÖO'ları en az

%59.8, en çok %80.7 daha büyüktür ve bu fark binada hasara yol açabileceği için ihmal edilemeyecek bir düzeydedir. Kullanılan ivme kayıtlarına göre maksimum GKÖO'ları tek tek incelendiğinde deprem kaydının frekans içeriğine bağlı olarak bu farkın arttığı ve azaldığı durumların olacağı aşıkardır. Özellikle farkın arttığı durumlarda, tüm taban izolatörlü binalarda (e0), KK performans düzeyi sağlandığından maksimum GKÖO %0.5 olabilirken, can güvenliği performans düzeyine göre tasarlanan geleneksel modellerde kısmi göçme/göçme düzeylerinin oluşma ihtimalide unutulmamalıdır.

Ankastre mesnetli ve taban izolatörlü sistemlerin karşılaştırılması ile ilgili önceki çalışmalarda, izolatör sistemi ve tipinin sismik tepki üzerinde önemli etkileri olabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak bu çalışmalarda sınırlı sayıda model ve yer hareketi kaydı dikkate alınmıştır (Wu ve Samali 2002, Kilar ve Koren 2009, Tena-Colunga ve Estamilla-Cruz 2007). Dinamik analizin doğası gereği sismik taleplerde yüksek oranda saçılım tez çalışması kapsamında gözlemlenmiştir. Yer değiştirme talepleri büyük ölçüde ivme kayıtlarının doğasına bağlı olduğundan, birkaç kaydın kullanılması, 11 çift ivme kaydının ortalama taleplerine kıyasla oldukça farklı taleplerle sonuçlanabilir. 11 çift yer hareketi kaydı kullanılarak ortalama yer değiştirme taleplerine dayalı değerlendirme, izolatör tipinin etkisinin taban izolatörlü sistemler üzerinde sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, kullanılan kayıtların sayısı oldukça önemlidir. Yapılan tez çalışması ile önceki çalışmalarda belirtildiği gibi dinamik analizde ivme kayıtlarının sayısının dikkatli seçiminin altı çizilmektedir (Huang 2008).



Şekil 6.8: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modellere göre maksimum GKÖO karşılaştırması.

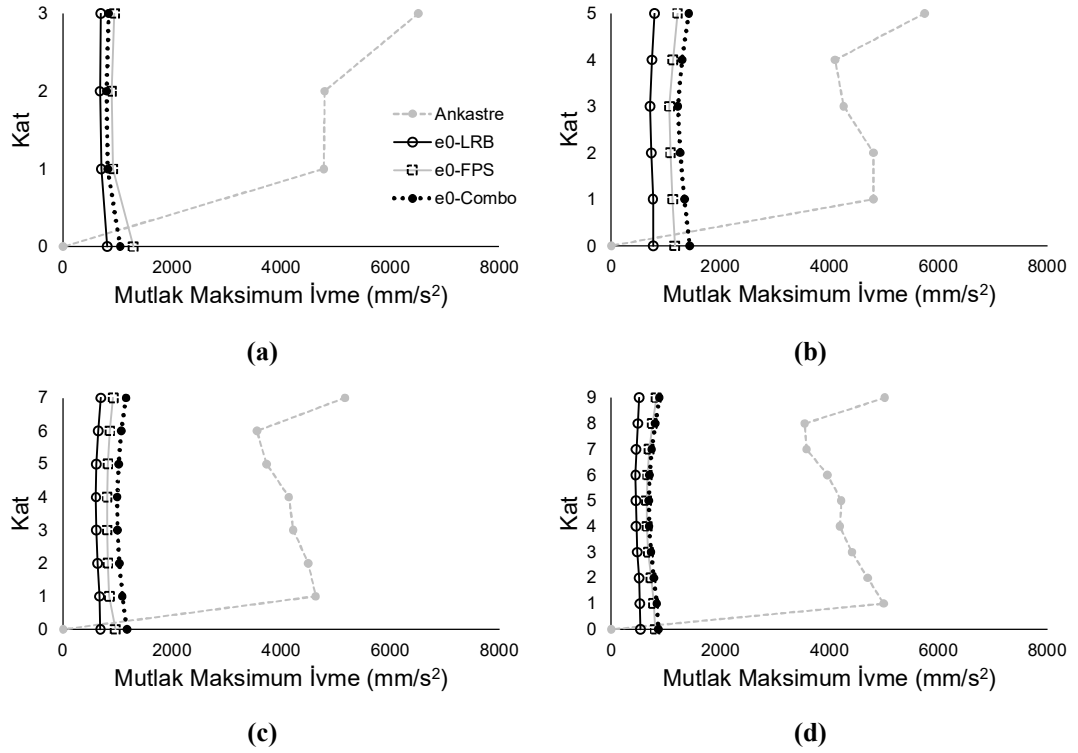
Taban izolatörlü modellerin maksimum GKÖÖ, ankastre mesnetli modellerin maksimum GKÖÖ'na göre oranı, Şekil 6.8'de taban izolatörlü modeller arasında karşılaştırılmıştır. Kat sayısına bakılmaksızın tüm modeller birlikte değerlendirildiğinde, geleneksel modeller, taban izolatörlü modellere göre en az %79 daha yüksek GKÖÖ'na sahiptir. İzolatör türüne göre ortalama değerler açısından farklılık en fazla %7 olarak hesaplanmıştır. Hem ortalama değerler açısından hem de standart sapmalar açısından izolatör türüne bağlı önemli bir farklılık bulunmamaktadır.

GKÖÖ açısından genel bir değerlendirme yapıldığında, kullanılan ivme kaydına bağlı olarak izolatör türleri arasında önemli farkların oluşabildiği durumlar olsa da tüm GKÖÖ değerleri taban izolatörlü modellerde KK performans düzeyindedir. Bu nedenle, bu çalışmada ele alınan taban izolatörlü modellerin (e_0), ortalama GKÖÖ değerleri kabul edilebilir bir düzeyde olup, kullanılan izolatör türünün sonuçlar üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Ancak ankastre mesnetli geleneksel modeller ortalama değerler açısından genellikle SH performans düzeyinde olsa da pek çok ivme kaydı için KH ve G performans düzeyine ulaşıldığı için, taban izolatörlü modeller ile ciddi farklılıklar söz konusudur. İzolatörlü sistemlerin, katlar arası görelî ötelenme oranlarını dikkate değer bir şekilde düşürerek, geleneksel modellere göre sismik performansı iyileştirdiği kesin olarak söylenebilmektedir.

6.3 İvme Taleplerinin Karşılaştırılması

Taban izolatörlü modellerde, üst yapıya aktarılan sismik talepler geleneksel modellere göre nispeten daha küçüktür. Çünkü taleplerin önemli bir kısmı izolatör sistemi tarafından sönmelenmektedir. Deplasman taleplerinin yanısıra bu ifadeyi destekleyen bir diğere parametre de izole edilmiş arayüzden üstyapıya aktarılan ivme (hızlanma) talepleridir. Şekil 6.9, ankastre mesnetli ve taban izolatörlü (e_0) modellerin katlara göre ortalama maksimum ivme taleplerini göstermektedir. Buna göre ankastre mesnetli modeller ile taban izolatörlü modellerin (e_0) ivme talepleri arasında önemli bir farklılık söz konusudur. Bu fark, minimum %72.1 olarak e_0 -Combo modelde ve maksimum %89.5 olarak e_0 -LRB modelde, ankastre mesnetli modellere göre daha az

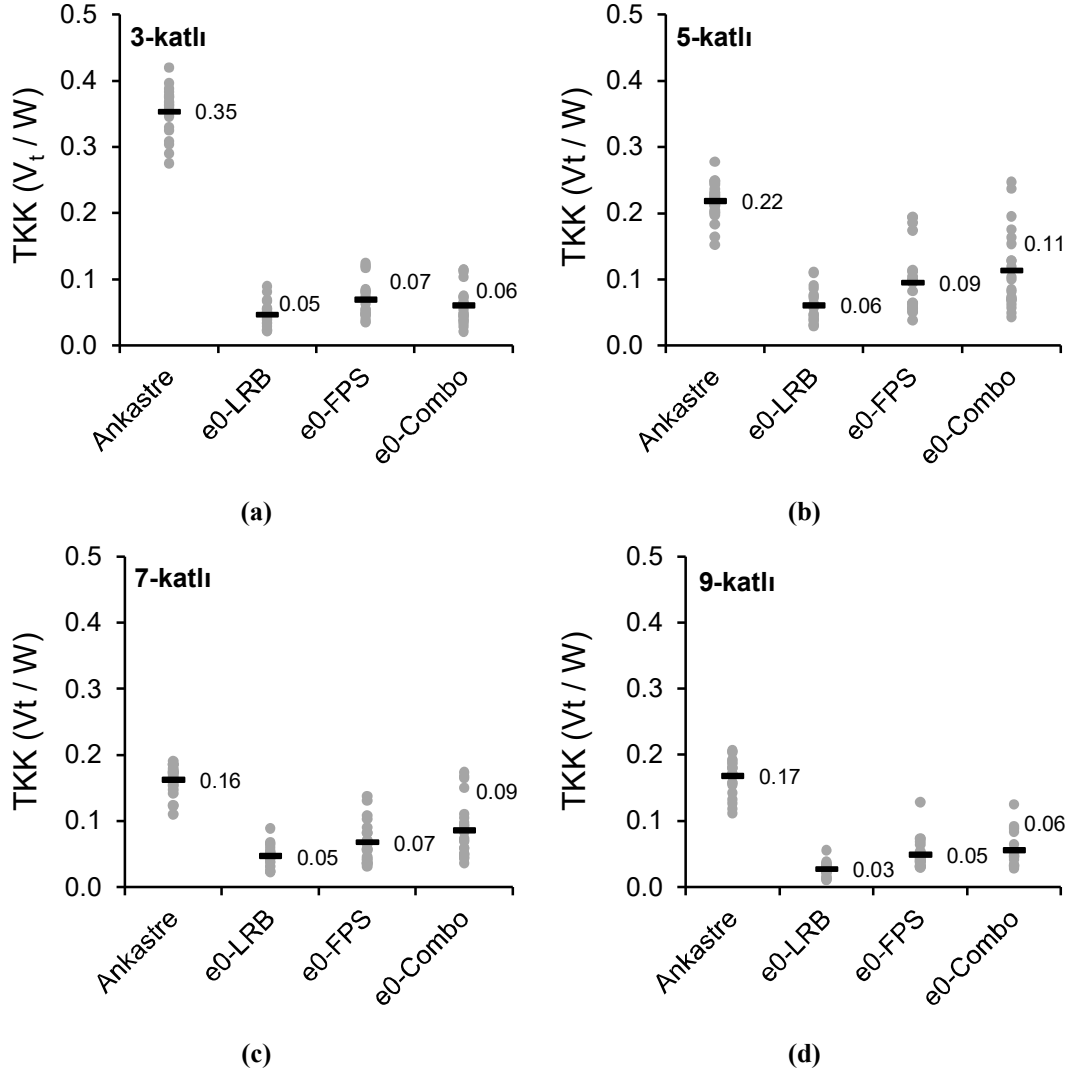
hesaplanmıştır. Ayrıca GKÖO taleplerinde olduğu gibi, ankastre mesnetli modellerin ivme talepleri katlar arasında oldukça değişken iken, taban izolatörlü modellerde katlar arasındaki değişim yok denilecek kadar azdır. Katlar arası hızlanma farkı en az LRB modellerinde görülmüştür. Combo ve FPS modelindeki katlar arası hızlanma farkının nedeni, sürtünmeye dayalı sistemin (FPS ve FP), izolatörlü sistemde hareket oluşana kadar ankastre mesnet gibi davranmasıdır (Mazza 2017).



Şekil 6.9: Katlara göre ortalama maksimum ivme profilleri a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.

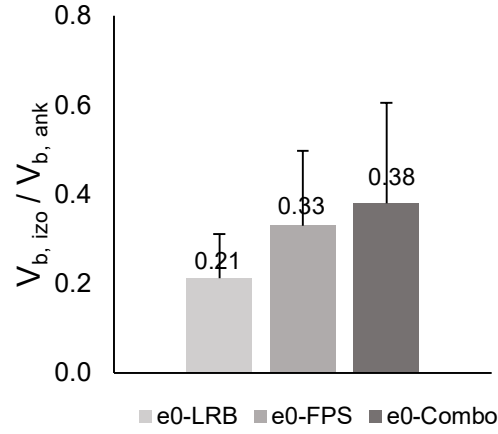
6.4 Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Binaya gelen deprem taleplerinin değerlendirilmesinde bir diğer önemli parametre de taban kesme kuvvetidir. Öyle ki, bina tabanına etkiyen kesme kuvveti ne kadar büyük olursa, katlara dağılan ve etkiyen yatay kuvvetler o kadar büyük olur. ZTA dinamik analizler sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvvetleri bina ağırlığı ile normalize edilerek taban kesme katsayısı (TKK) elde edilmiştir. Böylece bina ağırlığından bağımsız olarak, kullanılan izolatör türleri de dikkate alınarak TKK'ye göre karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 6.10: Modellerin maksimum taban kesme kuvveti katsayıları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.

Şekil 6.10’da görüldüğü gibi ankastrre mesnetli geleneksel modellerde TKK, taban izolatörlü modellere (e0) göre çok daha yüksektir. Taban izolatörlü modellerde ise büyükten küçüğe doğru taban kesme katsayıları Combo, FPS ve LRB tip izolatörlerde hesaplanmıştır. En büyük taban kesme katsayısının Combo modelde oluşmasının nedeni FS tip izolatörlerin düz kayıcı bir sistem üzerinde hareket etmesi ve ürettiği tek yanal kuvvetin yüzeyin sahip olduğu sürtünme katsayısı kadar olmasıdır. Combo modelde kullanılan LRB tip izolatörler ise kesme kuvvetini yeterince sönmüleyememiştir (Mazza ve diğ. 2018). Ancak tek başına LRB tip izolatör kullanımı (e0-LRB), taban kesme kuvvetinde dikkate değer bir düşüş sağlamıştır. Ankastrre mesnetli geleneksel modele göre taban kesme katsayısındaki düşüş en az %43.8 oranı ile Combo modelde, en çok %85.7 oranı ile LRB modelde hesaplanmıştır.

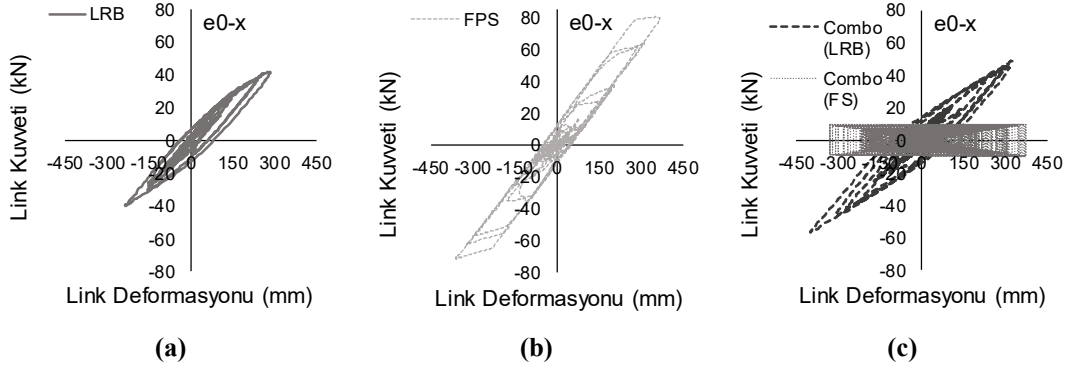


Şekil 6.11: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modellere göre taban kesme kuvveti.

Şekil 6.11’de taban izolatörlü modellerin taban kesme kuvveti ankastre mesnetli modellerin taban kesme kuvveti ile oranlanmıştır. Böylece kullanılan izolatör türüne göre taban kesme kuvvetindeki düşüş oransal olarak değerlendirilmiştir. Ankastre mesnetli modellere göre taban izolatörlü modellerde taban kesme kuvveti, ortalama olarak en az %62 oranında Combo modellerde, en çok %79 oranında LRB modellerde azalmıştır. Standart sapmalar dikkate alındığında taban izolatörlü modellerde taban kesme kuvvetindeki azalma en az %39 olarak Combo tip izolatörlü modellerde hesaplanmıştır.

6.5 Histeresis Çevrimlerin Karşılaştırılması

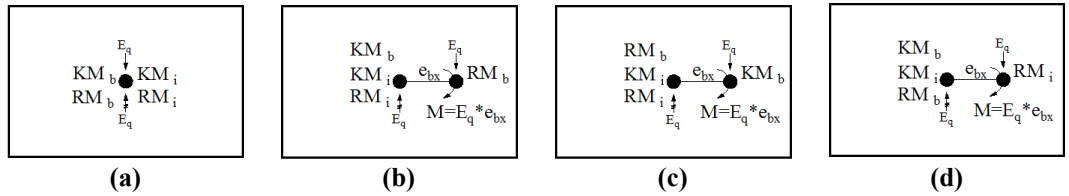
Taban izolatörlerine ait histeretik çevrimler, izolatör arayüzünde sönmülenen enerjinin bir göstergesidir. İzolatör arayüzünde sönmülenen enerjinin miktarı arttıkça üst yapıya iletilen deprem talepleri azaldığı için histeretik çevrimlerin incelenmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle RSN-5815 kaydı için 7 katlı simetrik modellerde izolatörlere ait histeretik çevrimler örnek olarak Şekil 6.12’de verilmiştir. Deprem kaydına göre histeretik çevrimler değişkenlik gösterse de genel trend benzer şekildedir. Hedef deplasman değeri (40 cm) aşılmadan, kuvvet talebine göre izolatör deplasmanının değişiminin gerçekleştiği görülmektedir. Combo modelde kullanılan LRB tip izolatörlerde, sadece LRB tip izolatörün kullanıldığı modele göre daha büyük kuvvet ve deplasman taleplerinin oluştuğu dikkat çekmektedir. Ayrıca FPS tip izolatörlü modelde, LRB tip izolatörlü modellere göre daha büyük kuvvet talepleri oluşmuştur.



Şekil 6.12: Simetrik 7 katlı taban izolatörlü modellerin izolatör türlerine göre RSN-5815 kaydı için histeretik çevrimleri a) LRB, b) FPS, c)Combo.

7. İZOLATÖRLÜ SİSTEMLERDE EKSANTRİSİTENİN SİSMİK PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Literatürde izolatör sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen izolatör sisteminin binaların burulma düzensizliği üzerindeki etkisi ile ilgili görece az sayıda çalışma bulunmaktadır (Ismail 2015). Kolon yerleşimi planda simetrik olmadığında, binanın kullanım amacı sonradan değiştirildiğinde veya taban izolatörlerinin rijitlik kapasitesi değiştiğinde, yapıda burulma etkileri ortaya çıkabilmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalar, burulma etkilerinin izolatörlü bina tepkisi üzerinde önemli bir role sahip olduğunu gösterirken (Nagarajaiah ve diğ. 1993a, Tena-Colunga ve Zambrana-Rojas 2006) diğer bazı çalışmalar bu etkilerin ihmal edilebilir olduğu sonucuna varmıştır (Ismail 2015, Jangid ve Datta 1994b, Lee 1980; Nagarajaiah ve diğ. 1993b). Yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde, taban izolasyon sistemlerinde burulma düzensizliğini karşılaştırmak için, bir bölgeye özgü sınırlı sayıda ivme kaydı kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte basitleştirilmiş bina modelleri ele alınmış ve yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışı göz ardı edilmiştir. Çalışmalar, tek bir üç boyutlu model veya birkaç iki boyutlu model kullanılarak yapılmıştır (Wu ve Samali 2002, Tena-Colunga ve Escamilla Cruz 2007, Kilar ve Koren 2009).



Şekil 7.1: Modellerin kütle merkezi ve rijitlik merkezinin plan görünümü a) Durum 1 (D1), b) Durum 2 (D2), c) Durum 3 (D3), d) Durum 4 (D4).

Çalışmanın bu bölümünde, öncelikli olarak burulma düzensizliğine yol açabilecek 4 farklı durum göz önünde bulundurularak en kritik yerleşim belirlenmiştir. En kritik burulma düzensizliği durumunu belirlemek için 3, 5, 7 ve 9 katlı modellerde izolatör ve binanın kütle merkezleri ve rijitlik merkezlerinin birbirlerine göre konumları değiştirilmiştir (Şekil 7.1). Taban izolatörlü modeller sadece LRB ve sadece FPS modelleri ile çeşitlendirilmiştir. Bu bölüm kapsamında, 11 çift spektrum uyumlu kayıt seti dikkate alınarak 32 farklı modelin 704 (176+528) adet doğrusal olmayan

zaman tanım alanında dinamik analizi yapılmıştır. Şekil 7.1’de E_q , e_{bx} ve M sırasıyla sismik kuvvet, statik eksantrisite ve momenti temsil etmektedir.

Oluşturulan durumlardan ilki (Durum 1-D1); izolatörlerin rijitlik merkezi (RM_i) ve kütle merkezi (KM_i), herhangi bir burulma düzensizliği olmaksızın üst yapı rijitlik merkezi (RM_b) ve kütle merkezi (KM_b) ile örtüşmektedir ve sıfır eksantrisite (e_0) modelleri olarak adlandırılmıştır. Genel olarak, uluslararası düzenlemeler ve diğer birçok araştırmacı (Kilar ve Koren 2009 hariç), olası burulma davranışını önlemek için izole binaların tasarımında Durum 1’in mümkün olduğunca sağlanmasını önermektedir (Eurocode 8, TBDY 2018, Nagarajaiah et al. 1993, Tena-Colunga and Zambrana-Rojas, 2007, Seguin 2008).

İkinci durumda (Durum 2-D2); RM_i , KM_i ve KM_b çakışırken, RM_b %20 eksantrisiteye sahiptir. Durum 2, üst yapıdaki düzensiz rijitlik dağılımını temsil etmektedir. Üst yapı rijitlik merkezinin eksantrisitesi, x yönü kolonlarının boyutları bir aks boyunca artırılarak elde edilmiştir. İzolatörlerin rijitlik merkezi, tasarım aşamasında önerildiği gibi üst yapı kütle merkezi ile örtüşmektedir. Ayrıca literatürde Durum 2 için burulma büyütmelelerinin genellikle Durum 3’ten daha küçük olduğu ifade edilmektedir (Tena-Colunga ve Escamilla-Cruz 2007).

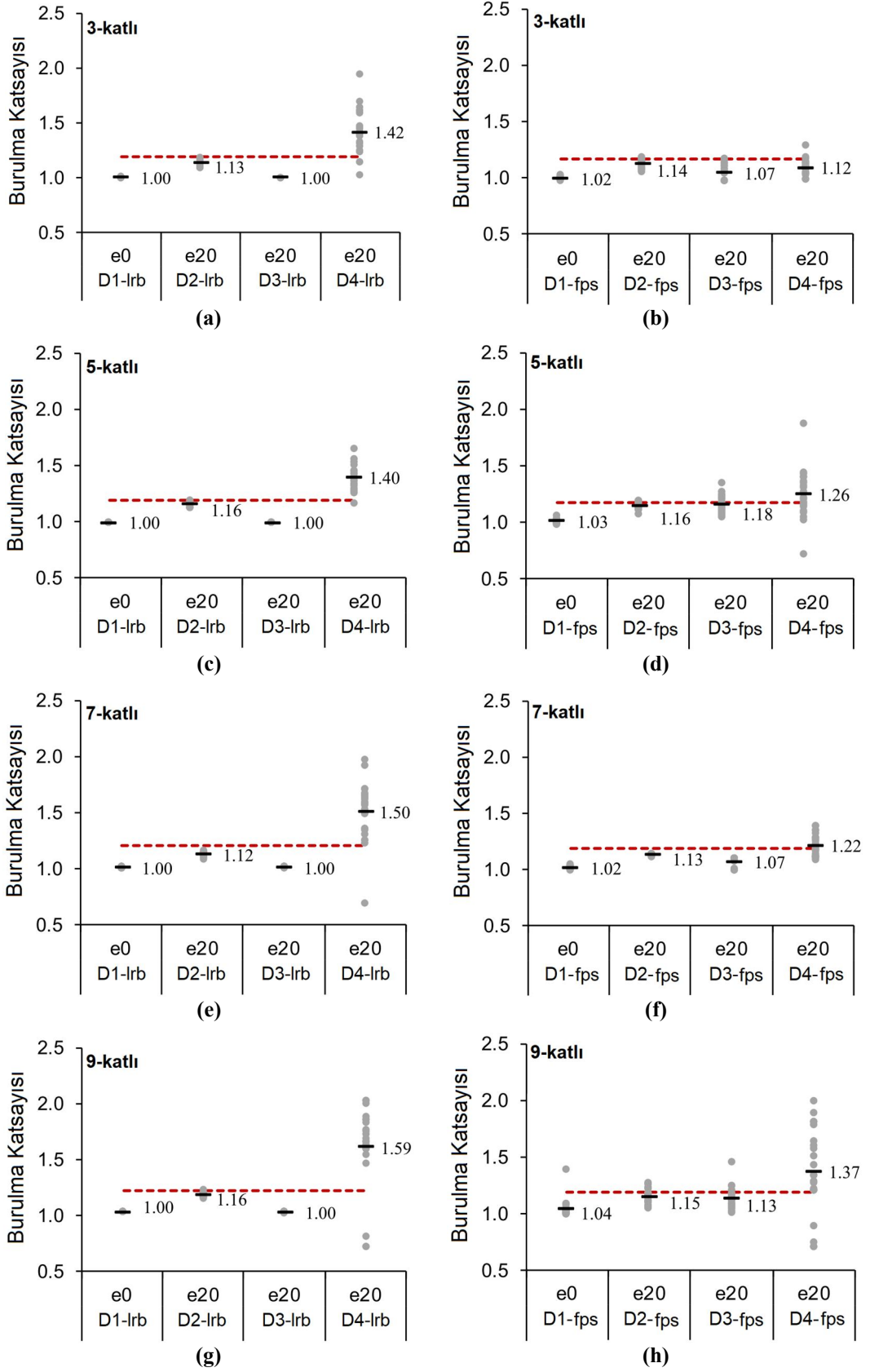
Üçüncü durumda (Durum 3-D3), RM_i , KM_i ve RM_b çakışırken, KM_b %20 eksantrisiteye sahiptir. Durum 3, üst yapıdaki kütle düzensiz dağılımını ifade etmektedir. Toplam kütle sabit tutulurken üst yapı kütle merkezinin eksantrisitesi, hareketli yüklerin konumu değiştirilerek elde edilmiştir. Tena-Colunga ve Escamilla-Cruz tarafından yapılan çalışmada, tabandan izole edilmiş modeller üzerinde burulma büyütmeleleri açısından rijitlik eksantrisitesi ile önemli oranda burulma büyütmeleleri hesaplanmıştır (Tena-Colunga ve Escamilla-Cruz 2007).

Son durumda (Durum 4-C4), KM_i , RM_b ve KM_b çakışırken, RM_i %20 eksantrisiteye sahiptir. Taban izolatör rijitlik merkezinin eksantrisitesi, toplam yanal izolatör rijitliği sabit tutulurken, farklı yanal rijitliklere sahip izolatörler kullanılarak elde edilmiştir. Tasarım aşamasında karşılaşılmamakla birlikte, kullanım amacı sonradan değiştirilen, düzensiz kütle dağılımına sahip tabandan izole edilmiş modelleri temsil etmektedir. Aslında tasarım aşamasında, düzensiz kütle dağılımına sahip bir üst yapıda olası burulma etkilerini en aza indirmek için izolatör rijitlik

merkezi, bina kütle merkezine mümkün olduğunca yaklaştırılır. Ancak daha sonra mevcut binanın kullanım amacı değiştirildiğinde, mevcut izolatör yerleşimi aynı kaldığı için 4. Durum meydana gelebilmektedir. Ayrıca daha önce elastomerik izolatör ile yapılan çalışmalarda bu durum araştırılmış ve burulma büyütmelerine neden olduğu sonucuna varılmıştır (Tena-Colunga ve Escamilla-Cruz 2007, Matsagar ve Jangid 2004). Tasarımda önerilmemektedir ve tasarım aşamasında çok sık karşılaşılmadığı için üzerinde fazla durulmamıştır.

Yukarıda açıklanan 4 durum için 3, 5, 7 ve 9 katlı LRB veya FPS tipi izolatörlü modellerde doğrusal olmayan zaman tanım alanında 11 yer hareketi kayıt seti ile dinamik analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları ile üst yapının burulma katsayıları hesaplanarak en kritik durum belirlenmiştir.

Şekil 7.2’de verilen burulma düzensizlik katsayısı incelendiğinde, D4 hariç tüm durumlar ortalama 1.2 değerinin altında kalmaktadır. Ancak, sınırlı sayıda farklı yer hareketi kayıtları için bu sınırın aşıldığı görülmüştür. Tena-Colunga ve Escamilla-Cruz tarafından yapılan çalışmanın aksine, LRB türü izolatörler için Durum 2, Durum 3’ten daha kritiktir (Tena-Colunga ve Escamilla-Cruz 2007). Ayrıca, 9 katlı Durum 2 e20 modeli hariç, Durum 1, 2 ve 3 için LRB türü izolatörlere kıyasla FPS türü izolatörler için burulma düzensizlik katsayılarının daha yüksek olduğu da belirtilmelidir. İlk 3 durumda izolatörler simetrik yerleştirildiği için mevcut düzensizlikler üst yapılardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle ilk 3 durumda FPS türü izolatörlü modellerin burulma katsayılarının LRB türü izolatörlü modellere göre biraz daha yüksek olması izolatör türünden çok, üst yapı ile ilgilidir. Bununla birlikte, büyük bir burulma düzensizliği katsayısının her zaman kritik öteleme değerlerini göstermediğine dikkat edilmelidir. Elde edilen sonuçlar, 3, 5 ve 7 katlı LRB ve FPS türü izolatörlü modellerin ivme değerlerinin elastik tasarım spektrumundaki periyot değerine bağlı olarak daha fazla değişkenlik gösterdiğini göstermektedir. Ancak 9 katlı modelde bu fark yok denecek kadar azdır. 9 katlı LRB ve FPS türü izolatörlü modeller için yer değiştirme ve periyot değerleri hemen hemen aynı olduğu için izolatör türüne göre bir karşılaştırma göstergesi olabileceği düşünülmektedir. Öte yandan, ilk üç durum için düzensizlik katsayılarındaki fark sınırlı görünmektedir.



Şekil 7.2: Durumlar için hesaplanan burulma katsayıları (η_b) a)3 katlı-LRB, b)3 katlı-FPS, c)5 katlı-LRB, d)5 katlı-FPS, e)7 katlı- LRB, f)7 katlı-FPS, g)9 katlı-LRB, h)9 katlı-FPS.

Ancak burulma düzensizliği katsayıları, diğer durumlara göre, Durum 4 için önemli ölçüde yüksektir. Hem LRB hem de FPS türü izolatörler için, tüm modellerde ortalama değerler 1.2 sınırının üzerindedir. Ayrıca, her bir yer hareketi kaydı için önemli ölçüde daha yüksek saçılım belirgindir. Sonuçlar, yapının kütle merkezi ile izolatörlerin rijitlik merkezinin çakışmadığı durumlarda üstyapıda burulma davranışının kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Durum 4, burulma düzensizliğinde en kritik yerleşim olarak kabul edilmiştir.

Tabandan izole edilmiş modellerin davranış farkı, tezin bu bölümünden itibaren kritik düzensizlik durumları/eksantrisite oranları için, uluslararası yönetmeliklerin ve TBDY-2018'in önerdiği Durum 1 ile detaylı olarak karşılaştırılmıştır.

7.1 Asimetrik İzolatör Yerleşiminin Performans Üzerindeki Etkileri

Çalışmanın bu bölümünde, perde duvarları olmayan düşük ve orta yükseklikteki betonarme karkas binalar için, izolatör rijitlik merkezi (RM) ile üst yapı kütle merkezi (KM) arasındaki mesafeden kaynaklanan, en kritik burulma düzensizliği durumu (Durum 4) dikkate alınarak LRB, FPS ve Combo tipi taban izolatörlü modellerin (e0, e10 ve e20) sismik davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Sismik taleplerin önemli bir kısmı üstyapıya iletilmeden önce izolatör sistemi tarafından sönmüneceğinden, izolatör sisteminde meydana gelen burulma düzensizliği, çok daha kritiktir. Bu nedenle izolatör RM ile bina KM arasında burulma düzensizliği oluşturulmuştur.

İlk olarak; izolatörlerin rijitlik merkezi, herhangi bir düzensizliği olmayan üst yapı kütle merkezi ile çakıştırılarak sıfır eksantrisiteye sahip, simetrik taban izolatörlü binalar (e0-Durum 1) modellenmiştir. Daha sonra; LRB, FPS ve Combo tipi taban izolatörlü bina modellerinde, olası burulma düzensizliğini yansıtmak amacıyla, izolatör elemanlarının rijitlik kapasitesi değiştirilmiştir. Rijitliklerdeki değişim miktarı, izolatörlerin rijitlik merkezi ile üstyapının kütle merkezi arasındaki mesafe, bina plan boyutunun %10 ve %20'si olacak şekilde ayarlanmıştır. Modellenen binaların x yönü burulma etkilerine karşı daha savunmasız olduğundan, izolatör arayüzünde x doğrultusunda (e_x) tek yönlü statik eksantrisite kullanılmıştır. Böylece

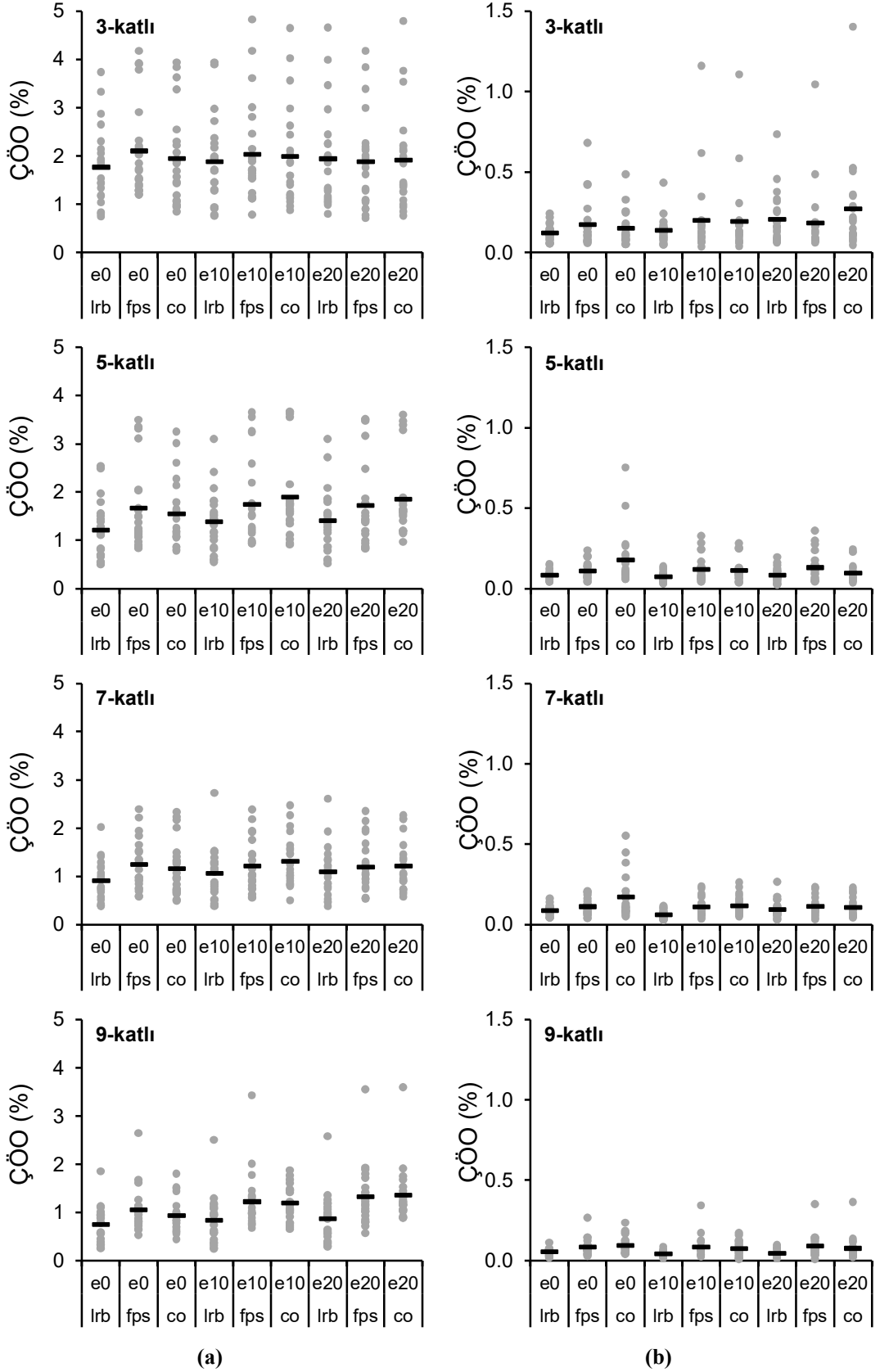
tez kapsamı boyunca e10 ve e20 olarak adlandırılan $e_{bx} / L = 0.1$ ve 0.2 olan bina modelleri oluşturulmuştur. İzolatör türüne göre oluşturulan eksantrisitesiz ve eksantrisiteli tüm izolatörlü modellerde toplam yatay izolatör rijitliği sabit tutulmuştur. Örneğin e0, e10 ve e20-LRB modellerinde toplam yatay rijitlik aynı iken; FPS modellerinin toplam yatay rijitliği (kendi içinde aynı olup), LRB izolatörlü modellerden farklıdır. Ayrıca, statik eksantrisitenin ve taban izolatör türlerinin sismik tepki üzerindeki etkisini doğru bir şekilde karşılaştırmak için tasarım aşamasında aynı hedef deplasman değeri kullanılmıştır. Kullanılan 3, 5, 7 ve 9 katlı taban izolatörlü modeller için izolatörlere ait maksimum hedef deplasman değerleri sırasıyla 35, 40, 40 ve 45 cm olarak seçilmiştir.

Taban izolatörlü bina sistemi genel olarak elastik sınırlar içinde kalmasına rağmen, burulma düzensizliği nedeniyle üst yapıdaki yapısal elemanların muhtemel akma davranışını gözlemleyebilmek için, yapısal elemanların da doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmıştır. 11 çift deprem kaydına tabi tutulan 3 boyutlu 3, 5, 7 ve 9 katlı modellerin toplam 792 farklı doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizi (264 adet e0 modellerinde (6.bölüm), 528 adet e10 ve e20 modellerinde olmak üzere) gerçekleştirilmiştir.

Analizler sonucunda elde edilen deplasman, görelî kat ötelenme oranı, ivme talepleri, taban kesme kuvvetleri, burulma katsayıları ve histeretik çevrimlere göre performans değerlendirmeleri izolatör türüne ve statik eksantrisite oranlarına göre karşılaştırılmıştır.

7.1.1 Çatı Deplasman Taleplerinin Karşılaştırılması

Eksantrisitesiz (simetrik-e0) ve eksantrisiteli (e10, e20) taban izolatörlü modellerin doğrusal elastik olmayan ZTA'da dinamik analiz yöntemi ile en büyük çatı yer değiştirmeleri 6.bölümde olduğu gibi SRSS metodu ile belirlenmiştir. Deprem kayıtlarına göre elde edilen maksimum çatı ve izolatör deplasman talepleri kullanılarak, ortalama maksimum çatı ve izolatör deplasman talepleri hesaplanmıştır. Kat yüksekliğinden bağımsız olarak değerlendirme yapılabilmesi için Çatı Ötelenme Oranları (ÇÖO)dikkate alınmıştır. Hesaplanan ÇÖO'ları Şekil 7.3'te yere göre (Şekil 7.3a) ve izolatör arayüzüne göre (Şekil 7.3b) ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

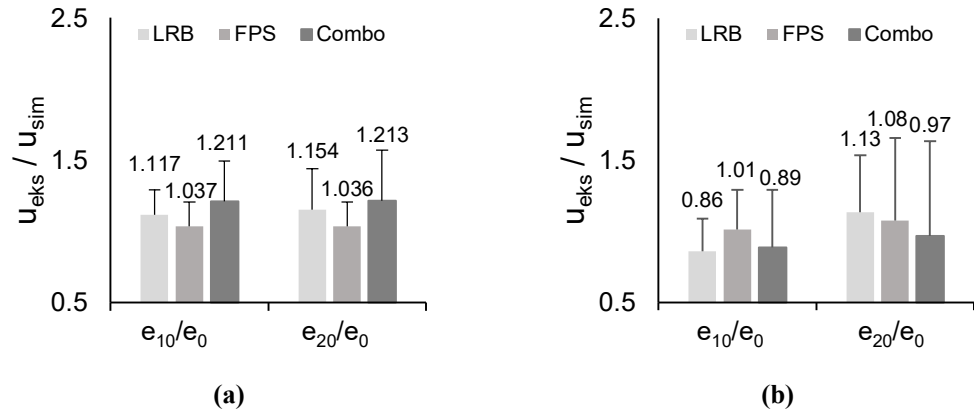


Şekil 7.3: Simetrik ve eksantrisiteli modellerin maksimum çatı ötelenme oranları a) yere göre, b) izolatör arayüzüne göre.

Elde edilen sonuçlar, tüm modeller için yer hareketi kayıtları ayrı ayrı incelendiğinde, yer değiştirme taleplerinde önemli bir dağılım olduğunu göstermektedir (Şekil 7.3a). Modellerde kullanılan izolatör türlerine göre Şekil 7.3 incelendiğinde, FPS ve Combo tipi taban izolatörlü binalar, LRB tipi taban izolatörlü binalara kıyasla daha yüksek çatı ötelenme taleplerine sahiptir. Ancak ortalama değerler açısından eksantrisitenin etkisi oldukça sınırlıdır. Önceki çalışmalara benzer şekilde, birkaç yer hareketi kaydının frekans içeriğinin taban izolatörlü sisteminin dinamik tepkisini etkilediği görülmektedir (Güner 2012; Matsagar ve Jangid 2010; Tena-Colunga ve Zambrana-Rojas 2006). Şekil 7.3b’de gözlemlenen dağılım, frekans içeriği etkisinin özellikle FPS ve Combo tipi izolatörler için daha kritik olduğunu göstermektedir.

Ortalamalar açısından bakıldığında sonuçların yanıltıcı olabileceği düşünülerek her deprem kaydı için eksantrisiteli modellerin (e10 ve e20), eksantrisitesiz simetrik modellere (e0) göre maksimum deplasman taleplerinin karşılaştırılması daha uygun görülmüştür (Şekil 7.4).

Şekil 7.4a incelendiğinde farklı statik eksantrisite oranlarında yere göre deplasman talepleri en az %3.6 oranında FPS modellerde, en çok %21.3 oranında Combo modellerde artış göstermiştir. Dolayısıyla tüm modellerde yere göre çatı katı ötelenmelerinde artış söz konusudur. Ancak eksantrisite artışından en az etkilenerek en tutarlı davranışı FPS tip izolatörlerin, en çok etkilenerek en hassas davranışı ise Combo tip izolatörlü modellerin gösterdiğini söylemek mümkündür. Ayrıca, eksantrisite oranının %10 olduğu modellerde deplasman taleplerindeki artış, eksantriste oranı %20 olduğunda FPS tip izolatörlü modellerde bir miktar azalırken, LRB ve Combo tip izolatörlü modellerde %3.7 ve %0.2 daha fazla olarak belirlenmiştir. Bu farklılığın, FPS modellerde izolatörlerin deplasman kapasitelerine ulaştıktan sonra üstyapının sünekliğinden faydalanmaya başlanıldığı, LRB ve Combo modelde devam eden artış ise izolatörlerin deplasman kapasitesine ulaşılmadığı için devam ettiği düşünülmüştür. Ancak her iki tür durum için de (artış/azalış) yere göre deplasman talepleri eksantrisitesiz modellere göre mutlak artış göstermiştir.



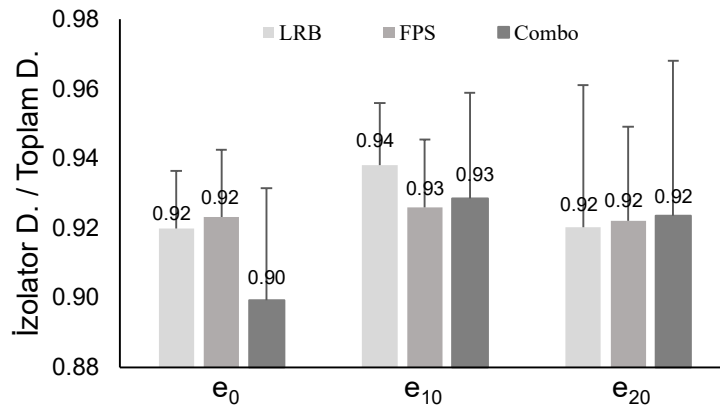
Şekil 7.4: Statik eksantrisitenin izolatör türüne göre maksimum deplasman talepleri üzerindeki etkisi a)yere göre, b) izolatör arayüzüne göre.

Eksantrisite artışı ile izolatör arayüzüne göre çatı deplasman taleplerinin değişimi ise Şekil 7.4b’de verilmiştir. Eksantrisite oranı %10 olduğunda LRB ve Combo tip izolatörlü modellerin ortalama çatı deplasman talepleri simetrik modellere (e₀) göre en az %14 oranında azalırken FPS tip izolatörlü modellerde %1 oranında bir artış hesaplanmıştır. Ancak standart sapmalar dikkate alındığında tüm modeller için yine bir artış söz konusudur. Eksantrisite oranı %20’ye ulaştığında ise LRB ve FPS tip izolatörlü modellerde sırasıyla %13 ve %8 oranında bir artış hesaplanırken, Combo tip modellerde %3’lük bir azalma söz konusudur. Ancak standart sapmalar dikkate alındığında %10 eksantrisiteden %20 eksantrisiteye geçildiğinde standart sapma değerlerinin bant genişliği ciddi oranda artmıştır. Dolayısıyla eksantrisite oranı %20’ye ulaştığında deplasman taleplerinin binanın süneklik kapasitesinden karşılandığı ve binanın taşıyıcı sistem elemanlarında akma durumuna ulaşan eleman sayısındaki artış ile genel olarak hasar oluşmaya başladığını söyleyebiliriz.

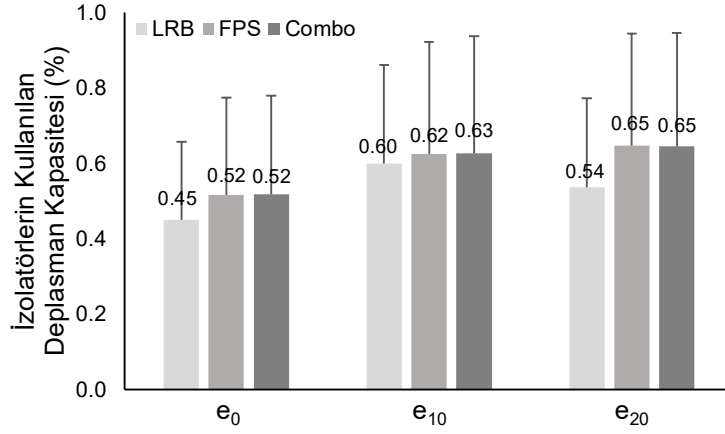
Şekil 7.4’e göre genel bir değerlendirme yapıldığında; yere göre artan çatı deplasmanı izolatör arayüzüne göre bir azalış gösteriyorsa bu durum artan çatı deplasmanın izolatör arayüzünde, izolatörün yaptığı deplasman ile karşılandığının bir göstergesidir. Yere göre artan bir çatı deplasmanında izolatör arayüzüne göre artan bir çatı deplasmanı ise, binanın süneklik kapasitesiyle karşılanan taleplerin bir göstergesidir. Çatı ötelenme oranları yere göre tüm modellerde artış göstermesine ve en az artışın FPS izolatörlü modellerde olmasına rağmen, statik eksantrisitenin %10 olması durumu incelendiğinde; deplasman taleplerini karşılamak için sadece FPS tip izolatörlü modellerde üstyapı sünekliği kullanılırken, statik eksantrisitenin %20 olması durumunda tüm izolatör türlerinde üstyapı süneklik kapasitesinin kullanıldığı

söylenbilir. Bu durum, FPS tip izolatörlü modellerin eksantrisite artışında en kararlı davranışı göstermesine rağmen, FPS tip izolatörlü modellerde diğer izolatör türlerine göre üst yapının daha çok zorlandığını ve üst yapıda hasarın daha çabuk oluşacağını bir göstergesidir. Eksantrisite artışına karşı en hassas davranışı gösteren Combo tip izolatörlü modellerde ise, binaya kalan deplasman talebi açısından en az ötelenme ortalamalar açısından Combo modelde hesaplanmıştır. Ancak Combo model için hesaplanan standart sapma değerlerinin diğer modellere göre daha büyük olduğu da unutulmamalıdır. Ayrıca statik eksantrisite oranı %20'ye ulaştığında tüm modellerin üstyapısında süneklik kapasitesi kullanıldığından, üstyapıda zorlanmalar kaçınılmaz olmuştur.

İzolatör yer değiştirmesinin binanın toplam yer değiştirmesine katkısını görebilmek için maksimum izolatör deplasmanı ile maksimum çatı deplasmanı oranı Şekil 7.5'te verilmiştir. Talep oranları tüm modeller için benzer bir eğilim gösterdiği için 3, 5, 7 ve 9 katlı modeller birlikte değerlendirilmiştir. Yer değiştirme taleplerinin %90'ından fazlası, eksantrisite oranı ve izolatör türüne bakılmaksızın izolatör sistemi tarafından karşılanmıştır. İzolatör rijitlik değerlerinin dağılımından kaynaklanan eksantrisite, izolatör yer değiştirme talepleri üzerinde çok sınırlı etkiye sahiptir. Üst yapının yer değiştirme talepleri önemli ölçüde küçüktür. Bu nedenle, yapının sismik davranışı üzerindeki burulma etkileri ihmal edilebilir düzeydedir. İzolatör elemanlarındaki eksantrisite çok daha kritik olduğundan, bina planındaki burulma düzensizliğinin çok sınırlı bir etkiye sahip olacağı tahmin edilebilir. Ancak bu konu hakkındaki daha detaylı bir inceleme sonraki bölümlerde yapılacaktır.



Şekil 7.5: Toplam yer değiştirmeye göre izolatör yer değiştirmesi.



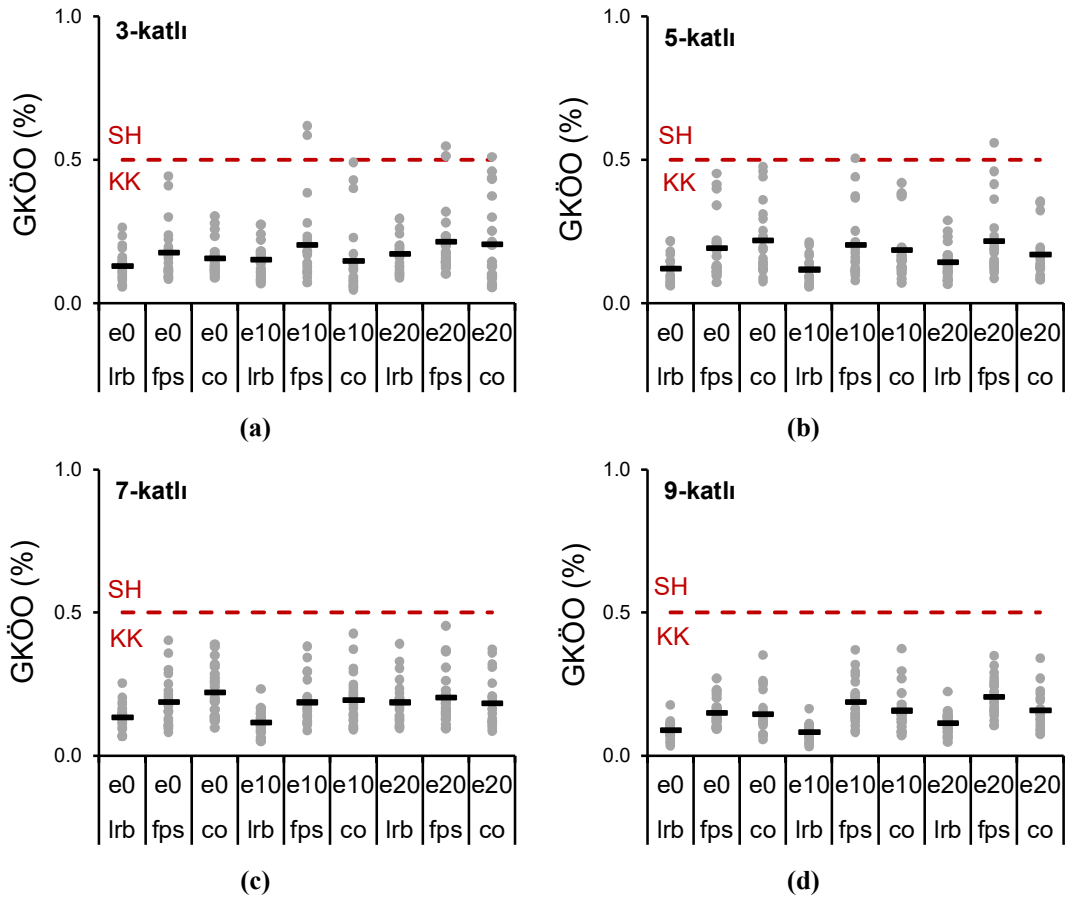
Şekil 7.6: İzolator deplasman kapasitesi kullanımının ortalama değerleri.

İzolator deplasman kapasitesinin ortalama kullanım oranı Şekil 7.6’da verilmiştir. Kullanılan izolator kapasiteleri, LRB tipi izolatorlerin e_0 , e_{10} ve e_{20} eksantrisite oranları için sırasıyla % 45.0, % 60.0 ve % 54.0 olarak hesaplanırken, bu değerler FPS tipi izolatorler için % 52.0, % 62.0 ve % 65.0 ve Combo tipi izolatorler için % 52.0, % 63.0 ve % 65.0 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar açıkça göstermektedir ki, aynı tasarım yer değiştirme değerine göre modellenen FPS ve Combo tipi izolatorlerin kapasite kullanım oranı, LRB tipi izolatorlerden önemli lde daha yüksektir. Sonuçlar ayrı ayrı incelendiğinde, bazı yer hareketi kayıtları için kapasite kullanım oranının FPS ve Combo tipi izolatorlerde %100’e yaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle, ortalama değerlere dayalı değerlendirme yanıltıcı olabilir. Ayrıca, minimum ve maksimum kapasite kullanımını arasındaki fark, e_0 ve e_{10} modelleri arasında, e_{10} ve e_{20} modellerine göre daha belirgindir.

7.1.2 Görelİ telenme Taleplerinin Karşılaştırılması

Katlar arası ötelenme, önemli bir hasar göstergesi olarak kabul edilmektedir. nceki bölümde verilen yere göre çatı ötelenmesi, taban izolatornn yer değiştirme talebini de içerir. Bu nedenle katlar arası görelİ ötelenme oranı (GK) değerlerinin değerlendirilmesi, üstyapı talebinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Şekil 7.7, simetrik (e_0) ve asimetrik (e_{10} , e_{20}) taban izolatorlü tüm modellerin maksimum GK değerlerini karşılaştırmaktadır. Ayrıca, TBDY-2018’e göre kesintisiz kullanım ve sınırlı hasar limitleri, GK açısından sırasıyla “KK” ve “SH” olarak ifade edilmiştir. Kontrollü hasar ve göçme hasar seviyeleri şekilde gösterilmemiştir. Çünkü

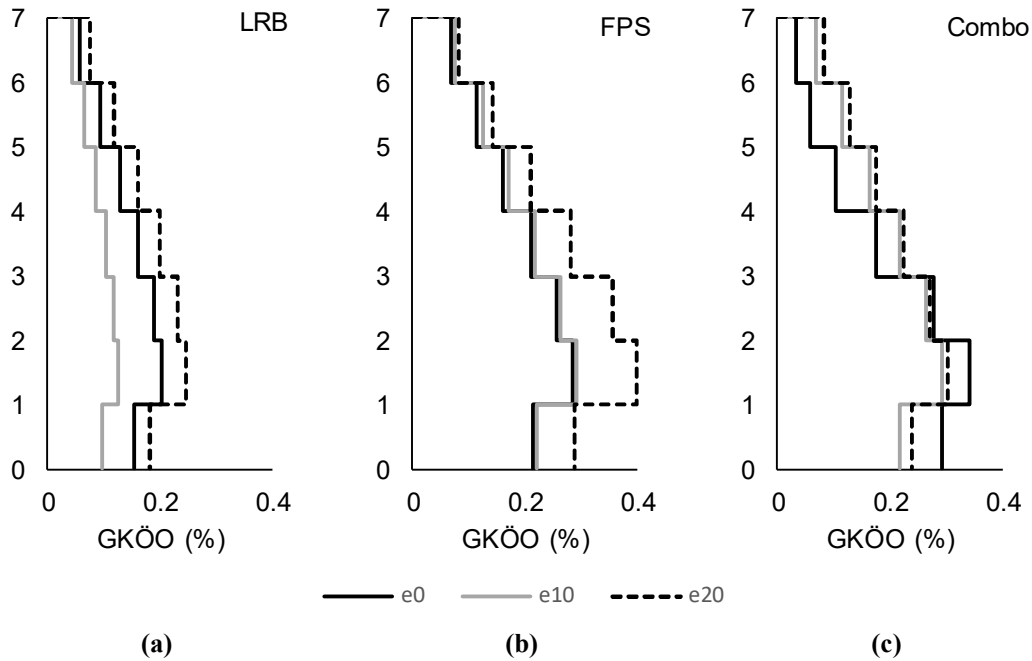
hiçbir model bu hasar seviyesine ulaşmamıştır. GKÖO değerleri incelendiğinde, çatı ötelenme oranları ile benzer eğilime sahiptirler. FPS ve Combo tipi izolatörler için en büyük GKÖO değerleri hesaplanmıştır ve altı adet FPS tipi ve bir adet Combo tipi izolatör durumunda SH performans düzeyi sağlanmıştır. LRB tipi izolatör modellerinin hepsi kesintisiz kullanım performans düzeyindedir. Ayrıca FPS ve Combo türü taban izolatörlü sistemlerin GKÖO için standart sapma değerleri, LRB tip izolatörlü modellerden ciddi oranda fazladır.



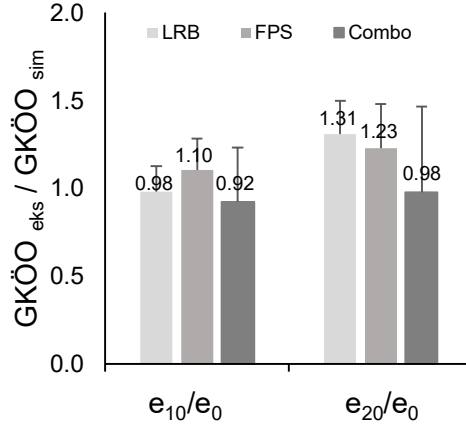
Şekil 7.7: Simetrik ve asimetric izolatörlü modellerde maksimum görelî kat ötelenme oranları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.

Taban izolatörlü sistemlerle ilgili önceki çalışmalarda burulma düzensizliğinin sismik davranış üzerinde önemli etkileri olabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak bu çalışmalarda sınırlı sayıda yer hareketi kaydı dikkate alınmıştır (Nagarajaiah ve diğ. 1993a, Nagarajaiah ve diğ. 1993b, Tena-Colunga ve diğ. 1997). Dinamik analizin doğası gereği sismik taleplerde yüksek oranda saçılım tez çalışması kapsamında gözlemlenmiştir. Şekil 7.8’de RSN-5815 kaydı için 7 katlı modelin GKÖO profilleri örnek olarak verilmiştir. Ortalama sonuçlardaki farklılıklar, LRB tipi izolatörlerin e0

ve e10 eksantrisitesi için ihmal edilebilir düzeydeyken; RSN-5815 kaydı için e0 eksantrisite modeli, e10 eksantrisite modeline kıyasla neredeyse %100 daha yüksek GKÖO değeri hesaplanmıştır. Aynı yer hareketi kaydı için %20 eksantrisiteye sahip FPS tipi izolatör için de benzer bir eğilim görülmektedir. Combo tipi izolatörlü modelde ise eksantrisite oranlarına göre büyük farklılıklar olmasa da en büyük ötelenme oranları e0 eksantrisiteli modelde hesaplanmıştır. Yer değiştirme talepleri büyük ölçüde yer hareketi kayıtlarının doğasına bağlı olduğundan, birkaç kaydın kullanılması, 11 çift yer hareketi kaydının ortalama taleplerine kıyasla oldukça farklı taleplerle sonuçlanabilir. 11 çift yer hareketi kaydı kullanılarak ortalama yer değiştirme taleplerine dayalı değerlendirme, asimetrinin etkisinin temel izole sistemler üzerinde sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, kullanılan ivme kayıt sayısı oldukça önemlidir. Tez çalışmanın sonuçları, önceki çalışmalarda belirtildiği gibi dinamik analizde yer hareketi kayıtlarının sayısının dikkatli seçiminin altını çizmektedir (Huang 2008).



Şekil 7.8: RSN-5815 ivme kaydı için 7 katlı taban izolatörlü modellerin GKÖO profilleri a) LRB, b)FPS, c) Combo.



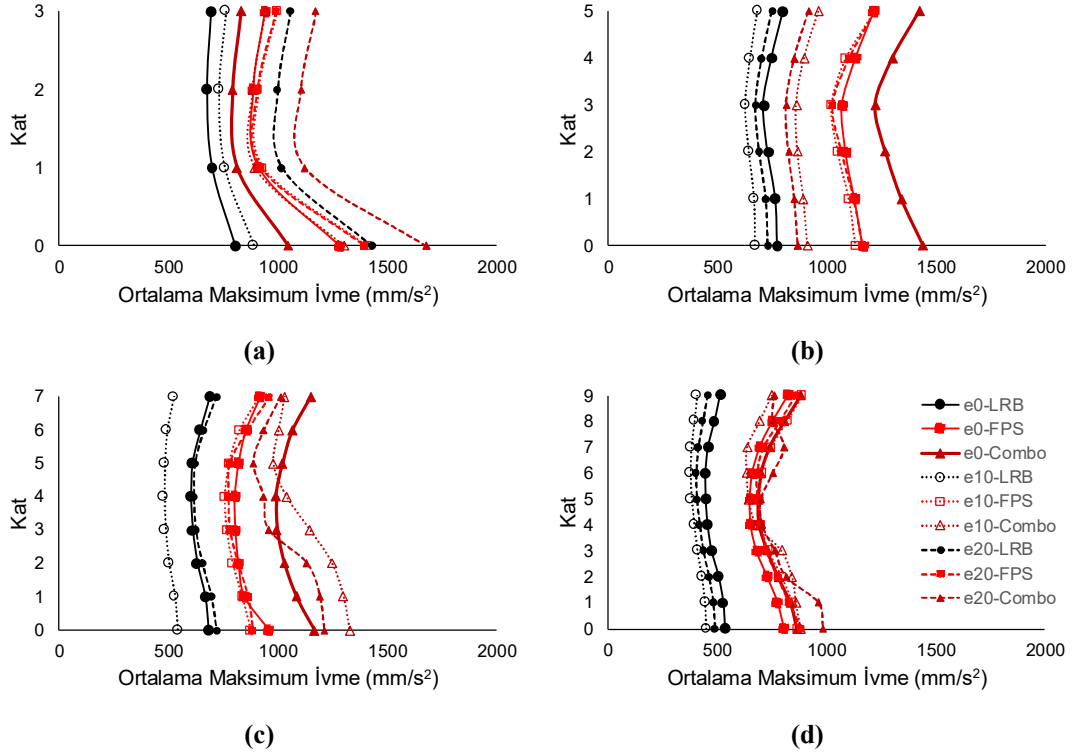
Şekil 7.9: Asimetrik izolatörlü modellerin simetrik modellere göre GKÖÖ.

Taban izolatörlü tüm bina modellerinin ortalama GKÖÖ değerleri, Şekil 7.9’da simetrik ve asimetrik modeller için karşılaştırılmıştır. Kat sayısına bakılmaksızın tüm modeller birlikte değerlendirildiğinde, taban izole e20 modelleri, simetrik modellere göre LRB ve FPS tip izolatörlü modellerde en az %23 daha yüksek GKÖÖ değerleri talep etmektedir. Combo izolatörlü e20 modelleri ise ortalama olarak simetrik modellere göre asimetrik modellerde %2’lik bir düşüş hesaplanırsa da standart sapmalar dikkate alındığında %47’lik bir artış talep etmektedir.

GKÖÖ sonuçları dikkate alınarak genel bir değerlendirme yapıldığında, asimetri nedeniyle önemli farklılıklar olan durumlar olmasına rağmen, hemen hemen tüm GKÖÖ değerleri KK hasar seviyesi içindedir. Bu nedenle, ortalama GKÖÖ değerleri için, tez çalışması kapsamında ele alınan tüm modellerin kabul edilebilir bir düzeyde olduğu varsayılabilir.

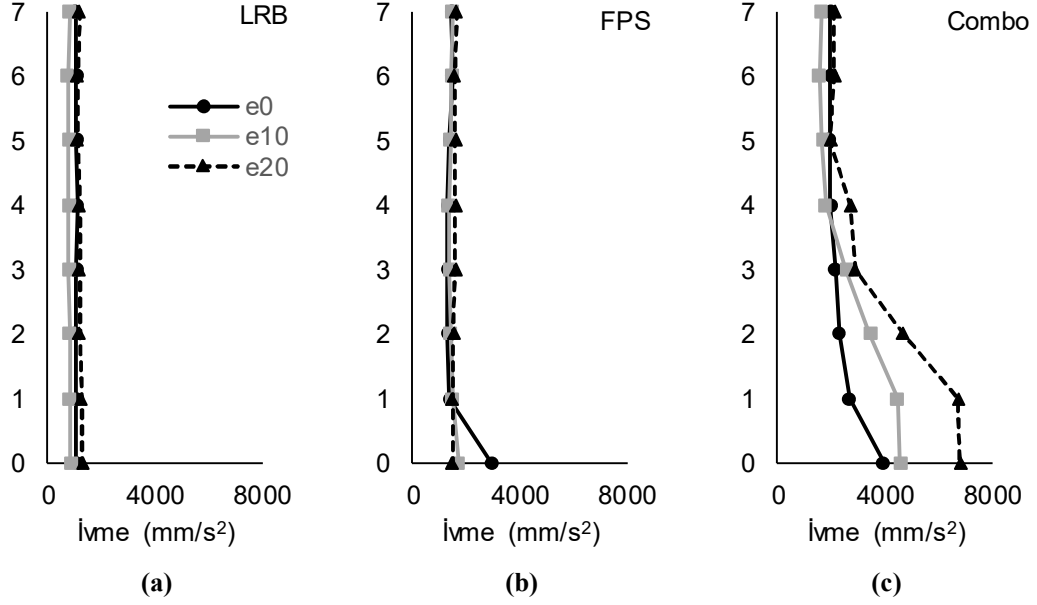
7.1.3 İvme Taleplerinin Karşılaştırılması

Taban izolatörlü sistemlerde, üst yapıya aktarılan ivmenin büyüklüğü arttıkça ötelenme oranlarının artması kuvvetli muhtemeldir. Bu nedenle taban izolatörlü bir sisteme etkileyen ve üst yapıya aktarılan ivme taleplerinin irdelenmesi oldukça önemlidir. Üst yapıya aktarılan ivme taleplerinin büyüklüğünde sistemin simetrik veya asimetrik olmasının etkisi ise kullanılan izolatör türleri de dikkate alınarak Şekil 7.10’da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 7.10: Simetrik ve asimetrik modellerin maksimum ivme profillerinin karşılaştırması a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.

Şekil 7.10 irdelendiğinde en düşük ivme talepleri genel olarak LRB tip izolatörlü modellerde oluşurken en büyük ivme talepleri genellikle Combo modellerde oluşmaktadır. FPS ve Combo modelde kullanılan sürtünme esaslı izolatör türleri sistemde hareket başlayana kadar ankastre mesnetli bir yapı gibi davrandığından, bu tür izolatörlü sistemlerin alt katlarında daha büyük ivme talepleri oluşarak, katlar arasındaki ivme talepleri LRB tip izolatörlü modellere göre daha değişken olmaktadır (Mazza 2017). Öte yandan, sistemin simetrik veya asimetrik olması ortalama değerler üzerinde çok büyük bir etkiye sahip değildir. Ancak her ivme kaydı kendi içinde değerlendirildiğinde farklılıkların oluşabileceği unutulmamalıdır. Şekil 7.11’de RSN-5815 kaydı için 7 katlı simetrik ve asimetrik modellerin farklı izolatör türlerine göre ivme talepleri verilmiştir. LRB tip izolatörlü sistemlerde sistemin simetrisi ivme taleplerini önemli derecede değiştirmemesine rağmen, FPS izolatörlü türlerde simetrik durum için en büyük talepler elde edilmiş, Combo izolatörlü modellerde ise ivme taleplerinin katlara dağılımı sistemin simetrisinden ciddi oranda etkilenmiş ve eksantrisite oranı arttıkça profilin düşey dağılımı artmıştır.



Şekil 7.11: Simetrik ve asimetrik modellerin maksimum ivme profillerinin RSN-5815 kaydı için karşılaştırması a) LRB, b) FPS, c) Combo.

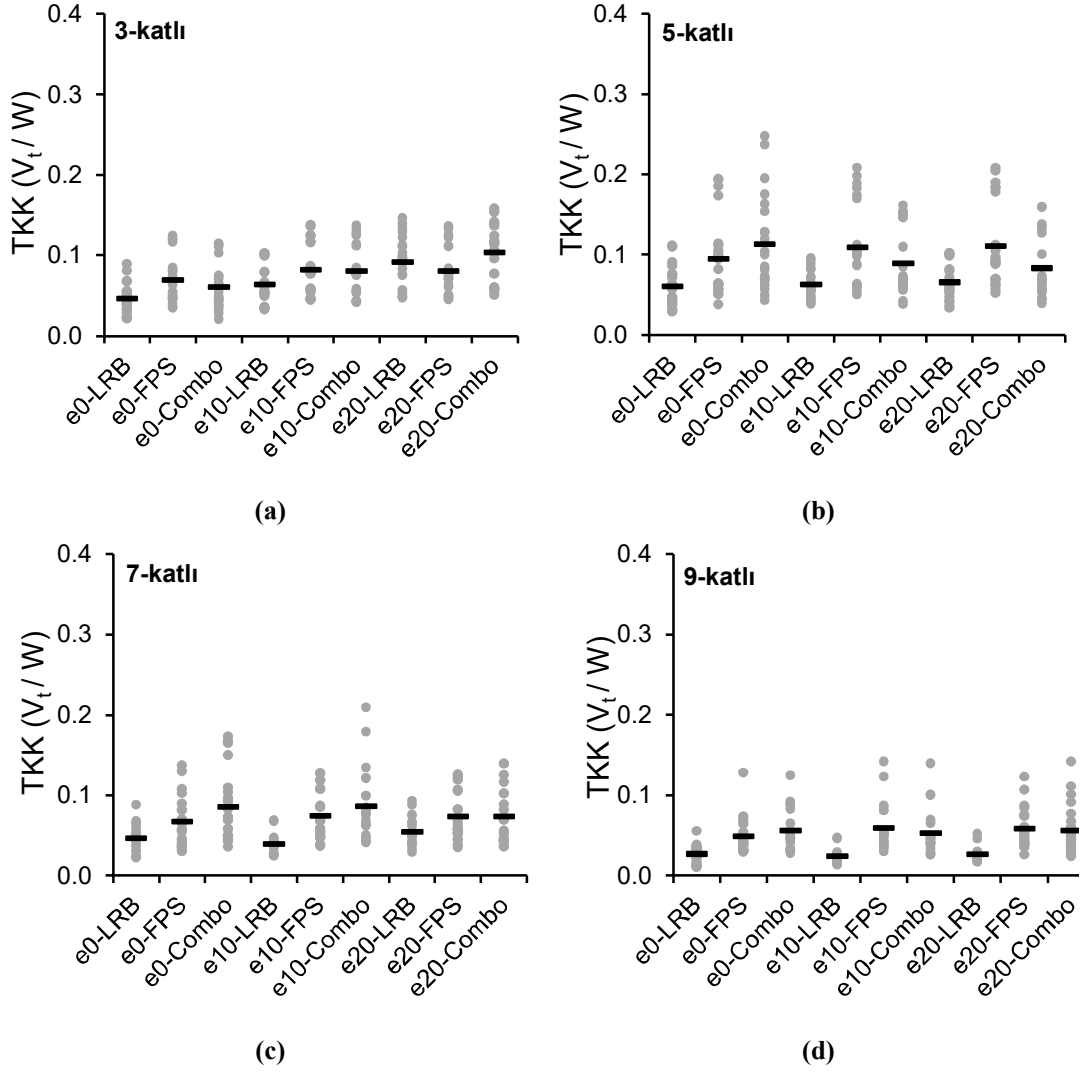
7.1.4 Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Taban kesme kuvvetinin büyüklüğü katlara dağılan deprem kuvvetinin belirleyicisi olduğu için, kullanılan izolatör türü dikkate alınarak sistem asimetrisinin bu dağılımı nasıl etkilediği merak konusu olmuştur. Şekil 7.12’de ZTA dinamik analizler sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvvetleri bina sismik ağırlığı ile normalize edilerek taban kesme katsayısı (TKK) elde edilmiştir. Böylece kullanılan izolatör türleri ve farklı eksantrisite oranlarına göre hesaplanan TKK değerleri, bina ağırlığından bağımsız olarak karşılaştırılmıştır.

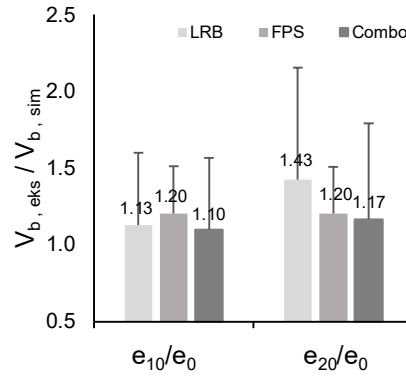
TKK hesaplanırken, FPS ve Combo modellerde daha büyük ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. LRB tip izolatörlü modellerde görece daha küçük ve dar saçılımlı katsayılar elde edilmiştir. Kullanılan izolatör türüne ve statik eksantrisite oranına göre TKK ile doğrusal bir artış ya da azalış trendi yakalanamamıştır.

Taban izolatörlü modellerin izolatör türleri dikkate alınarak simetrik ve asimetrik modeller için ortalama taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması Şekil 7.13’te verilmiştir. Eksantrisite oranındaki artış, taban kesme kuvvetini en az %10

oranında arttırmıştır. Eksantrisite artışına karşı en hassas davranışı LRB tip izolatörlü modeller, en kararlı davranışı ise FPS tip izolatörlü modeller göstermiştir.



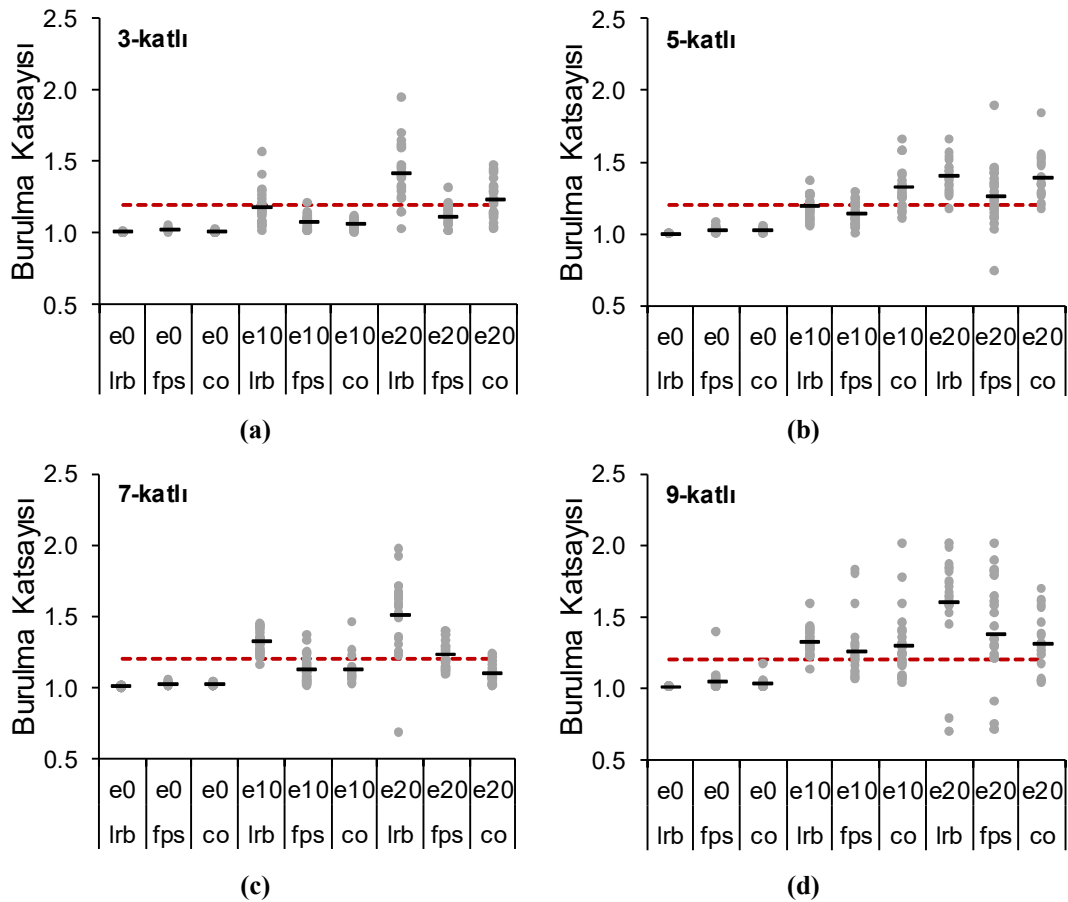
Şekil 7.12: Simetrik ve asimetric modellerin taban kesme katsayılarının karşılaştırması a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.



Şekil 7.13: Taban izolatörlü asimetric modellerin taban kesme kuvvetinin simetrik modeller ile karşılaştırılması.

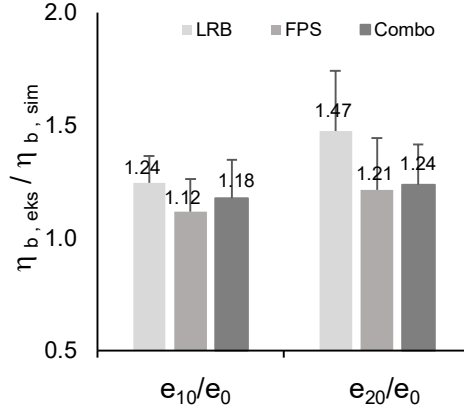
7.1.5 Burulma Katsayıları

TBDY-2018’de tanımlanan burulma katsayıları, maksimum GKÖO anında hesaplanmış ve Şekil 7.14’te gösterilmiştir. Burulma düzensizlik katsayısı sınırı olan 1.2 şekilde ayrıca belirtilmiştir. Taban izolatörlü binaların simetrik modelleri için tüm katsayı değerleri, burulma düzensizliği sınırından daha küçüktür. Eksantrisite oranı arttıkça beklenebileceği gibi burulma düzensizlik katsayısı değerleri de artmaktadır. Eksantrisite oranı %10 olan asimetrik modellerin ortalama burulma katsayı değerleri düzensizlik sınır değeri yakınında olmasına rağmen, sınır değerini aşan önemli sayıda durum vardır. Ayrıca eksantrisite oranı %20 olan asimetrik modellerin ortalama katsayı değerleri 3 katlı FPS ve 7 katlı Combo modeller haricinde sınır değerinin üzerindedir. Sonuçlar, izolatör arayüzündeki eksantrisitenin üst yapıda burulma düzensizliğine neden olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca, LRB tipi izolatörler, FPS ve Combo tipi izolatörlere kıyasla burulma düzensizliğine karşı daha savunmasızdır.



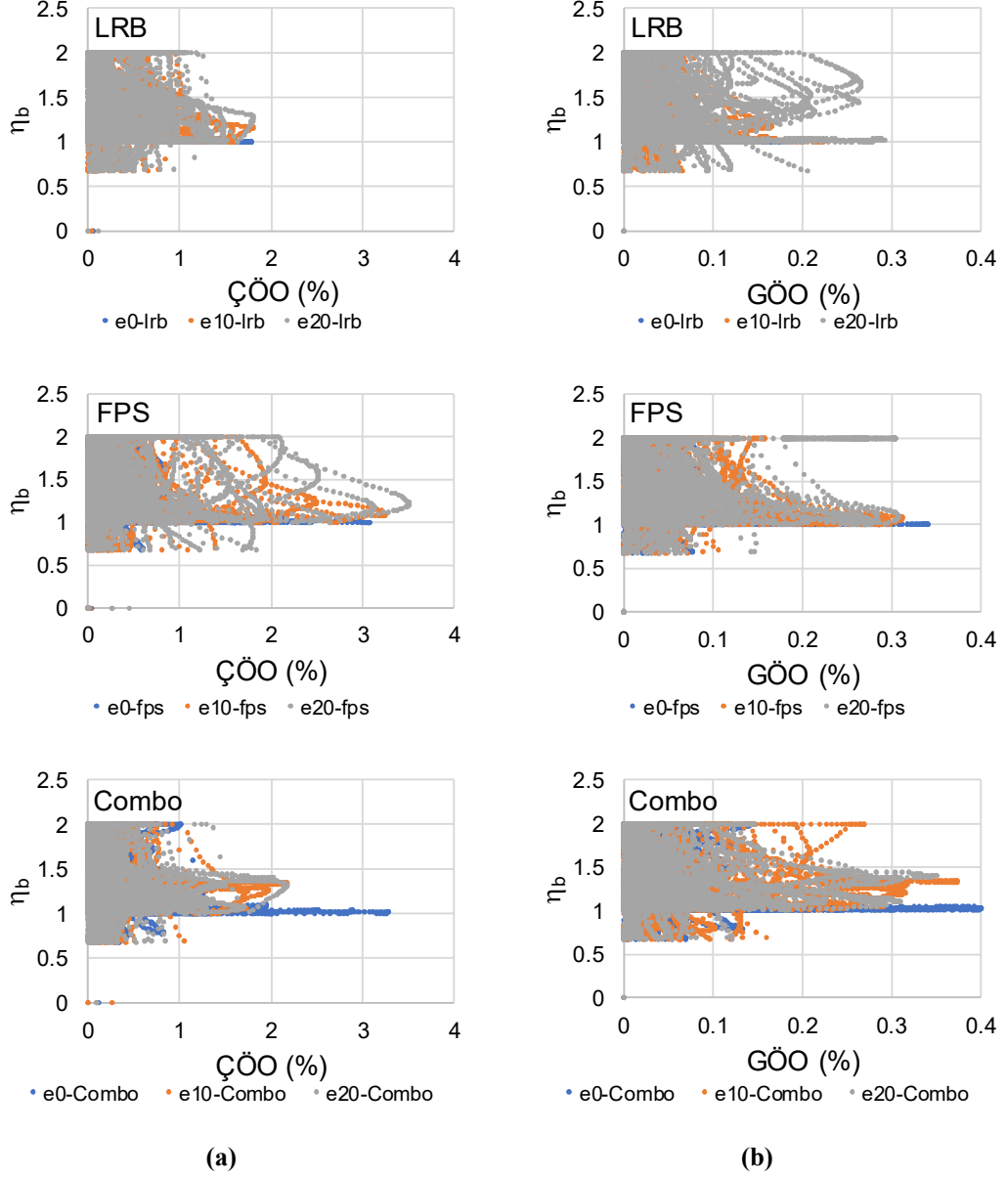
Şekil 7.14: Taban izolatörlü modeller için burulma katsayıları a)3 katlı, b)5 katlı, c)7 katlı, d)9 katlı.

Asimetrik sistemin ortalama burulma katsayı değerlerinin simetrik sisteme oranı Şekil 7.15'te verilmiştir. LRB tipi izolatör modelleri için burulma düzensizlik katsayısının hem saçılım hem de ortalama değerleri oldukça yüksektir. Eksantrisite oranının %20 olması durumunda, LRB modellerinin burulma düzensizlik katsayı değerleri, ortalamalar açısından simetrik modellere göre %47 daha yüksektir. FPS tipi izolatörün kullanıldığı modeller ise asimetriden en az etkilenen modellerdir.



Şekil 7.15: Taban izolatörlü asimetrik modellerin simetrik modellere göre burulma katsayı oranları.

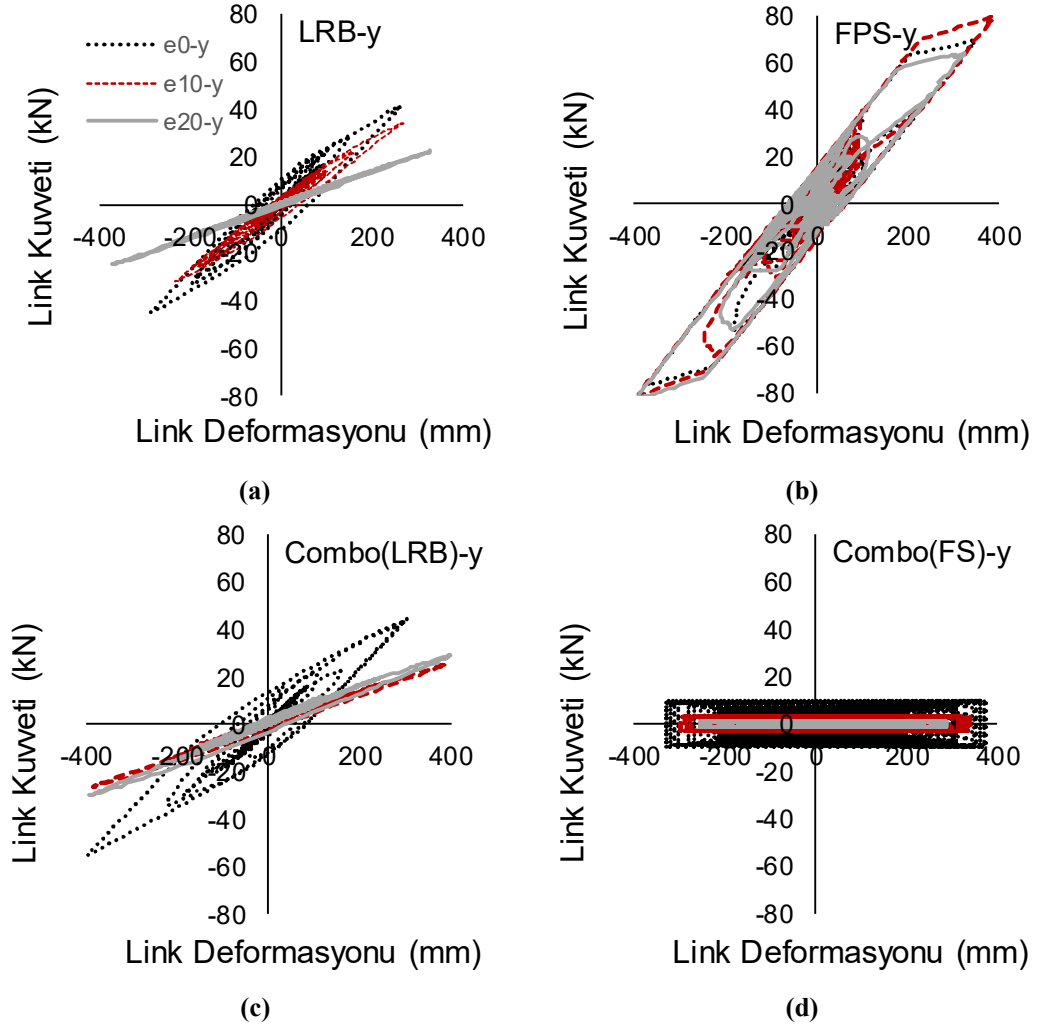
Taleplerin önemli bir kısmı izolatör sistemi tarafından karşılandığından, üst yapıya kalan sismik talepler nispeten daha küçüktür. Deprem kaydı süresince hesaplanan ÇÖÖ ve GÖÖ geçmişi için burulma düzensizliği katsayısının değişimi, burulma düzensizliğinin üst yapı davranışı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için 5 katlı üst yapı modelinde RSN-1633 kaydı kullanılarak Şekil 7.16'da örnek olarak verilmiştir. Tüm yer hareketi kayıtlarında benzer eğilimler gözlemlendiği için bu grafikler tüm setler için ayrı ayrı verilmemiştir. Şekil 7.16, ÇÖÖ ve GÖÖ değerleri için burulma düzensizliği faktörünün saçılımının zamana bağlı değişimini göstermektedir. Taban izolasyon modellerinde eksantrisite oranı arttıkça, maksimum değerlere yaklaşan burulma katsayılarının frekansı (sıklığı) önemli ölçüde artmaktadır. Yapısal davranış, burulma düzensizliği nedeniyle bozulsa da temel izolatör sistemi tarafından taleplerin önemli ölçüde sönümlenmesi nedeniyle etkisi sınırlıdır. Bu nedenle burulma davranışının izolatör davranışı üzerindeki etkilerinin üst yapı davranışından daha fazla araştırılması önemlidir.



Şekil 7.16: RSN-1633 kaydı için burulma katsayısı (η_b) dağılımı a) ÇÖÖ, b) GÖÖ.

7.1.6 Histeresis Çevrimlerin Karşılaştırılması

Simetrik yapılarda olduğu gibi asimetrik yapılarda da izolatörlerin histeresis eğrileri sönmülenen enerjinin bir göstergesi olduğu için oldukça önemlidir. Eksantrisite oranındaki artış ile sönmülenen enerji miktarlarının kullanılan izolatör türüne göre karşılaştırması Şekil 7.17’de RSN-5815 kaydı için örnek olarak verilmiştir.

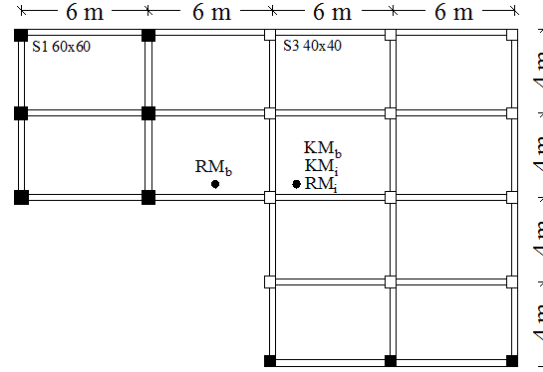


Şekil 7.17: RSN-5815 kaydı için 7 katlı modellerde izolator türlerine göre histeretik çevrimler a) LRB, b) FPS, c) Combo (LRB), d) Combo (FS).

Şekil 7.17'ye göre sadece LRB izolatörün kullanıldığı modellerde özellikle %20 statik eksantrisite oranında sönmülenen enerji miktarı ciddi oranda azalmıştır. FPS tip izolatörlü modeller, eksantrisite artışından en az etkilenen model olmuştur. Combo modelde ise LRB izolatörlerin %10 eksantrisite artışında ciddi oranda enerji sönmüleme miktarları azalmıştır. Sadece LRB izolatörün kullanıldığı modelde %10 eksantrisitede az miktar düşüş görülürken, FS tip izolatörlerin sisteme dahil edilmesi ile, LRB izolatörlerin eksantrisiteye karşı duyarlılığı artmıştır. FS tip izolatörlerde ise eksantrisite artışıyla birlikte deplasman taleplerinde önemli bir değişiklik görülmezken, izolatöre gelen kuvvet taleplerinde bir miktar düşüş görülmüştür.

7.2 Asimetrik Üstyapının İzolatörlü Sistemlerin Performansı Üzerindeki Etkileri

Taban izolatörlü sistemlerde yer değiştirme taleplerinin önemli bir kısmı izolatör arayüzünde sönmüldüğünden üst yapıya aktarılan talepler oldukça küçüktür. Öyle ki, Bölüm 7.1’de, kullanılan izolatör türü ve eksantrisite oranından bağımsız olarak sisteme gelen yer değiştirme taleplerinin %90’dan fazlasının izolatör arayüzünde sönmüldüğü hesaplanmıştır. Bu nedenle üstyapı planındaki burulma düzensizliğinin çok sınırlı bir etkiye sahip olacağı tahmin edilebilir. Ancak burulma büyütmeleri açısından en kritik ikinci yerleşim planı, Durum 2 olarak belirlendiği için, bu başlık altında Durum 2’yi temsil eden düzensiz rijitlik dağılımına sahip üst yapıdaki deprem davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında, modellenen binaya ait kalıp planı Şekil 7.18’de verilmiştir. Taban izolatörlü bina sistemi genel olarak elastik sınırlar içinde kaldığı için bu bölümde yapısal elemanların doğrusal elastik davranışı dikkate alınmıştır.



Şekil 7.18: Düzensiz üst yapıya ait kalıp planı.

Bu araştırma için sadece x doğrultusunda %20 statik eksantrisiteye ($e_{bx} / L = 0.2$) sahip 5 katlı üç boyutlu perde duvarları olmayan L şeklinde kalıp planına sahip betonarme karkas bina kullanılmıştır. Burulma düzensizliğine sahip üst yapı deprem performansının, ankastre mesnetli ve LRB, FPS ve Combo tipi taban izolatörlü sistemler için nasıl değiştiği irdelenmiştir. Taban izolatör türlerinin sismik davranış üzerindeki etkisini doğru bir şekilde karşılaştırmak için tasarım aşamasında izolatörler için aynı hedef deplasman değeri (40 cm) kullanılmıştır. Üstyapıya ait tasarım parametreleri ve taban izolatör türlerine bağlı olarak değişen izolatör tasarım parametreleri Tablo 7.1’de verilmiştir. 11 çift deprem kaydına tabi tutulan 3 boyutlu 5

katlı modellerin toplam 88 farklı doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 7.1: Düzensiz üstyapıda izolatör türüne göre tasarım parametreleri.

Parametre	Birim	LRB	Parametre	Birim	FPS	Parametre	Birim	FS
P_{DL+LL}	kN	682	P_{DL+LL}	kN	682	P_{DL+LL}	kN	682
d_p	mm	67	k_e	kN/m	445	k_e	kN/m	10E+10
d	m	0.55	k_2	kN/m	99	k_2	kN/m	0
t_r	m	0.65	μ	-	0.03	μ	-	0.08
k_v	kN/m	186035	R	m	2.24	R	m	∞
k_c	kN/m	305	ξ_{eff}	-	0.24	D_{max}	m	0.40
k_2	kN/m	209	D_{max}	m	0.40			
F_y	kN	31.3						
k_2/k_1	-	0.54						
ξ_{eff}	-	0.20						
D_{max}	m	0.40						

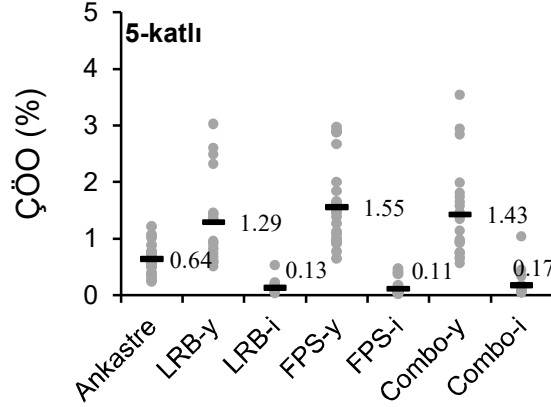
Analizler sonucunda elde edilen deplasman, görelî kat ötelenme oranı, ivme talepleri, taban kesme kuvvetleri ve burulma katsayılarına bağılı performans değerlendirmeleri izolatör türüne ve statik eksantrisite oranlarına göre karşılaştırılmıştır.

7.2.1 Çatı Deplasman Taleplerinin Karşılaştırılması

Ankastre mesnetli geleneksel modellerin ve taban izolatörlü modellerin doğrusal olmayan ZTA’da dinamik analiz yöntemi ile en büyük çatı yer değıştirmeleri SRSS metodu ile belirlenmiştir. Deprem kayıtlarına göre elde edilen maksimum çatı ve izolatör deplasman talepleri kullanılarak, ortalama maksimum izolatör ve çatı deplasman talepleri hesaplanmıştır. Kat yüksekliğinden bağımsız olarak değerlendirme yapılabilmesi için ÇÖÖ’ları dikkate alınmıştır. Hesaplanan ÇÖÖ’ları Şekil 7.19’da yere göre (-y) ve izolatör arayüzüne göre (-i) ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

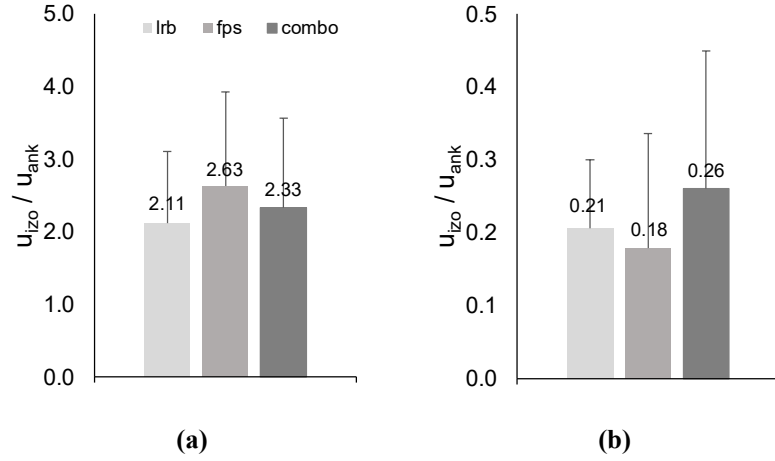
Elde edilen sonuçlar, tüm modeller için ayrı ayrı yer hareketi kayıtlarının yer değıştirme taleplerinde önemli bir dağılım olduğunu göstermektedir (Şekil 7.19). Ankastre mesnetli modelde, beklenilebileceğı gibi taban izolatörlü modellerin yere göre deplasman değerinden daha küçük ama izolatör arayüzüne göre yapılan deplasman değerinden daha büyük talepler hesaplanmıştır. Modellerde kullanılan izolatör türlerine göre Şekil 7.19 incelendiğinde ise, FPS ve Combo tipi taban izolatörlü binaların, LRB tipi taban izolatörlü binalara kıyasla yere göre daha yüksek

çatı ötelenme taleplerine sahip olduğu söylenebilir. İzolatör arayüzüne göre deplasman talepleri değerlendirildiğinde ise LRB ve Combo tip izolatörlü modeller için daha büyük hesaplanmıştır. Taban izolatörlü modellerde en büyük deplasman taleplerinin yere göre ve izolatör arayüzüne göre farklı izolatör türleri arasında değişmesinin sebebi, kullanılan izolatör deplasman kapasitesine bağlı olarak üst yapı sünekliğinden faydalanıp/faydalanılmaması olarak değerlendirilmiştir.



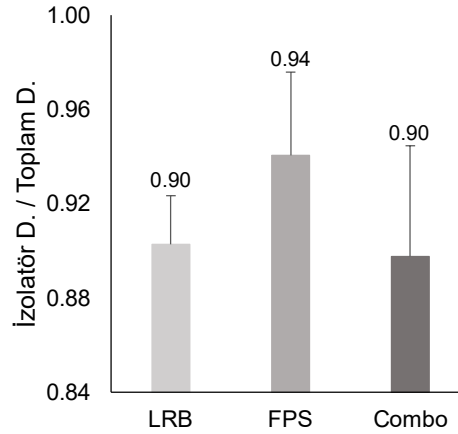
Şekil 7.19: Düzensiz üst yapıya ait maksimum çatı ötelenme oranları.

Taban izolatörlü modellerin maksimum tepe deplasman taleplerinin ankastr mesnetli modellerin maksimum tepe deplasman taleplerine oranları (u_{izo}/u_{ank}) da Şekil 7.20'de gösterilmektedir. Taban izolatörlü modellerde çatı katında yere göre hesaplanan ortalama maksimum yer değiştirme talepleri, ankastr mesnetli modele göre en az 2.11 kat artarken (LRB modellerinde), standart sapmalar dikkate alındığında FPS tipi modellerde bu artışın 3.99 kata kadar çıktığını söylemek mümkündür (Şekil 7.20a). Bununla birlikte, izolatör arayüzünde sönmüldikten sonra üst yapıya aktarılan deplasman talepleri ankastr mesnetli modelin maksimum deplasman talebine oranlandığında, en fazla %26 olarak Combo tipi izolatörlü modellerde ve en az %18 olarak FPS tipi izolatörlü modellerde hesaplanmıştır (Şekil 7.20b). Ortalama değerler ile standart sapma değerleri birlikte değerlendirildiğinde ise, üst yapıya aktarılan talepler en fazla Combo tip izolatörlü, en az LRB tip izolatörlü modellerde hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, düzensiz üst yapıya sahip binalarda izolatör sistemi, talepleri en az %45 oranında azaltmıştır.



Şekil 7.20: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modellere göre maksimum deplasman talepleri oranı a) yere göre, b) izolatör arayüzüne göre.

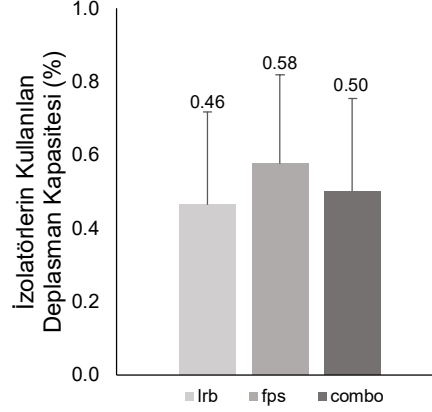
İzolatörün maksimum yer değiştirmesinin, binanın toplam yer değiştirmesine oranı Şekil 7.21’de verilmiştir. İzolatör türüne bakılmaksızın, yer değiştirme taleplerinin %90’ından fazlası izolatör sistemi tarafından karşılanmıştır. Taban izolasyon sisteminin, seçilen ivme kayıtları kullanılarak yapılan ZTA dinamik analizlerin sonucunda, üst yapıdaki düzensiz rijitlik dağılımına rağmen, üst yapı deplasman taleplerini önemli ölçüde azalttığını söylemek mümkündür. Ayrıca toplam izolatör rijitlik değerlerinin, izolatör yer değiştirme talepleri üzerinde çok sınırlı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 7.21: İzolatör deplasmanının toplam deplasmana oranı.

İzolatör deplasman kapasitesinin ortalama kullanım oranı Şekil 7.22’de verilmiştir. Kullanılan izolatör kapasiteleri LRB, FPS ve Combo tipi izolatörler için sırasıyla %46, %58 ve %50 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar açıkça gösteriyor ki, aynı

tasarım yer değiştirme değerine göre modellenen izolatörlerden kapasite kullanım oranı en yüksek ve en düşük olan izolatör türleri sırasıyla, eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç (FPS) ve kurşun dolgululu kauçuk (LRB) tip izolatörlerdir. Sonuçlar ayrı ayrı incelendiğinde, bazı yer hareketi kayıtları için kapasite kullanım oranının FPS tipi izolatörlerde %82'ye yaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle, ortalama değerlere dayalı bir değerlendirme yapmak yanılıtıcı olabilmektedir.



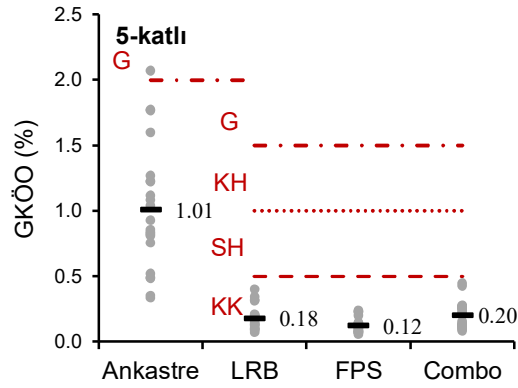
şekil 7.22: İzolatör türüne göre kullanılan deplasman kapasiteleri.

7.2.2 Göreli telenme Taleplerinin Karşılaştırılması

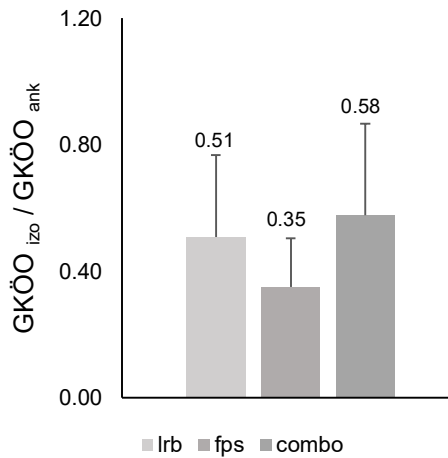
Düzensiz rijitlik dağılımına sahip ankastre mesnetli ve izolatörlü modellerin katlar arası göreli ötelenme oranlarının (GK) değerlendirilmesi şekil 7.23'te verilmiştir. Genel bir değerlendirme yapabilmek için her deprem kaydında elde edilen maksimum GK ile hesaplanan ortalama değerler şekil üzerinde ayrıca belirtilmiştir. şekil 7.23'te ifade edilen bir diğer parametre, TBDY-2018'e (TBDY 2018) göre ankastre mesnetli binalar için %2 GK için göçme (G) hasar sınırı ile taban izolatörlü binaların GK'na göre kesintisiz kullanım (KK), sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme (G) hasar sınırlarıdır.

GK değerleri incelendiğinde, izole edilmiş tüm modellerin kesintisiz kullanım (KK) performans seviyesinde olduğunu göstermektedir. Genel olarak, FPS tipi izolatör modellerinde, LRB ve Combo tipi izolatör modellerine kıyasla daha küçük GK hesaplanmıştır. Bunun sebebi, burulma davranışına karşı FPS tip izolatörün kendini yeniden merkezleme mekanizmasının diğer izolatörlerden farklı olması ve

özellikle burulma davranışına karşı daha iyi performans göstermesi olarak yorumlanmıştır. Combo modelde FS tip izolatörlerin geri çağırıcı kuvvet üretememesi nedeniyle, sadece LRB tip izolatörün kullanıldığı modele göre daha büyük ötelenme taleplerinin elde edildiği düşünülmektedir. Taban izolatörlü modeller arasındaki fark, düzenli binalarda olduğu gibi yok denilecek kadar azdır. Ancak ankastre mesnetli geleneksel modellerde durum oldukça farklıdır. TBDY-2018’de taban izolatörlü binalar için verilen performans sınırlarına göre, ankastre mesnetli modeller ortalamalar açısından genel olarak sınırlı hasar seviyesinde olmalarına rağmen, deprem bazında incelendiğinde, önemli sayıda modelin kontrollü hasar ve göçme durumuna ulaştığı görülmektedir. TBDY-2018’de ankastre mesnetli modeller için belirtilen %2’lik GKÖO ise 5 katlı model için bir deprem durumunda aşılmaktadır. Ancak TBDY-2018 yönetmeliğine göre tasarımları kabul edilebilir düzeyde kalmıştır.



Şekil 7.23: Maksimum görelî kat ötelenme oranları.



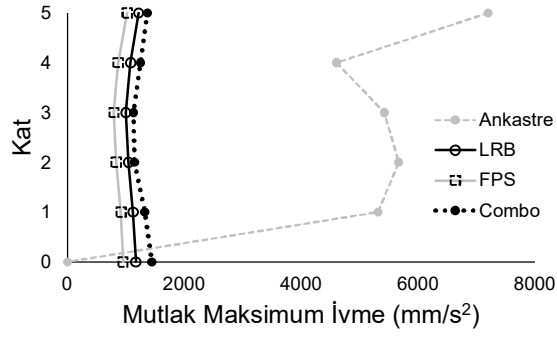
Şekil 7.24: Taban izolatörlü modellerin ankastre mesnetli modele göre GKÖO.

Taban izolatörlü modellerin maksimum GKÖO, ankastre mesnetli modellerin maksimum GKÖO'na göre oranı, Şekil 7.24'te taban izolatörlü modeller için karşılaştırılmıştır. Geleneksel modeller, taban izolatörlü modellere göre en az %32 daha yüksek GKÖO'na sahiptir. İzolatör türüne göre ortalama değerler açısından farklılık en fazla %39.6 olarak hesaplanmıştır. Hem ortalama değerler açısından hem de standart sapmalar açısından en az görelî ötelenme hesaplanan tür FPS tip izolatörler olmuştur.

GKÖO açısından genel bir değerlendirme yapıldığında, kullanılan ivme kaydına bağılı olarak izolatör türleri arasında önemli farkların oluşabildiği durumlar olsa da tüm GKÖO değerleri taban izolatörlü modellerde KK performans düzeyindedir. Bu nedenle, burulma düzensizliğine sahip bir üst yapıda, elastomerik ve sürtünme esaslı taban izolasyon sistemlerinin kurulumu, GKÖO'larını neredeyse tekdüze hale getirerek değerleri hasarsız aralığa indirgemiş ve izolatör sisteminin etkinliğini koruduğu görülmüştür. Kullanılan izolatör türünün sonuçlar üzerinde önemli bir etkisinin olmamakla birlikte üst yapı açısından binayı en çok elastik sınırlar içinde tutan izolatör türü FPS tip izolatör olarak belirlenmiştir. Ancak ankastre mesnetli geleneksel modellerde pek çok ivme kaydı için KH ve G performans düzeyine ulaşıldığı için, taban izolatörlü modeller ile arasında ciddi farklılıklar söz konusudur. Taban izolatör sisteminin, katlar arası görelî ötelenme oranlarını dikkate değer bir şekilde düşürerek, geleneksel modellere göre sismik performansı iyileştirdiği kesin olarak söylenebilmektedir.

7.2.3 İvme Taleplerinin Karşılaştırılması

Ankastre mesnetli ve taban izolatörlü modellerin katlara göre ortalama maksimum ivme talepleri Şekil 7.25'te verilmiştir. Buna göre ankastre mesnetli modeller ile taban izolatörlü modellerin ivme talepleri arasında önemli bir farklılık söz konusudur. Bu fark, minimum %80.9 olarak Combo modelde ve maksimum %85.6 olarak FPS modelde ankastre mesnetli modellere göre daha az hesaplanmıştır. Ayrıca, ankastre mesnetli modellerin ivme talepleri katlar arasında oldukça değişken iken, taban izolatörlü modellerde katlar arasındaki değişim yok denilecek kadar azdır.

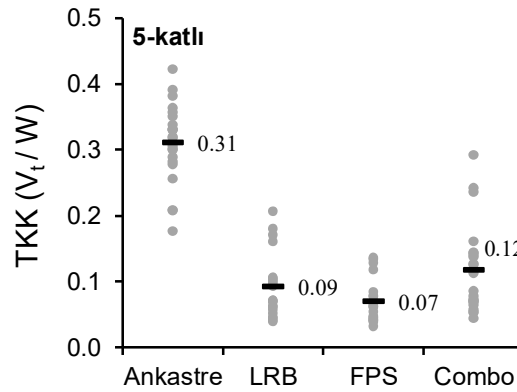


Şekil 7.25: Katlara göre ortalama maksimum ivme profilleri.

7.2.4 Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Binaya gelen deprem taleplerinin değerlendirilmesinde önceki bölümlerde olduğu gibi, ZTA dinamik analizler sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvvetleri bina ağırlığı ile normalize edilerek taban kesme katsayısı (TKK) elde edilmiştir. Böylece bina ağırlığından bağımsız olarak kullanılan izolatör türleri de dikkate alınarak TKK'ye göre karşılaştırma yapılmıştır.

Üstyapı ve izolatör arayüzünde düzensizlik olmadığı durumda ankastre mesnetli 5 katlı model ($W=12753.8$ kN) için TKK yaklaşık olarak 0.24 olarak hesaplanmıştır. Üst yapıda rijitlik düzensizliği olması durumunda ($W=10779.5$ kN) ise bu katsayı 0.31 olarak hesaplanmıştır. Bina ağırlığı değiştiği için tam bir kıyaslama yapmak mümkün olmasa da standart sapma değerlerinin düzensiz üst yapı için arttığı görülmüştür.

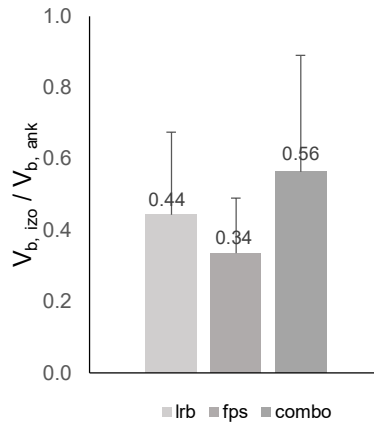


Şekil 7.26: Maksimum taban kesme katsayılarının karşılaştırılması.

Şekil 7.26'da görüldüğü gibi ankastre mesnetli geleneksel modellerde TKK, taban izolatörlü modellere göre çok daha yüksektir. Taban izolatörlü modellerde ise

büyükten küçüğe doğru taban kesme katsayıları Combo, LRB ve FPS tip izolatörlerde hesaplanmıştır. En büyük taban kesme katsayısının Combo modelde oluşmasının nedeni FS tip izolatörlerin düz kayıcı bir sistem üzerinde hareket etmesi ve ürettiği tek yanal kuvvetin yüzeyin sahip olduğu sürtünme katsayısı kadar olmasıdır (Mazza ve diğ., 2018).

Şekil 7.27’de taban izolatörlü modellerin taban kesme kuvveti ankastre mesnetli modellerin taban kesme kuvveti ile oranlanmıştır. Böylece kullanılan izolatör türüne göre taban kesme kuvvetindeki düşüş, oransal olarak değerlendirilmiştir. Ankastre mesnetli modellere göre taban izolatörlü modellerin taban kesme kuvveti, ortalama olarak en az %44 oranında Combo modellerde, en çok %66 oranında FPS modellerde azalmıştır. Standart sapmalar dikkate alındığında taban izolatörlü modellerde taban kesme kuvvetindeki azalma en az %12 olarak Combo tip izolatörlü modellerde hesaplanmıştır.

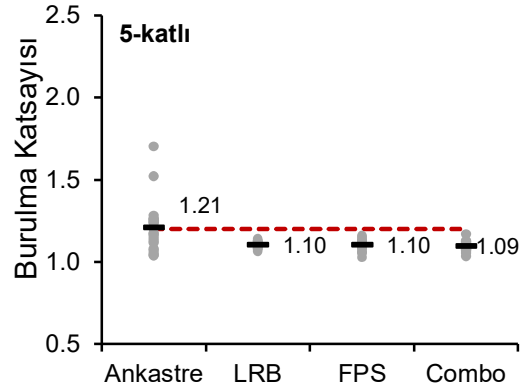


Şekil 7.27: Taban kesme kuvvetinin taban izolatörlü ve ankastre mesnetli modeller ile karşılaştırılması.

7.2.5 Burulma Katsayıları

TBDY-2018’de tanımlanan burulma katsayıları, maksimum GKÖO anında hesaplanmış ve Şekil 7.28’de gösterilmiştir. Burulma düzensizlik katsayısı sınırı olan 1.2 şekilde ayrıca belirtilmiştir. Üstyapıdaki düzensiz rijitlik dağılımı, ankastre mesnetli model için burulma düzensizliğine neden olurken, taban izolatörlü binalarda üstyapıda burulma düzensizliği hiçbir deprem durumunda görülmemiştir. Ankastre mesnetli model için dikkate değer sayıdaki deprem durumu için 1.2 sınır değerinin

aşıldığı ve standart sapmanın fazla olduğu görülmektedir. Sonuçlar, izolatör sisteminin üst yapıda %20 eksantrisiteye neden olan düzensiz rijitlik dağılımında, bu model için işlerliğini koruduğunu ve üst yapıda burulma düzensizliğinin oluşumunu engellediğini göstermektedir. Ayrıca, düzensiz üst yapı durumunda, burulma katsayıları açısından, kullanılan izolatör türüne göre farklılıkta görülmemiştir.



Şekil 7.28: Burulma katsayılarının karşılaştırılması.

Kullanılan izolatör türleri arasında ortalama ve standart sapma değerleri açısından önemli bir fark görülmezken, tüm izolatörlerin düzensiz üst yapıda burulma düzensizliği katsayılarını azaltarak düzensiz bir üst yapı gibi davranmasını sağladığı sonucuna varılabilir.

8. MALİYET ANALİZİ

Tez kapsamında irdelenen bir diğer konu taban izolatörlü modeller ile geleneksel modellerin maliyet farklılıklarının karşılaştırılması üzerine olmuştur. Geleneksel modellerde Kontrollü Hasar, taban izolatörlü modellerde ise Kesintisiz Kullanım veya Sınırlı Hasar Performans Düzeyleri hedeflendiği için, aslında bu tür bir maliyet analizi karşılaştırması gerçekçi olmayacaktır. Tam anlamıyla bir kıyaslama yapabilmek için aynı hedef performans düzeyi seçimi daha sağlıklı olacağı gibi, elde edilen sonuçlarla birlikte bu hususun dikkate alınmasının maliyet/fayda açısından yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Taban izolatörlü sistemlerde izolatör maliyeti pek çok değişkene bağlıdır. Bunlar izolatör türü, geometrisi, efektif alanı, yatay ve düşey rijitliği, elastisite modülü, kayma modülü, kayma gerilmesi, efektif sönüm oranı, akma dayanımı, yatay deplasman kapasitesi, eksenel yük taşıma kapasitesi, kurşun dolgulu ise dolgu çapı vb. çeşitlendirilebilir. İzolatör maliyetinin pek çok parametreye bağlı olması ve üretici firmaların birim fiyatlarını paylaşmaması nedeniyle tez kapsamında sadece üst yapı maliyetlerinin değişimi irdelenebilmiştir.

Taban izolatörlü modellerin üst yapılarına ait maliyet analizi yapıldığında, izolatörsüz ve izolatörlü hastahane binalarının tasarım parametrelerindeki değişim dikkate alınarak bu analizler gerçekleştirilmiştir. Tasarımın izolatörlü ve izolatörsüz olmasına göre değişen parametreler Tablo 8.1’de verilmiştir.

Tablo 8.1: Modellere ait tasarım parametreleri.

Parametre	İzolatörlü Model	Geleneksel Model
Bina Önem Katsayısı (I)	1	1.5
Bina Davranış Katsayısı (R)	1.2	8
Dayanım Fazlalığı (D)	1.2	3

Değişen bu parametrelere göre izolatörlü ve geleneksel modellerin üst yapısına ait beton, kalıp ve donatı miktarları değişiklik göstermiştir. İlgili parametreler için birim fiyatlar kullanılarak maliyet farklılıkları hesaplanmıştır. Simetrik 3, 5, 7 ve 9 katlı üst yapı modelleri(e0) için hesaplanmış maliyet analizleri Tablo 8.2-8.5’te verilmiştir. İrdelenen birim tarifleri için maliyetlerdeki değişim oranları ise Şekil 8.1’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 8.2: 3 katlı modellere ait maliyet analizi.

3 Katlı Bina Maliyet Analizi			İzolotörlü		İzolotörsüz		Fark (%)
Poz	Birim Fiyat Tarifi	Birim Fiyat	Miktar	Tutarı	Miktar	Tutarı	
16.059/1	C30 Hazır Beton	291.94/ m ³	128.34	37468	140.5	41018	8.65
21.011	Betonarme Kalıbı	82.78/ m ²	1057.44	87535	1110.6	91935	4.79
4.251	8-12 mm donatı	7415.1/ t	5.9	43749	7.2	53389	18.06
4.252	14-50 mm donatı	7354.1/ t	8.7	63981	11.7	86043	25.64
				232732		272385	14.56

Tablo 8.3: 5 katlı modellere ait maliyet analizi.

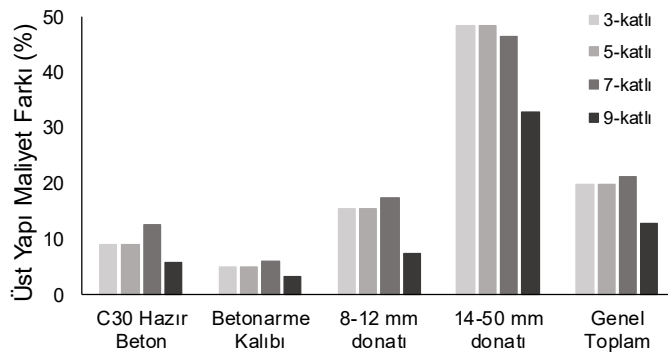
5 Katlı Bina Maliyet Analizi			İzolotörlü		İzolotörsüz		Fark (%)
Poz	Birim Fiyat Tarifi	Birim Fiyat	Miktar	Tutarı	Miktar	Tutarı	
16.059/1	C30 Hazır Beton	291.94/ m ³	352.3	102850	387.2	113039	9.01
21.011	Betonarme Kalıbı	82.78/ m ²	2863.8	237065	3007.2	248936	4.77
4.251	8-12 mm donatı	7415.1/ t	20.3	150527	24	177962	15.42
4.252	14-50 mm donatı	7354.1/ t	14.5	106634	28	205915	48.21
				597077		745852	19.95

Tablo 8.4: 7 katlı modellere ait maliyet analizi.

7 Katlı Bina Maliyet Analizi			İzolotörlü		İzolotörsüz		Fark (%)
Poz	Birim Fiyat Tarifi	Birim Fiyat	Miktar	Tutarı	Miktar	Tutarı	
16.059/1	C30 Hazır Beton	291.94/ m ³	591.3	172624	676.1	197381	12.54
21.011	Betonarme Kalıbı	82.78/ m ²	4819.6	398966	5128.6	424546	6.03
4.251	8-12 mm donatı	7415.1/ t	34.1	252855	41.3	306244	17.43
4.252	14-50 mm donatı	7354.1/ t	26.3	193413	49.1	361086	46.44
				1017858		1289256	21.05

Tablo 8.5: 9 katlı modellere ait maliyet analizi.

9 Katlı Bina Maliyet Analizi			İzolotörlü		İzolotörsüz		Fark (%)
Poz	Birim Fiyat Tarifi	Birim Fiyat	Miktar	Tutarı	Miktar	Tutarı	
16.059/1	C30 Hazır Beton	291.94/ m ³	835.1	243799	884.6	258250	5.60
21.011	Betonarme Kalıbı	82.78/ m ²	6810.6	563781	7032.5	582150	3.16
4.251	8-12 mm donatı	7415.1/ t	48.5	359632	52.3	387810	7.27
4.252	14-50 mm donatı	7354.1/ t	42.8	314755	63.7	468456	32.81
				1481968		1696666	12.65

**Şekil 8.1:** Geleneksel ve taban izolotörlü modellerin maliyet karşılaştırması.

Üst yapı için yapılan maliyet analizleri incelendiğinde; izolotörlü modellerin kesit boyutu ve donatı miktarındaki azalmaya bağlı olarak, ankastre mesnetli

izolatörsüz modellere göre maliyetlerinde %12.6-21.1 oranları arasında bir azalmanın olduğu görülmüştür. Maliyetler arasındaki farkta en büyük etkisi olan kalem ise boyuna donatı miktarı olarak belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırmada farklı performans hedefleri dikkate alınarak, izolatör maliyetlerinin göz önünde bulundurulmadığı ve sadece üst yapı için hesaplandığı unutulmamalıdır.

İzolatör nedeni ile oluşan maliyetin bir bölümünün üst yapı maliyetinde meydana gelen azalma ile karşılandığı değerlendirildiğinde izolatörlü binalarda izolatör nedeni ile maliyet artışının olmayacağı açıktır. Sismik performanstaki ciddi düzeydeki iyileşme de göz önüne alındığında deprem sonrası kullanımı gereken önemli binalarda izolatör kullanımını önemli bir avantaj olmaktadır.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma; depreme maruz düşük ve orta katlı, perde duvarları olmayan, düzenli ve düzensiz betonarme binalar için, ankastre mesnetli ve yaygın olarak kullanılan LRB, FPS ve Combo (LRB+FS) tip taban izolatörlü modellerin davranış farklılıklarını araştırmaktadır. Yapısal düzensizlikler, üst yapı veya izolatör arayüzünde kütle ve rijitlik merkezlerinin konumları değiştirilerek elde edilmiştir. Yapı elemanlarının ve taban izolatörlerinin üç boyutlu ve doğrusal olmayan davranışı, zaman tanım alanında dinamik analizlerde dikkate alınmıştır. Spektrum uyumlu 11 adet kayıt takımı kullanılarak 60 modelin toplam 1320 adet dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde listelenmiştir.

- Hesaplanan üstyapı talepleri, ankastre mesnetli model taleplerinin, taban izolatörlü model taleplerinden önemli ölçüde yüksek olduğunu göstermektedir.
- Taban izolatörlü modellerdeki toplam yanal yer değiştirmeler, , ankastre mesnetli modellere göre daha yüksektir. Ancak taleplerin önemli bir kısmı izolatör arayüzünde sönümlendiği için neredeyse tüm durumlarda üstyapıya iletilen talepler ihmal edilebilir düzeydedir.
- Düzenli üst yapı ve izolatör sistemi için sistem davranışı, kullanılan izolatör türüne göre değişkenlik göstermiştir. LRB tip izolatörlerin, talepleri sönümlemede en etkili izolatörler olduğu görülmüştür.
- FS tipi izolatörler, geri çağırıcı kuvvet üretmediği için LRB ve FS tipi izolatörlerin bir arada kullanıldığı modellerde izolatörler, sadece LRB tip izolatör içeren modellere göre oldukça yüksek taleplere maruz kalmaktadır. Bu nedenle LRB ve FS tip izolatör içeren modellerde FS tipi izolatörlerin kullanım oranı tasarım aşamasında çok önemli bir parametredir ve dikkatli kullanılması gerekmektedir.
- En yüksek burulma düzensizlik katsayıları, üst yapının kütle merkezi ile taban izolatör sisteminin rijitlik merkezinin çakışmadığı durumlarda hesaplanmıştır. Özellikle taban izolatör sisteminin yerleşimi değişince, üst yapının burulma davranışını doğrudan değiştirmiştir.
- Üst yapıdan kaynaklanan, %20'ye varan statik eksantirisite oranının, burulma davranışında daha az etkili olduğu görülmüştür.

- LRB tip izolatörlerin, FPS tipi izolatörlere göre burulma etkilerine karşı daha hassas olduğu görülmüştür. %10 ve %20 eksantrisiteye sahip LRB tip izolatör modellerinin ortalama yer değiştirme talepleri, eksantrisitesi olmayan modellerin ortalama yer değiştirme taleplerinden %11 ve %15 daha yüksektir. FPS tipi izolatörler için bu fark %5'ten azdır. Kauçuk izolatörlü binalarda eksantrisitenin etkisi, izolatör sisteminin burulma frekansına bağlıdır. Eğri yüzeyli sürtünmeli izolatör sistemlerinde, kütle ötelendiğinde, rijitlik merkezi de dengelenir ve sıfır eksantrisite ile sonuçlanır. Bu nedenlerle LRB tipi izolatörlerin burulma etkilerine FPS tipi izolatörlere göre daha duyarlı olması beklenmektedir.
- Ortalama olarak %20 eksantrisiteye sahip LRB modellerinin burulma düzensizlik katsayı değerleri, eksantrisitesi olmayan modellere göre %47 daha yüksektir. FPS tipi izolatör modelleri eksantrisiteden daha az etkilenmektedir.
- Elde edilen sonuçlar, tüm modeller için her bir deprem kaydının deplasman, taban kesme kuvveti ve ivme talep değerlerinde önemli bir saçılım olduğunu göstermektedir. Sınırlı sayıda yer hareketi kaydının kullanılması, sismik taleplerin hatalı tahminlerine yol açabilir.
- Tüm modellerde sismik talebin önemli bir kısmı izolatör sistemi tarafından karşılandığından, üst yapı için kalan sismik talep nispeten düşüktür. Dolayısıyla üst yapıda düzensizliğin varlığı izolatörlü sistemlerde, üst yapı taleplerini etkilememiştir.
- Üst yapı için yapılan maliyet analizleri incelendiğinde; izolatörlü modellerin, ankastre mesnetli izolatörsüz modellere göre maliyetlerinde %12-22 oranları arasında bir azalmanın olduğu görülmüştür. Ancak, yapılan karşılaştırmada farklı performans hedefleri dikkate alınarak, izolatör maliyetlerinin göz önünde bulundurulmadığı ve sadece üst yapı için hesaplandığı unutulmamalıdır.
- Daha önceki çalışmalarda bahsedildiği gibi, burulma davranışının üst yapı üzerindeki etkilerinden ziyade, özellikle LRB tipi izolatörler için, izolatör davranışı üzerindeki etkilerinin, araştırılması daha önemlidir.
- Yapılan çalışma ile, LRB tipi izolatörlerin yeniden merkezlenme sorunu olmayan simetrik binalar için daha iyi bir seçim olduğu düşünülmektedir.

- LRB ve FS tip izolatör içeren modeller, bu çalışmada olduğu gibi aynı hedef tasarım yer değiştirme değerleri için sınır durumlarını aşmadıkça, ekonomik nedenlerle birlikte kullanılması tercih edilebilir.
- FPS tipi izolatörlerin en önemli avantajı, geometrik olarak geri çağırıcı kuvvet üretebilme mekanizmasına sahip olmasıdır. Bu özellik, FPS tipi izolatörlerin sismik taleplerinin LRB tipi izolatörlerden oldukça yüksek olmasına rağmen, özellikle asimetrik binalar için büyük yanal yer değiştirme talepleri olan taban izolasyon sistemlerinde çok önemli bir parametre haline gelmiştir. Bu nedenle FPS tip izolatör, simetrik olmayan izolatörlü sistemler için tercih nedeni olmuştur.
- İleride yapılabilecek çalışmalar için; yakın fay, uzak fay ve ileri atımlı deprem kayıtları ile zemin-izolatör-yapı etkileşimi dikkate alınarak performans değerlendirmesinin detaylandırılması önerilmektedir.

10. KAYNAKLAR

AASHTO, “Guide specifications for seismic isolation design”, 4th ed., Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials, (2014).

ABYYHY-TDY1975, “Afet Bölgelerinde Yapılarında Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” , Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, (1975).

ABYYHY- TDY1998, “Afet Bölgelerinde Yapılarında Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” , Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, (1998).

Akiyama, M., Suzuki, M. and Frangopol, D. M., “Stress-averaged strain model for confined high-strength concrete” , ACI Struct. J., 107(2), (2010).

Almazán, J.L., De la Llera J.C., “Analytical model of structures with frictional pendulum isolators”, Earthq. Eng. Struct. Dyn., 305-332, <https://doi.org/10.1002/eqe.110>, (2002).

American Society of Civil Engineers (ASCE) FEMA-356, “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building Rehabilitation”, (2000).

ASCE, American Society of Civil Engineers, “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Standard ASCE/SEI 7-05”, Reston, V.A., (2005).

ATC-40 (Applied Technology Council), “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, Applied Technology Council California, Vol 1 and Vol 2, (1996).

Athamnia, B., Ounis, A., & Abdeddaim, M., “Effect of a near fault on the seismic response of a base-isolated structure with a soft storey”, Slovak Journal of Civil Engineering, 25(4), 34, (2017).

Avcı, Y., “Çerçevelerden Oluşan Bir Okul Yapısının Taban İzolatörleri Kullanarak Analizi Ve Güçlendirilmesi”, Diss. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

Aydınoglu, M. N., “Deprem katsayısından performansa göre tasarıma: Bir mühendisin bakış açısından deprem mühendisliğinin 40 yılı” , Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, (2007).

Baker J.W. and Cornell C.A., “A Vector-Valued Ground Motion Intensity Measure Consisting of Spectral Acceleration and Epsilon”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34(10), 1193-1217, 2005.

Baştuğ, B. K., “Yapı sistemlerinde depreme karşı sismik izolatör kullanılması”, Diss. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2004).

Bommer J.J. and Acevedo A.B., “The Use of Real Earthquake Accelerograms as Input to Dynamic Analysis”, *Journal of Earthquake Engineering*, Volume 8, Special Issue 1, pp. 43-92, (2004).

Cancellara, D., De Angelis F., “Dynamic assessment of base isolation systems for irregular in plan structures: Response spectrum analysis vs nonlinear analysis”, *Compos. Struct.* 215, 98-115, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.013>, (2019).

Carballo J.E., “Probabilistic Seismic Demand Analysis: Spectrum Matching and Design”, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, 259p.<http://www.stanford.edu/group/rms/>, 13/03/2020, (2000).

Chopra A. K., *Dynamics of Structures 2nd Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, (1995).

Chung, J., & Hulbert, G., “A time integration algorithm for structural dynamics with improved numerical dissipation: the generalized- α method”, (1993).

Constantinou M.C., Whittaker A.S., Kalpakidis Y., Fenz D.M. and Warn G.P., “Performance of seismic isolation hardware under service and seismic loading [Report MCEER-07-0012]”, Buffalo, NY, (2007).

Dao, N. D., Ryan, K. L., Sato, E., & Sasaki, T., “Predicting the displacement of triple pendulum™ bearings in a full-scale shaking experiment using a three-dimensional element”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 42(11), 1677-1695, (2013).

DBYBHY, “Deprem Bölgelerine Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, (2007).

EN 8, “Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance Part 2: Bridges”, EN 1998-2, (2005).

FEMA-P-1051, “2015 Nehrþ recommended seismic provisions: design examples”, In, Washington DC, USA, (2016).

Ghasemi M., Talaeitaba S.B., “On the effect of seismic base isolation on seismic design requirements of RC structures”, Structures 28, 2244-2259, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.063>, (2020).

Giammona, A. P., Keri L. R., and Nhan D. D., “Evaluation of assumptions used in engineering practice to model buildings isolated with triple pendulum isolators in SAP2000”, Earthquake Spectra, 31(2), 637-660, (2015).

Gökhan, E., “Betonarme yapılar da izolatör kullanımının taşıyıcı sistem davranışına etkileri”, PhD Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).

Güner G., “Bir hastane yapısının klasik yöntemle ve sismik izolatör kullanılarak tasarımının dinamik yönden karşılaştırılmasının yapılması”, PhD Thesis, Institute of Science, İTU İstanbul Turkey (in Turkish), (2012).

Hancock J., Bommer J.J. and Stafford P.J., “Numbers of Scaled and Matched Accelerograms Required for Inelastic Dynamic Analyses”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 37, pp. 1585-1607, (2008).

Haselton C.B. and Baker J.W., “Ground Motion Intensity Measures for Collapse Capacity Prediction: Choice of Optimal Spectral Period and Effect of Spectral Shape”, Proceedings of the Eighth US National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California, (2006).

Hilber, H. M., Hughes, T. J. and Taylor, R. L., “Improved numerical dissipation for time integration algorithms in structural dynamics ” , Earthquake Eng.Struct. Dyn., 5(3), 283-292, (1977).

Hoseini Vaez S.R., Naderpour H., Kalantari S.M., Fakharian P., “Proposing the optimized combination of different isolation bearings subjected to near-fault ground motions”, 15th World Conf Earthq Eng, (2012).

Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K. and Taylor, A. W., “Stress-strain model for confined reinforced concrete in bridge piers” , J. Struct. Eng., 123(5), 624-633, (1997).

Hoşbaş, A. B., “Çok Katlı Betonarme Yapının Sismik İzolatörlerle Modellenmesi ve Yapının Perdelerle Güçlendirilmiş Durumu ile Karşılaştırılması”, İstanbul Teknik Üniversitesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), (2006).

Huang Y. N., “Performance Assessment of Conventional and Base-Isolated Nuclear Power Plants for Earthquake and Blast Loadings”, PhD Thesis, Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, State University of New York at Buffalo, (2008).

Huang Y.-N., Whittaker A.S. and Constantinou M.C., “Seismic Demands on Secondary Systems in Conventional and Isolated Nuclear Power Plants”, Proceedings, Eighth US National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, San Francisco, California, (2006).

International Building Code/Council (ICC/IBC), “International Building Code”, International Code Council, Falls Church, VA., (2000).

Ismail, M., “An isolation system for limited seismic gaps in near-fault zones”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(7), 1115-1137 (2015).

Ismail M., “Elimination of torsion and pounding of isolated asymmetric structures under near-fault ground motions”, *Struct. Control Health Monit.*, 22, 1295-1324, <https://doi.org/10.1002/stc.1746>, (2015).

Iwan W.D. and Gates N.C., “Estimating Earthquake Response of Simple Hysteretic Structures”, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 105(EM3), pp. 391–405, (1979).

Jangid R.S., Datta T.K., “Nonlinear response of torsionally coupled base isolated structure”, *J. Struct. Eng.*, 120(1):1–22, 1994.

Jangid R.S., Datta T.K., “Seismic response of torsionally coupled structure with elasto-plastic base isolation”, *Eng Struct*, 16(4):256–62, [https://doi.org/10.1016/0141-0296\(94\)90065-5](https://doi.org/10.1016/0141-0296(94)90065-5), (1994).

Jangid R., Kelly J., “Base isolation for near-fault motions”, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 30, 691-707, <https://doi.org/10.1002/eqe.31>, (2001).

Karakütük O., “Effect of ground motion selection on seismic response of buildings”, Master’s thesis, METU, Ankara, Turkey (in Turkish), (2015).

Kayhan A.H., Korkmaz K.A., Irfanoglu A., “Selecting and scaling real ground motion records using harmony search algorithm”, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 31, 941-953, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.02.009>, (2011).

Kelly J.M., “Aseismic Base Isolation: A Review and Bibliography”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 5, pp. 202-216, (1986).

Kelly J.M., “Tension buckling in multilayer elastomeric bearings”, *J. Eng. Mech.* 129, 1363-1368, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2003\)129:12\(1363\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2003)129:12(1363)), (2003).

Kent, D. C. and Park, R., “Flexural members with confined concrete” , *J. Struct. Div. -ASCE*, 97(7), 1969-1990, (1971).

Keskin, A., “Yapı izolatörleri”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2007).

Kilar V., Koren D., “Seismic behaviour of asymmetric base isolated structures with various distributions of isolators”, *Eng. Struct.* 31, 910-921, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.12.006>, (2009).

Krinitzky E.L. and Chang F.K., “Specifying Peak Motions for Design Earthquakes”, *State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States*, Report 7, Miscellaneous Paper S-73-1. US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi (1977).

Kunde M.C. and Jangid R.S., “Seismic Behavior of Isolated Bridges: A State-of-the-Art Review”, *Electronic Journal of Structural Engineering*, 3, pp. 140-170, (2003).

Lee D.M., “Base isolation for torsion reduction in asymmetric structures under earthquake loading”, *Earthq Eng Struct Dyn*, 8(4):349–59. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290080405>, 1980.

Légeron, F. and Paultre, P., “Uniaxial confinement model for normal-and highstrength concrete columns” , *J. Struct. Eng.*, 129(2), 241-252, (2003).

Makris, N. and Shih-Po C. "Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures." *Earthquake eEngineering & Structural Dynamics* 29(1), 85-107, (2000).

Malhotra P.K., “Strong-Motion Records for Site-Specific Analysis”, *Earthquake Spectra*, 19(3), 557-578 (2003).

Mander, J. B., Priestley, M. J. and Park, R., “Theoretical stress-strain model for confined concrete” , *J. Struct. Eng.*, 114(8), 1804-1826, (1988).

Matsagar V.A., Jangid R., “Influence of isolator characteristics on the response of base-isolated structures”, *Eng. Struct.*, 26, 1735-1749, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.06.011>, (2004).

Matsagar V., Jangid R., “Impact response of torsionally coupled base-isolated structures”, *J. Vib. Control*, 16, 1623-1649, (2010).

Mayes, R.L. and F. Naeim, “Design of Structures with Seismic Isolation,” in *The Seismic Design Handbook*, 2nd ed., Naeim, F., Ed., Kluwer Academic Publishers, Boston, (2001).

Mazza F., “Lateral-torsional response of base-isolated buildings with curved surface sliding system subjected to near-fault earthquakes”, *Mech. Syst. Signal Process*, 92, 64-85, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2017.01.025>, (2017).

Mazza F., Mazza M., Vulcano A., “Nonlinear response of rc framed buildings retrofitted by different base-isolation systems under horizontal and vertical components of near-fault earthquakes”, *Earthq. Struct.*, 12, 135-144, <https://doi.org/10.12989/eas.2017.12.1.135>, (2017).

Mazza F., Mazza M., Vulcano A., “Base-isolation systems for the seismic retrofitting of rc framed buildings with soft-storey subjected to near-fault earthquakes”, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 109, 209-221, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.02.025>, (2018).

Naeim F., Kelly J.M., *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*, John Wiley & Sons, (1999).

Naeim F. and Lew M., “On the use of design spectrum compatible time histories”, *Earthquake Spectra*, 11(1), pp. 111-127, (1995).

Nagarajaiah S., Reinhorn A.M., Constantinou M.C., “Torsion in base-isolated structures with elastomeric isolation systems”, *J Struct Eng.*, 119(10):2932–51, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1993\)119:10\(2932\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:10(2932)), (1993).

Nagarajaiah B.S., Reinhorn A.M., Constantinou M.C., Member A., “Torsional coupling in sliding base-isolated structures”, *J. Struct. Eng.*, 119:130–49, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1993\)119:1\(130\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:1(130)), (1993).

NEHRP Consultants Joint Venture, “Selecting and scaling earthquake ground motions for performing response-history analyses”, NIST GCR 11-917-15. In, Maryland, USA, (2011).

Newmark N. M., “A method of computation for structural Dynamics”, American Society of Civil Engineers, (1959).

New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE), “Guideline for the design of seismic isolation systems for buildings”, www.nzsee.org.nz/publications/design-of-seismic-isolation-systems-for-buildings, 01.12.2020, (2019).

Ordóñez D., Foti D., Bozzo L., “Comparative study of the inelastic response of base isolated buildings”, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 32, 151-164, <https://doi.org/10.1002/eqe.224>, (2003).

Özer E., Inel M., Cayci B.T., “Seismic behavior of LRB and FPS type isolators considering torsional effects”, *Structures*, 37, 267-283, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.011>, (2022).

Özdemir, G., “Response of isolated structures under bi-directional excitations of near-field ground motions”, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, FBE, (2010).

Özpalanlar, G., “Seismic Isolation and Energy Dissipating Systems in Earthquake Resistant Structural Design”, Diss. MSc. Thesis, Institute of Science and Technology, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey. 11, (2004).

Öztürk, B. K., “Yapısal kontrol sistemlerinin değerlendirilmesi ve taban izolatörlerinin betonarme bir binaya uygulanması”, MS thesis, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Ground Motion Database, Available at: <http://ngawest2.berkeley.edu/>(2019), Accessed 19.05.2019, (2019).

Pant, D. R., Wijeyewickrema, A. C., & ElGawady, M. A., “Appropriate viscous damping for nonlinear time-history analysis of base-isolated reinforced concrete buildings”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42(15), 2321-2339, (2013).

Park, R., Priestley, M. J. and Gill, W. D., “Ductility of square-confined concrete columns” , *J. Struct. Div.-ASCE*, 108(4), 929-950, (1982).

Paulay, T. and Priestley, M. J. N., “Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings”, Canada: John Wiley&Sons, (1992).

Polat, H. İ., “Perde-Çerçeve ve çerçevelerden oluşan yapıların taban izolatörleri kullanılarak analizi ve değerlendirilmesi”, Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

Razvi, S. and Saatcioglu, M., “Confinement model for high-strength concrete ” , J. Struct. Eng., 125(3), 281-289, (1999).

Ryan, K. L., and Anil K. C. "Estimation of seismic demands on isolators based on nonlinear analysis", Journal of Structural Engineering 130(3), 392-402 (2004).

Sarlis, A. A. and Constantinou M. C., “Modeling triple friction pendulum isolators in program SAP2000” Document distributed to the engineering community together with example, (2010).

Sheikh, S. A. and Uzumeri, S. M., “ Analytical model for concrete confinement in tied columns” , J. Struct. Div.-ASCE, 108(12), 2703-2722, (1982).

Sachdeva, G., Sanjukta C., and Samit R., “Seismic response control of a structure isolated by flat sliding bearing and nonlinear restoring spring: Experimental study for performance evaluation”, Engineering Structures, 159, 1-13, (2018).

SAP 2000 CSI, Integrated Software for Structural Analysis and Design, Computers and Structures Inc. Berkeley USA, (2020).

Seguín C.E., de la Llera J.C., Almaz’an J.L., “Base-structure interaction of linearly isolated structures with lateral-torsional coupling”, Eng Struct, 30(1):110–25, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.02.019>, (2008).

SEMAp, Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı, Tubitak Proje No: 105M024 Ankara, Turkey (in Turkish), (2008).

Sharbatdar M., Vaez S.H., Amiri G.G., Naderpour H., “Seismic response of base-isolated structures with LRB and FPS under near fault ground motions”, Procedia Eng. 14, 3245-3251, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.410>, (2011).

Shome N., Cornell C.A., Bazzurro P. and Carballo J.E., “Earthquakes, Records and Nonlinear Responses”, Earthquake Spectra, 14(3), pp. 469-500, (1998).

Skinner R.I., Robinson W.H. and McVerry G.H., “An Introduction to Seismic Isolation”, Wiley: New York, (1993).

Soyluk, A., “Sismik taban izolatörü kullanımının mimari tasarıma etkisi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, (2010).

Spears, R. E., & Jensen, S. R., “Approach for selection of Rayleigh damping parameters used for time history analysis”, Journal of pressure vessel technology, 134(6), (2012).

Stewart J.P., Chiou S.-J., Bray J.D., Graves R.W., Somerville P.G. and Abrahamson N.A., “Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design”, PEER Report 2001/09, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley (2001).

Tena-Colunga A., Escamilla-Cruz J.L., “Torsional amplifications in asymmetric base-isolated structures”, Eng. Struct., 29, 237-247, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.03.036>, (2007).

Tena-Colunga A., Zambrana-Rojas C., “Dynamic torsional amplifications of base-isolated structures with an eccentric isolation system”, Eng. Struct., 28, 72-83, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.07.003>, (2006).

Tena-Colunga A., Gómez-Soberón C., Muñoz-Loustaunau A., “Seismic isolation of buildings subjected to typical subduction earthquake motions for the Mexican Pacific Coast”, Earthq. Spectra., 13(3):505–32. <https://doi.org/10.1193/1.1585960>, (1997).

Thompson, A. C., Whittaker, A. S., Fenves, G. L., & Mahin, S. A., “Property modification factors for elastomeric seismic isolation bearings”, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Upper Hutt, NZ: New Zealand Society for Earthquake Engineering, (2000).

Türk Standardı-TS498, “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (1997).

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018), “Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı”, Ankara, Türkiye, (2018).

Türkiye Deprem Risk Haritası, “Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı”, Ankara, Turkey <https://tdth.afad.gov.tr>. Accessed 08.09.2019, (2018).

Tyler, R. G., “Dynamic tests on PTFE sliding layers under earthquake conditions”, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* 10(3),129-138, (1977).

Umut, Ö., “Yakın fay hareketinin yapılar üzerindeki etkisi ve izolatör-sıvı sönümlüycilerle depreme dayanıklı yapı tasarımı”, *Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2006).

Uniform Building Code,, “Earthquake regulations”, *International conference of Building Officials, USA*, (1998).

Uyar, M., “Yapılarda temel izolatörlerinin kullanılışı”, *Diss. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2005).

Vaez S.H., Naderpour H., Kalantari S., Fakharian P., “Proposing the optimized combination of different isolation bearings subjected to near-fault ground motions”, *15th World Conference on Earthquake Engineering At: Lisbon, Portugal,24-28 September 2012*, (2012).

Vanmarcke E.H., “Representation of Earthquake Ground Motion: Scaled Accelerograms and Equivalent Response Spectra”, *State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States, Report 14, Miscellaneous Paper S-73-1. US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi*, (1979).

Varnava, V., and Petros K., “Analysis, design and techno-economic assessment of a base isolated steel building”, *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE)*, Lisbon, Portugal. Vol. 4. 2012, (2012).

Wang, J., “Rayleigh coefficients for series infrastructure systems with multiple damping properties”, *Journal of Vibration and Control*, 21(6), 1234-1248, (2015).

Whittaker D., “Seismic Isolation-A structural engineer's comparison of lead-rubber versus curved-surface-slider type isolation bearings”, *In Proceedings of the NZSEE Conference, Christchurch, 1 – 3 April 2016, New Zealand*, (2016).

Wilson, E. L., Farhoomand, I. and Bathe, K. J., “Nonlinear dynamic analysis of complex structures” , *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 1(3), 241-252, (1972).

Wu Y.M., Samali B., “Shake table testing of a base isolated model”, *Eng. Struct.* 24, 1203-1215, [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(02\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00054-8), (2002).

Yang, T. Y., Dimitrios Konstantinidis, and James M. Kelly, “The influence of isolator hysteresis on equipment performance in seismic isolated buildings”, *Earthquake Spectra*, 26(1), 275-293, (2010).

Yao M., Li T.Y., “Isolated structures research and comparative with traditional seismic structures”, *Adv. Mat. Res.*, pp. 1734-1739, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.594-597.1734>, (2012).

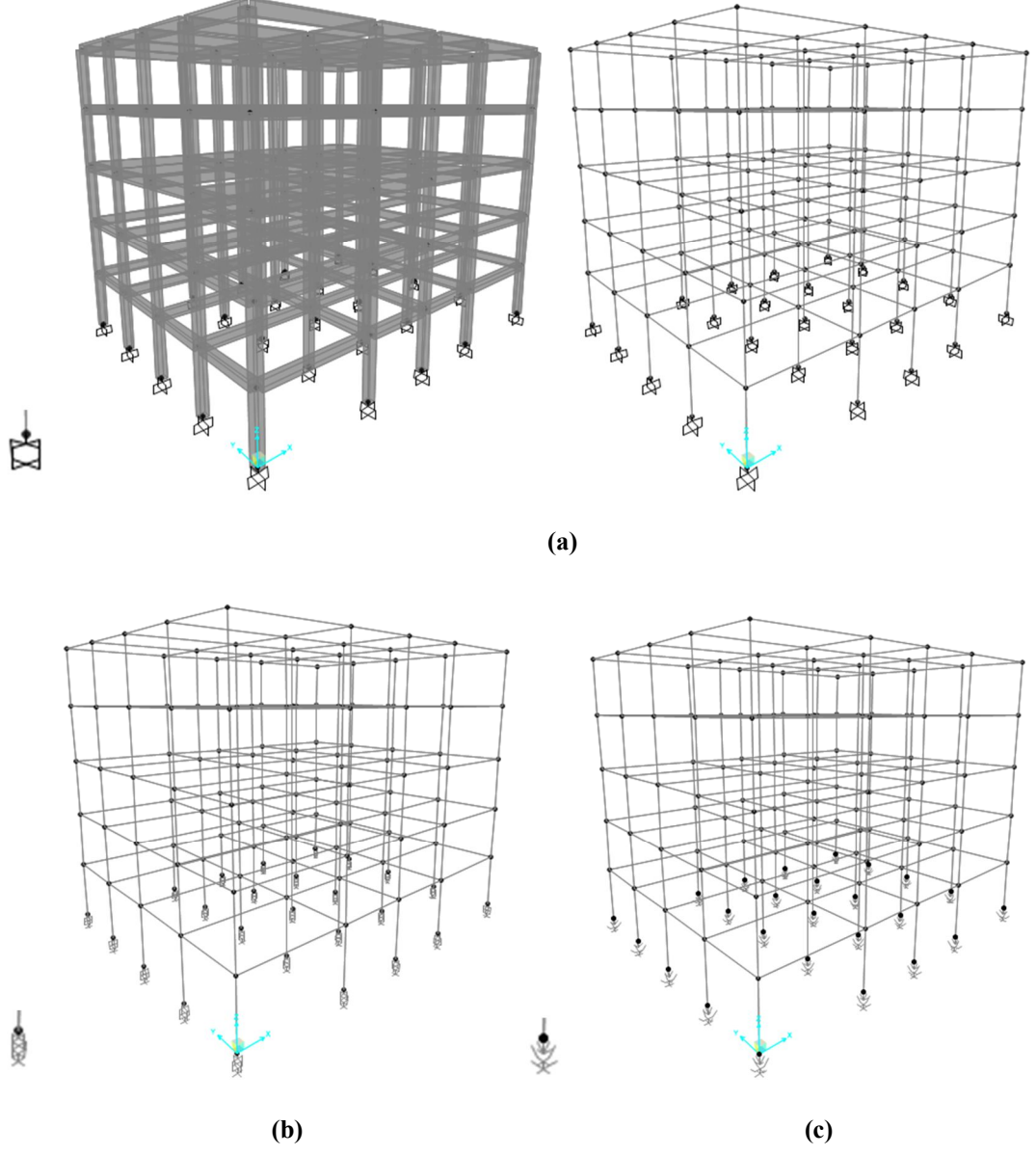
Yücesoy, A., “Sismik izolatörler ile depreme dayanıklı yapı tasarımı”, Diss. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).

Zayas V.A., Mahin S.A., “The FPS earthquake resisting system experimental report”, *Earthquake Engineering Research Center*, (1987).

EKLER

11. EKLER

EK A Geleneksel ve Taban İzolatörlü Modellerin 3B Görünümü



Şekil A.1: Geleneksel ve taban izolatörlü 5-katlı simetrik modellerin 3B görünümü a) ankastre mesnet, b) LRB izolatörlü, c) FPS izolatörlü.

EK B Geleneksel ve Taban İzolatörlü Modellerin Analiz Sonuçları

Tablo B.1: Simetrik 3-Katlı Modellerin Çatı Ötelenme Oranları.

Model	Ankastre	LRB-y	LRB-i	FPS-y	FPS-i	Combo-y	Combo-i
3 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)
88-0	0.22	0.78	0.06	1.29	0.06	0.99	0.07
88-90	0.30	1.81	0.12	1.85	0.13	1.57	0.11
164-0	0.30	1.18	0.08	1.28	0.07	1.07	0.08
164-90	0.37	0.74	0.05	1.28	0.07	0.84	0.05
302-0	0.61	0.83	0.06	1.19	0.06	0.94	0.05
302-90	0.65	2.05	0.14	2.32	0.16	2.30	0.16
313-0	1.13	1.44	0.10	2.02	0.13	1.85	0.12
313-90	1.06	1.93	0.13	2.91	0.20	2.54	0.18
548-0	0.63	1.17	0.08	1.41	0.08	0.96	0.05
548-90	0.63	1.53	0.11	2.16	0.15	1.89	0.15
1614-0	0.50	1.43	0.10	1.69	0.10	1.69	0.11
1614-90	0.45	1.86	0.13	1.51	0.11	1.43	0.11
1633-0	0.61	2.65	0.18	3.91	0.42	3.38	0.26
1633-90	0.46	1.91	0.13	1.54	0.16	1.94	0.16
3750-0	0.61	2.30	0.15	2.20	0.15	2.22	0.15
3750-90	0.53	3.73	0.24	3.92	0.43	3.84	0.33
3759-0	0.58	1.34	0.09	1.37	0.08	1.46	0.10
3759-90	0.77	0.82	0.06	1.52	0.09	1.19	0.08
5815-0	1.02	3.33	0.22	4.17	0.68	3.94	0.49
5815-90	0.78	2.87	0.19	3.79	0.27	3.63	0.25
6915-0	0.60	1.04	0.07	1.21	0.07	1.06	0.08
6915-90	0.73	2.14	0.15	1.73	0.11	2.07	0.15
Ortalama	0.62	1.77	0.12	2.10	0.17	1.95	0.15

Tablo B.2: Simetrik 5-Katlı Modellerin Çatı Ötelenme Oranları.

Model	Ankastre	LRB-y	LRB-i	FPS-y	FPS-i	Combo-y	Combo-i
5 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)
88-0	0.23	0.55	0.04	1.07	0.07	1.08	0.09
88-90	0.33	1.20	0.09	1.25	0.08	1.18	0.11
164-0	0.46	0.80	0.06	0.83	0.07	1.08	0.09
164-90	0.27	0.50	0.04	0.87	0.04	0.80	0.06
302-0	0.55	0.54	0.04	0.97	0.04	0.86	0.07
302-90	0.99	1.44	0.10	2.03	0.15	1.79	0.16
313-0	1.24	1.11	0.09	1.62	0.14	1.65	0.15
313-90	1.45	1.51	0.10	2.05	0.14	2.14	0.21
548-0	0.89	0.83	0.07	1.07	0.07	1.07	0.09
548-90	0.85	1.18	0.09	1.67	0.12	1.78	0.19
1614-0	0.53	0.82	0.07	0.91	0.05	1.06	0.09
1614-90	0.49	1.12	0.08	1.18	0.07	1.13	0.10
1633-0	0.89	1.79	0.12	2.70	0.20	3.01	0.51
1633-90	0.61	1.28	0.08	1.20	0.13	1.18	0.10
3750-0	0.55	1.38	0.08	1.48	0.08	1.61	0.21
3750-90	0.64	2.54	0.15	2.70	0.20	2.60	0.27
3759-0	0.64	0.70	0.06	1.37	0.08	0.86	0.06
3759-90	0.69	0.66	0.05	1.15	0.07	1.26	0.11
5815-0	1.00	2.49	0.15	2.74	0.24	3.25	0.75
5815-90	0.90	1.97	0.12	2.70	0.20	2.28	0.27
6915-0	0.33	0.70	0.05	1.11	0.06	0.79	0.07
6915-90	0.51	1.56	0.10	1.50	0.10	1.45	0.12
Ortalama	0.68	1.21	0.08	1.55	0.11	1.54	0.18

Tablo B.3: Simetrik 7-Katlı Modellerin Çatı Ötelenme Oranları.

Model	Ankastre	LRB-y	LRB-i	FPS-y	FPS-i	Combo-y	Combo-i
7 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)
88-0	0.31	0.39	0.04	0.59	0.04	0.52	0.05
88-90	0.35	1.01	0.10	1.35	0.12	1.26	0.16
164-0	0.63	0.67	0.08	0.93	0.08	0.83	0.10
164-90	0.31	0.39	0.04	0.74	0.06	0.68	0.08
302-0	0.29	0.40	0.04	0.84	0.07	0.49	0.06
302-90	0.53	1.07	0.11	1.66	0.16	1.41	0.18
313-0	0.88	0.73	0.07	0.75	0.06	0.96	0.11
313-90	0.83	0.93	0.10	0.98	0.09	1.50	0.21
548-0	0.77	0.52	0.06	0.69	0.07	0.63	0.07
548-90	0.70	0.73	0.07	1.14	0.09	0.95	0.10
1614-0	0.39	0.77	0.08	0.91	0.08	0.67	0.08
1614-90	0.48	0.95	0.09	1.34	0.13	0.97	0.12
1633-0	0.67	1.29	0.11	1.95	0.20	2.01	0.29
1633-90	0.54	0.97	0.10	1.53	0.14	1.30	0.18
3750-0	0.75	1.18	0.09	1.26	0.11	1.07	0.13
3750-90	1.01	2.02	0.16	1.99	0.21	2.24	0.45
3759-0	0.56	0.79	0.08	1.28	0.11	0.72	0.09
3759-90	0.55	0.43	0.04	0.58	0.04	0.75	0.08
5815-0	0.46	1.42	0.14	1.84	0.19	2.34	0.55
5815-90	0.88	1.45	0.12	1.99	0.20	2.17	0.38
6915-0	0.32	0.58	0.06	0.97	0.08	0.71	0.09
6915-90	0.41	1.20	0.10	1.50	0.13	1.33	0.18
Ortalama	0.57	0.90	0.09	1.22	0.11	1.16	0.17

Tablo B.4: Simetrik 9-Katlı Modellerin Çatı Ötelenme Oranları.

Model	Ankastre	LRB-y	LRB-i	FPS-y	FPS-i	Combo-y	Combo-i
9 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)
88-0	0.30	0.34	0.03	0.81	0.04	0.84	0.08
88-90	0.31	0.78	0.06	1.26	0.10	1.14	0.12
164-0	0.39	0.56	0.04	0.95	0.06	0.70	0.06
164-90	0.28	0.32	0.03	0.64	0.05	0.60	0.05
302-0	0.46	0.25	0.02	0.80	0.06	0.60	0.05
302-90	0.75	0.94	0.08	1.11	0.09	0.99	0.13
313-0	0.69	0.45	0.03	0.82	0.07	0.69	0.05
313-90	0.83	0.59	0.05	0.88	0.07	0.78	0.07
548-0	0.51	0.39	0.05	0.53	0.04	0.44	0.05
548-90	0.69	0.57	0.04	0.66	0.03	0.65	0.04
1614-0	0.53	0.79	0.07	1.13	0.08	0.89	0.09
1614-90	0.51	1.01	0.07	1.02	0.08	0.83	0.07
1633-0	0.60	0.96	0.07	1.61	0.15	1.52	0.19
1633-90	0.37	0.89	0.06	0.96	0.08	0.89	0.09
3750-0	0.61	1.13	0.07	1.00	0.06	1.00	0.09
3750-90	1.09	1.66	0.10	1.74	0.18	1.80	0.24
3759-0	0.41	0.87	0.07	1.01	0.06	0.84	0.08
3759-90	0.41	0.26	0.03	0.77	0.04	0.56	0.04
5815-0	1.23	0.96	0.07	1.13	0.13	1.44	0.17
5815-90	0.60	1.11	0.07	1.67	0.14	1.50	0.18
6915-0	0.21	0.57	0.04	0.72	0.08	0.78	0.07
6915-90	0.29	0.94	0.07	1.01	0.09	1.01	0.11
Ortalama	0.55	0.74	0.06	1.01	0.08	0.93	0.10

Tablo B.5: Simetrik 3-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.

Model 3-katlı	e0-LRB	e0-LRB	e0-FPS	e0-FPS	e0-Combo	e0-Combo
	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)
88-0	74.7	69.3	124.1	117.9	94.8	87.7
88-90	173.4	161.4	177.3	165.0	150.5	140.3
164-0	113.6	105.5	122.6	115.7	103.0	95.5
164-90	71.0	65.8	122.5	115.9	81.1	76.3
302-0	79.5	74.0	114.6	109.0	90.5	85.7
302-90	197.1	183.7	222.9	207.1	220.9	205.7
313-0	138.1	128.5	194.2	182.1	177.3	165.5
313-90	185.4	172.6	279.1	259.7	244.1	226.9
548-0	112.2	104.2	135.0	127.2	92.4	87.5
548-90	147.2	136.8	207.2	192.4	181.8	167.4
1614-0	137.5	127.6	162.5	152.5	161.9	151.2
1614-90	178.9	166.5	144.7	134.3	137.2	127.1
1633-0	254.6	237.6	374.9	334.6	324.5	300.0
1633-90	183.1	170.5	147.8	132.1	185.8	170.2
3750-0	221.0	207.0	211.5	197.0	213.2	198.7
3750-90	358.5	335.1	376.0	335.2	368.6	337.1
3759-0	128.6	119.6	131.9	124.7	140.1	130.9
3759-90	78.4	72.7	145.5	136.4	114.0	106.0
5815-0	319.3	298.4	400.7	335.4	377.9	331.3
5815-90	275.7	257.8	363.7	337.6	348.6	324.8
6915-0	99.8	92.6	115.7	108.9	101.6	93.8
6915-90	205.5	191.5	166.0	155.4	199.0	184.6
Ortalama	169.7	158.1	201.8	185.3	186.8	172.5

Tablo B.6: Simetrik 5-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.

Model 5-katlı	e0-LRB		e0-FPS		e0-Combo	
	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)
88-0	88.7	81.9	171.0	159.7	173.1	158.7
88-90	192.6	179.0	199.8	186.2	189.2	172.3
164-0	128.5	118.7	133.3	122.1	172.8	158.6
164-90	79.7	72.8	139.0	132.4	128.3	118.9
302-0	86.4	79.6	155.3	148.7	138.1	126.5
302-90	230.7	214.3	325.0	300.7	286.8	260.8
313-0	176.8	162.6	259.2	236.5	264.0	239.2
313-90	241.4	225.5	327.8	305.8	342.4	308.3
548-0	132.3	121.0	171.6	160.7	170.9	156.3
548-90	188.3	174.5	266.6	248.1	284.8	255.1
1614-0	131.8	121.4	145.2	136.9	169.6	155.9
1614-90	179.1	166.0	188.4	176.8	181.0	165.6
1633-0	286.3	267.4	431.6	400	482.2	400.0
1633-90	205.4	193.2	192.5	171.0	188.5	172.5
3750-0	221.5	208.6	237.3	224.4	258.2	225.3
3750-90	406.3	382.1	432.5	400	416.5	372.7
3759-0	111.5	102.6	218.9	205.9	137.3	128.1
3759-90	106.0	98.2	183.9	173.2	201.2	183.8
5815-0	398.0	374.6	438	400	520.3	400.0
5815-90	315.1	295.3	431.3	400	364.1	321.6
6915-0	111.3	103.7	177.9	167.6	125.7	114.8
6915-90	249.5	233.7	240.3	224.7	232.1	212.8
Ortalama	194.0	180.8	248.5	231.0	251.1	222.9

Tablo B.7: Simetrik 7-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.

Model 7-katlı	e0-LRB	e0-LRB	e0-FPS	e0-FPS	e0-Combo	e0-Combo
	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)
88-0	87.0	77.0	132.4	123.5	116.1	104.5
88-90	227.2	204.7	302.7	275.6	282.6	245.7
164-0	151.2	133.3	208.6	190.1	186.4	163.2
164-90	86.7	77.1	164.9	151.5	152.1	133.3
302-0	89.6	79.7	189.1	174.2	110.1	96.4
302-90	239.7	215.1	371.0	334.5	315.7	275.3
313-0	163.4	147.5	168.8	155.7	216.0	191.0
313-90	208.7	185.3	220.2	201.0	335.1	288.4
548-0	115.8	102.7	154.8	139.2	141.9	126.2
548-90	164.5	148.7	255.4	234.2	211.7	188.4
1614-0	172.0	153.8	202.9	186.1	149.0	131.8
1614-90	212.7	192.3	299.7	270.8	218.4	192.4
1633-0	290.1	264.7	436.0	391.1	450.3	384.5
1633-90	218.2	194.8	343.4	311.0	291.2	252.0
3750-0	263.3	242.2	282.4	257.6	239.2	210.3
3750-90	436.5	400	446.7	400	500.7	400.0
3759-0	175.9	157.1	286.2	261.2	160.8	140.3
3759-90	95.8	86.3	129.9	120.5	167.0	148.4
5815-0	317.2	285.8	412.0	370.3	523.7	400.0
5815-90	324.1	297.5	445.5	400	486.0	400.0
6915-0	129.2	115.3	217.8	200.9	159.5	140.4
6915-90	269.9	246.5	336.5	308.2	297.6	257.5
Ortalama	201.8	182.2	273.0	248.1	262.8	224.6

Tablo B.8: Simetrik 9-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.

Model 9-katlı	e0-LRB	e0-LRB	e0-FPS	e0-FPS	e0-Combo	e0-Combo
	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)	Çatı D.(mm)	İzo D.(mm)
88-0	97.7	88.5	232.6	221.6	240.5	217.3
88-90	225.5	207.5	363.1	335.2	327.2	291.2
164-0	161.8	149.4	275.0	257.6	202.9	185.5
164-90	92.2	83.6	184.6	170.4	174.1	159.7
302-0	73.4	68.2	231.2	214.2	172.2	158.2
302-90	270.2	248.1	320.3	293.5	284.9	248.3
313-0	130.4	121.3	236.3	217.4	199.1	185.6
313-90	170.2	155.0	252.2	232.4	223.6	202.2
548-0	111.7	96.5	151.8	140.6	128.0	112.3
548-90	164.7	152.8	189.3	180.8	186.6	174.3
1614-0	227.9	209.1	325.1	301.0	257.4	231.1
1614-90	291.4	271.9	294.8	272.5	238.4	217.3
1633-0	275.2	255.0	464.8	422.8	438.6	384.9
1633-90	256.5	240.0	275.9	251.4	257.3	230.1
3750-0	325.1	305.2	287.4	269.3	287.0	261.0
3750-90	479.4	450	500.5	450	518.3	450.0
3759-0	251.9	232.8	291.4	272.7	242.4	219.2
3759-90	76.2	68.6	220.9	208.7	160.6	148.1
5815-0	275.6	254.2	326.6	290.4	415.3	366.8
5815-90	318.4	297.5	482.1	441.0	432.4	381.2
6915-0	164.5	151.8	207.7	186.0	223.7	204.6
6915-90	269.4	249.8	290.3	264.4	291.6	258.5
Ortalama	214.1	198.0	291.1	267.9	271.2	243.3

Tablo B.9: Simetrik 3 ve 5-Katlı Modellerin Görelî Kat Ötelenme Oranları.

Model	3-katlı				5-katlı			
	Ankastre e0 (%)	LRB e0 (%)	FPS e0 (%)	Combo e0 (%)	Ankastre e0 (%)	LRB e0 (%)	FPS e0 (%)	Combo e0 (%)
88-0	0.34	0.06	0.09	0.08	0.35	0.06	0.11	0.13
88-90	0.32	0.13	0.14	0.12	0.45	0.12	0.12	0.16
164-0	0.43	0.09	0.10	0.09	0.72	0.09	0.11	0.13
164-90	0.46	0.06	0.08	0.06	0.38	0.06	0.07	0.09
302-0	0.81	0.06	0.11	0.07	0.99	0.06	0.10	0.12
302-90	0.89	0.15	0.18	0.17	1.80	0.15	0.22	0.24
313-0	1.80	0.11	0.16	0.14	2.21	0.13	0.21	0.24
313-90	1.82	0.14	0.22	0.20	2.62	0.15	0.21	0.32
548-0	1.00	0.09	0.12	0.10	1.50	0.10	0.12	0.14
548-90	0.98	0.12	0.18	0.16	1.59	0.12	0.18	0.26
1614-0	0.69	0.11	0.12	0.12	0.96	0.09	0.12	0.15
1614-90	0.58	0.14	0.12	0.11	0.74	0.12	0.11	0.14
1633-0	0.91	0.19	0.24	0.28	1.50	0.17	0.34	0.25
1633-90	0.69	0.14	0.19	0.18	1.07	0.12	0.20	0.20
3750-0	0.93	0.16	0.20	0.17	0.85	0.12	0.20	0.16
3750-90	0.76	0.26	0.30	0.38	1.14	0.22	0.41	0.45
3759-0	0.89	0.10	0.11	0.10	1.00	0.08	0.12	0.10
3759-90	1.20	0.06	0.11	0.09	1.12	0.08	0.10	0.17
5815-0	1.34	0.24	0.44	0.35	2.21	0.22	0.45	0.52
5815-90	1.61	0.20	0.41	0.31	1.74	0.18	0.40	0.49
6915-0	0.77	0.08	0.09	0.10	0.48	0.07	0.13	0.13
6915-90	0.91	0.16	0.17	0.16	0.81	0.15	0.16	0.20
Ortalama	0.92	0.13	0.18	0.16	1.19	0.12	0.19	0.22

Tablo B.10: Simetrik 7 ve 9-Katlı Modellerin Görelî Kat Ötelenme Oranları.

Model	7-katlı				9-katlı			
	Ankastre e0 (%)	LRB e0 (%)	FPS e0 (%)	Combo e0 (%)	Ankastre e0 (%)	LRB e0 (%)	FPS e0 (%)	Combo e0 (%)
88-0	0.46	0.07	0.09	0.10	0.42	0.05	0.12	0.13
88-90	0.52	0.15	0.19	0.25	0.43	0.10	0.16	0.20
164-0	1.11	0.11	0.12	0.16	0.61	0.07	0.10	0.10
164-90	0.43	0.07	0.10	0.12	0.36	0.04	0.09	0.08
302-0	0.42	0.07	0.11	0.12	0.75	0.03	0.10	0.07
302-90	0.84	0.16	0.25	0.29	1.22	0.11	0.15	0.19
313-0	1.42	0.11	0.10	0.20	1.01	0.06	0.16	0.10
313-90	1.41	0.15	0.13	0.32	1.40	0.08	0.15	0.12
548-0	1.22	0.10	0.11	0.14	0.63	0.07	0.10	0.08
548-90	1.33	0.12	0.16	0.19	1.11	0.07	0.09	0.08
1614-0	0.57	0.13	0.15	0.13	0.86	0.10	0.14	0.14
1614-90	0.81	0.14	0.19	0.19	0.88	0.11	0.13	0.12
1633-0	1.24	0.18	0.30	0.46	0.95	0.11	0.22	0.28
1633-90	0.89	0.15	0.23	0.26	0.66	0.10	0.17	0.15
3750-0	1.44	0.15	0.20	0.24	0.95	0.11	0.21	0.16
3750-90	2.05	0.25	0.40	0.26	1.81	0.18	0.27	0.38
3759-0	1.02	0.13	0.18	0.14	0.67	0.10	0.12	0.13
3759-90	0.87	0.07	0.08	0.13	0.71	0.05	0.10	0.08
5815-0	0.88	0.20	0.29	0.34	1.82	0.11	0.20	0.26
5815-90	1.28	0.19	0.36	0.41	0.95	0.12	0.23	0.27
6915-0	0.63	0.09	0.16	0.16	0.38	0.07	0.12	0.12
6915-90	0.88	0.16	0.21	0.27	0.43	0.11	0.13	0.17
Ortalama	0.99	0.13	0.19	0.22	0.86	0.09	0.15	0.15

Tablo B.11: Simetrik Modellerin Mutlak Maksimum İvme Değerleri.

Model	3-katlı				5-katlı			
	Ankastre (mm/s ²)	e0-LRB (mm/s ²)	e0-FPS (mm/s ²)	e0-Combo (mm/s ²)	Ankastre (mm/s ²)	e0-LRB (mm/s ²)	e0-FPS (mm/s ²)	e0-Combo (mm/s ²)
9	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	5748.5	797.2	1215.7	1424.2
4	-	-	-	-	4108.2	746.1	1131.9	1300.8
3	6514.5	692.3	941.3	833.0	4263.2	711.6	1069.5	1221.0
2	4795.8	673.0	889.0	795.2	4810.9	731.3	1085.9	1268.7
1	4782.0	698.1	914.5	815.9	4811.0	764.4	1126.8	1342.0
0	0.0	807.8	1283.5	1047.4	0.0	772.4	1166.1	1439.8

Model	7-katlı				9-katlı			
	Ankastre (mm/s ²)	e0-LRB (mm/s ²)	e0-FPS (mm/s ²)	e0-Combo (mm/s ²)	Ankastre (mm/s ²)	e0-LRB (mm/s ²)	e0-FPS (mm/s ²)	e0-Combo (mm/s ²)
9	-	-	-	-	5017.5	513.4	823.5	882.9
8	-	-	-	-	3548.8	487.6	754.2	807.9
7	5170.1	689.3	919.8	1152.1	3582.3	458.3	696.0	738.9
6	3555.9	646.0	856.8	1067.4	3965.7	446.8	662.1	703.2
5	3733.2	609.1	822.8	1020.6	4219.1	448.7	650.7	688.7
4	4140.2	602.3	806.0	993.1	4194.5	457.0	654.9	693.2
3	4220.9	610.4	808.8	998.2	4413.6	475.8	681.4	731.0
2	4496.9	630.8	821.2	1031.0	4701.1	506.6	729.7	781.2
1	4633.3	667.4	848.8	1085.7	4998.9	527.0	776.2	836.2
0	0.0	683.2	957.1	1170.6	0.0	534.6	805.2	865.6

Tablo B.12: Simetrik 3 ve 5-Katlı Modellerin Taban Kesme Katsayısı.

Model	3-katlı (W=4623.6 kN)				5-katlı (W=12753.8 kN)			
	Ankastre	e0-LRB	e0-FPS	e0-Combo	Ankastre	e0-LRB	e0-FPS	e0-Combo
88-0	0.29	0.02	0.03	0.03	0.16	0.03	0.06	0.07
88-90	0.27	0.05	0.05	0.05	0.18	0.06	0.06	0.08
164-0	0.30	0.03	0.04	0.04	0.20	0.04	0.06	0.07
164-90	0.33	0.02	0.04	0.02	0.15	0.03	0.04	0.04
302-0	0.37	0.02	0.05	0.03	0.20	0.03	0.05	0.06
302-90	0.37	0.05	0.07	0.06	0.22	0.07	0.11	0.13
313-0	0.35	0.04	0.06	0.05	0.25	0.06	0.10	0.12
313-90	0.38	0.05	0.08	0.07	0.21	0.07	0.11	0.16
548-0	0.39	0.03	0.05	0.05	0.24	0.05	0.06	0.07
548-90	0.38	0.04	0.08	0.06	0.23	0.06	0.09	0.13
1614-0	0.32	0.04	0.04	0.04	0.25	0.05	0.06	0.07
1614-90	0.31	0.05	0.05	0.04	0.23	0.06	0.06	0.07
1633-0	0.36	0.07	0.12	0.10	0.23	0.09	0.17	0.24
1633-90	0.35	0.05	0.08	0.07	0.21	0.06	0.10	0.10
3750-0	0.35	0.05	0.08	0.07	0.22	0.06	0.10	0.15
3750-90	0.35	0.09	0.12	0.11	0.24	0.11	0.19	0.19
3759-0	0.36	0.04	0.05	0.04	0.21	0.04	0.06	0.05
3759-90	0.40	0.02	0.05	0.04	0.25	0.04	0.05	0.08
5815-0	0.42	0.08	0.12	0.11	0.28	0.11	0.19	0.25
5815-90	0.36	0.07	0.12	0.11	0.23	0.09	0.19	0.18
6915-0	0.38	0.03	0.05	0.04	0.20	0.04	0.06	0.06
6915-90	0.37	0.06	0.07	0.06	0.20	0.08	0.08	0.10
Ortalama	0.35	0.05	0.07	0.06	0.22	0.06	0.09	0.11

Tablo B.13: Simetrik 7 ve 9-Katlı Modellerin Taban Kesme Katsayısı.

Model	7-katlı (W=19885.5 kN)				9-katlı (W=32623.2 kN)			
	Ankastre	e0-LRB	e0-FPS	e0-Combo	Ankastre	e0-LRB	e0-FPS	e0-Combo
88-0	0.12	0.02	0.03	0.04	0.12	0.01	0.04	0.05
88-90	0.15	0.05	0.07	0.09	0.11	0.03	0.05	0.06
164-0	0.16	0.04	0.04	0.06	0.15	0.02	0.03	0.03
164-90	0.12	0.02	0.04	0.04	0.13	0.01	0.03	0.03
302-0	0.11	0.02	0.04	0.04	0.17	0.01	0.03	0.03
302-90	0.16	0.06	0.09	0.10	0.19	0.03	0.04	0.06
313-0	0.18	0.04	0.04	0.07	0.19	0.02	0.05	0.04
313-90	0.17	0.05	0.05	0.11	0.18	0.02	0.05	0.05
548-0	0.17	0.03	0.04	0.05	0.18	0.01	0.03	0.03
548-90	0.17	0.04	0.06	0.07	0.19	0.02	0.03	0.03
1614-0	0.14	0.04	0.06	0.05	0.17	0.03	0.04	0.05
1614-90	0.17	0.05	0.07	0.07	0.17	0.04	0.04	0.05
1633-0	0.19	0.06	0.11	0.15	0.21	0.03	0.07	0.09
1633-90	0.15	0.05	0.08	0.09	0.17	0.03	0.05	0.05
3750-0	0.18	0.05	0.07	0.08	0.18	0.04	0.07	0.09
3750-90	0.18	0.09	0.14	0.17	0.19	0.06	0.13	0.13
3759-0	0.16	0.04	0.07	0.05	0.16	0.03	0.04	0.04
3759-90	0.16	0.03	0.03	0.05	0.16	0.01	0.03	0.03
5815-0	0.19	0.07	0.10	0.17	0.20	0.03	0.06	0.08
5815-90	0.17	0.07	0.13	0.16	0.21	0.04	0.07	0.09
6915-0	0.16	0.03	0.05	0.06	0.13	0.02	0.04	0.05
6915-90	0.19	0.06	0.08	0.10	0.14	0.03	0.04	0.05
Ortalama	0.16	0.05	0.07	0.09	0.17	0.03	0.05	0.06

EK C Asimetrik İzolatörlerin Sismik Performans Üzerindeki Etkisi

Tablo C.1: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Yere göre Çatı Ötelenme Oranları.

Model 3 kat	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e20 (%)	e20 (%)	e20 (%)
88-0	0.78	1.29	0.99	0.78	1.12	1.11	1.03	0.90	0.94
88-90	1.81	1.85	1.57	1.96	1.64	1.59	1.68	1.62	1.36
164-0	1.18	1.28	1.07	1.28	1.58	1.59	1.08	1.09	1.41
164-90	0.74	1.28	0.84	0.76	0.79	0.96	0.80	0.77	0.85
302-0	0.83	1.19	0.94	0.91	1.15	1.05	1.05	1.08	1.09
302-90	2.05	2.32	2.30	2.17	2.46	2.44	2.26	2.15	1.99
313-0	1.44	2.02	1.85	1.69	1.72	1.88	1.92	1.86	1.84
313-90	1.93	2.91	2.54	1.95	2.81	2.63	2.44	2.00	2.21
548-0	1.17	1.41	0.96	1.30	1.13	1.21	1.27	1.32	1.26
548-90	1.53	2.16	1.89	1.71	1.89	1.86	1.86	2.19	2.15
1614-0	1.43	1.69	1.69	1.45	1.23	1.14	1.30	1.28	1.45
1614-90	1.86	1.51	1.43	1.99	1.70	1.45	1.34	1.76	1.39
1633-0	2.65	3.91	3.38	2.72	3.61	3.56	3.46	2.99	3.54
1633-90	1.91	1.54	1.94	1.98	1.71	2.03	1.99	1.96	2.10
3750-0	2.30	2.20	2.22	2.37	2.15	2.11	2.24	2.11	2.11
3750-90	3.73	3.92	3.84	3.94	4.18	4.02	3.99	3.84	3.76
3759-0	1.34	1.37	1.46	1.45	1.54	1.18	1.13	1.04	0.99
3759-90	0.82	1.52	1.19	0.92	1.53	1.41	1.16	0.90	1.25
5815-0	3.33	4.17	3.94	3.89	4.82	4.65	4.66	4.17	4.79
5815-90	2.87	3.79	3.63	2.98	3.01	2.98	2.97	3.39	2.52
6915-0	1.04	1.21	1.06	0.94	1.12	0.88	0.99	0.71	0.76
6915-90	2.14	1.73	2.07	2.26	1.94	2.02	2.01	2.27	2.21
Ortalama	1.77	2.10	1.95	1.88	2.04	1.99	1.94	1.88	1.91

Tablo C.2: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Yere göre Çatı Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
5 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e20 (%)	e20 (%)	e20 (%)
88-0	0.55	1.07	1.08	0.59	1.17	1.41	0.60	0.85	1.19
88-90	1.20	1.25	1.18	1.54	1.54	1.73	1.57	1.77	1.54
164-0	0.80	0.83	1.08	1.01	0.99	1.11	1.02	1.13	1.19
164-90	0.50	0.87	0.80	0.61	0.94	0.94	0.58	0.94	1.20
302-0	0.54	0.97	0.86	0.55	0.97	0.91	0.52	0.87	0.97
302-90	1.44	2.03	1.79	1.58	2.20	2.16	1.54	1.87	1.89
313-0	1.11	1.62	1.65	1.09	1.50	1.72	1.27	1.43	1.65
313-90	1.51	2.05	2.14	1.50	2.59	1.78	1.38	2.48	1.64
548-0	0.83	1.07	1.07	0.83	0.94	1.02	0.86	0.83	1.14
548-90	1.18	1.67	1.78	1.18	1.76	1.34	1.21	1.50	1.40
1614-0	0.82	0.91	1.06	1.16	0.93	1.76	1.16	0.82	1.62
1614-90	1.12	1.18	1.13	1.45	1.28	1.42	1.52	1.39	1.59
1633-0	1.79	3.11	3.01	1.82	3.24	3.63	1.86	3.50	3.60
1633-90	1.28	1.20	1.18	1.43	1.15	1.76	1.44	1.37	1.73
3750-0	1.38	1.48	1.61	1.74	1.51	1.65	1.79	1.57	1.79
3750-90	2.54	3.50	2.60	3.10	3.56	3.67	3.10	3.47	3.28
3759-0	0.70	1.37	0.86	1.32	1.24	1.55	1.33	1.20	1.60
3759-90	0.66	1.15	1.26	0.67	1.21	1.59	0.78	1.43	1.50
5815-0	2.49	3.35	3.25	2.42	3.65	3.66	2.72	3.51	3.39
5815-90	1.97	3.32	2.28	2.07	3.26	3.55	2.09	3.17	3.47
6915-0	0.70	1.11	0.79	0.86	0.97	1.61	0.87	0.99	1.59
6915-90	1.56	1.50	1.45	1.81	1.65	1.82	1.85	1.75	1.84
Ortalama	1.21	1.66	1.54	1.38	1.74	1.90	1.41	1.72	1.85

Tablo C.3: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Yere göre Çatı Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
7 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e20 (%)	e20 (%)	e20 (%)
88-0	0.39	0.59	0.52	0.52	0.75	0.51	0.46	0.55	0.73
88-90	1.01	1.35	1.26	1.10	1.46	1.58	1.21	1.30	1.46
164-0	0.67	0.93	0.83	0.79	0.81	1.07	0.79	0.87	0.73
164-90	0.39	0.74	0.68	0.42	0.74	0.96	0.47	0.53	0.73
302-0	0.40	0.84	0.49	0.38	0.55	0.85	0.38	0.54	0.68
302-90	1.07	1.66	1.41	1.25	1.76	1.64	1.17	1.68	1.65
313-0	0.73	0.75	0.96	0.68	1.01	0.83	0.85	0.94	0.90
313-90	0.93	0.98	1.50	0.84	0.90	0.90	1.04	0.95	0.96
548-0	0.52	0.69	0.63	0.51	0.57	0.82	0.61	0.55	0.57
548-90	0.73	1.14	0.95	0.73	0.90	1.15	0.85	1.03	0.90
1614-0	0.77	0.91	0.67	1.14	1.04	1.02	0.98	1.07	1.04
1614-90	0.95	1.34	0.97	1.50	1.21	1.46	1.36	1.05	1.07
1633-0	1.29	1.95	2.01	1.39	1.94	2.05	1.33	1.93	2.19
1633-90	0.97	1.53	1.30	1.17	1.33	1.55	1.22	1.26	1.34
3750-0	1.18	1.26	1.07	1.51	1.16	1.25	1.46	1.25	1.22
3750-90	2.02	2.39	2.24	2.73	2.39	2.47	2.61	2.35	2.27
3759-0	0.79	1.28	0.72	1.27	1.03	1.28	1.13	1.15	0.92
3759-90	0.43	0.58	0.75	0.39	0.63	0.80	0.52	0.75	0.64
5815-0	1.42	1.84	2.34	1.29	1.92	1.93	1.93	1.97	1.99
5815-90	1.45	2.22	2.17	1.52	2.18	2.27	1.60	2.15	2.19
6915-0	0.58	0.97	0.71	0.88	0.93	1.02	0.76	0.78	1.04
6915-90	1.20	1.50	1.33	1.29	1.44	1.48	1.34	1.53	1.38
Ortalama	0.90	1.25	1.16	1.06	1.21	1.31	1.09	1.19	1.21

Tablo C.4: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Yere göre Çatı Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
9 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e20 (%)	e20 (%)	e20 (%)
88-0	0.34	0.81	0.84	0.36	0.97	1.14	0.37	1.14	1.15
88-90	0.78	1.26	1.14	0.74	1.10	1.22	0.86	1.23	1.16
164-0	0.56	0.95	0.70	0.63	0.67	1.08	0.61	0.72	0.92
164-90	0.32	0.64	0.60	0.32	0.78	1.05	0.35	0.80	1.21
302-0	0.25	0.80	0.60	0.24	0.76	0.66	0.29	0.57	1.21
302-90	0.94	1.11	0.99	0.99	1.35	1.48	0.97	1.41	1.25
313-0	0.45	0.82	0.69	0.44	0.98	1.20	0.50	1.08	1.07
313-90	0.59	0.88	0.78	0.58	0.98	1.03	0.65	1.02	1.02
548-0	0.39	0.53	0.44	0.38	0.74	0.78	0.40	0.85	1.15
548-90	0.57	0.66	0.65	0.57	0.82	0.78	0.56	0.80	0.89
1614-0	0.79	1.13	0.89	1.12	1.34	1.41	1.19	1.28	1.91
1614-90	1.01	1.02	0.83	1.29	0.98	1.00	1.36	1.72	1.35
1633-0	0.96	1.61	1.52	1.08	1.78	1.76	1.07	1.89	1.53
1633-90	0.89	0.96	0.89	0.95	1.32	1.46	0.91	1.52	1.30
3750-0	1.13	1.00	1.00	1.19	1.29	1.19	1.19	1.02	1.04
3750-90	1.85	2.64	1.80	2.51	3.42	1.87	2.58	3.55	3.60
3759-0	0.87	1.01	0.84	0.93	1.24	1.45	0.94	1.31	0.89
3759-90	0.26	0.77	0.56	0.26	1.03	0.69	0.30	0.93	1.05
5815-0	0.96	1.13	1.44	0.95	1.45	1.61	1.00	1.80	1.75
5815-90	1.11	1.67	1.50	1.09	2.01	1.68	1.11	1.93	1.68
6915-0	0.57	0.72	0.78	0.60	0.99	0.73	0.57	1.41	1.44
6915-90	0.94	1.01	1.01	1.16	0.89	0.91	1.26	1.17	1.16
Ortalama	0.75	1.05	0.93	0.84	1.22	1.19	0.87	1.32	1.35

Tablo C.5: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin İzolatöre göre Çatı Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
3 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e20 (%)	e20 (%)	e20 (%)
88-0	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08
88-90	0.12	0.13	0.11	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.11
164-0	0.08	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	0.09	0.07	0.11
164-90	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
302-0	0.06	0.06	0.05	0.06	0.08	0.06	0.08	0.07	0.09
302-90	0.14	0.16	0.16	0.14	0.19	0.19	0.16	0.17	0.29
313-0	0.10	0.13	0.12	0.14	0.12	0.13	0.26	0.14	0.27
313-90	0.13	0.20	0.18	0.13	0.20	0.20	0.16	0.19	0.35
548-0	0.08	0.08	0.05	0.11	0.09	0.12	0.19	0.09	0.19
548-90	0.11	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.33	0.16	0.36
1614-0	0.10	0.10	0.11	0.10	0.12	0.11	0.10	0.09	0.11
1614-90	0.13	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.12	0.12
1633-0	0.18	0.42	0.26	0.17	0.35	0.31	0.25	0.28	0.51
1633-90	0.13	0.16	0.16	0.13	0.17	0.19	0.15	0.19	0.22
3750-0	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.17	0.46	0.16	0.52
3750-90	0.24	0.43	0.33	0.24	0.62	0.59	0.32	0.48	0.53
3759-0	0.09	0.08	0.10	0.10	0.10	0.07	0.08	0.07	0.15
3759-90	0.06	0.09	0.08	0.08	0.10	0.09	0.08	0.08	0.10
5815-0	0.22	0.68	0.49	0.43	1.16	1.11	0.73	1.04	1.40
5815-90	0.19	0.27	0.25	0.19	0.04	0.04	0.38	0.09	0.11
6915-0	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.05
6915-90	0.15	0.11	0.15	0.15	0.17	0.17	0.19	0.16	0.20
Ortalama	0.12	0.17	0.15	0.14	0.20	0.19	0.20	0.18	0.27

Tablo C.6: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin İzolatöre göre Çatı Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
5 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e20 (%)	e20 (%)	e20 (%)
88-0	0.04	0.07	0.09	0.03	0.06	0.06	0.03	0.05	0.05
88-90	0.09	0.08	0.11	0.07	0.10	0.10	0.07	0.12	0.06
164-0	0.06	0.07	0.09	0.05	0.05	0.04	0.05	0.07	0.05
164-90	0.04	0.04	0.06	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05
302-0	0.04	0.04	0.07	0.04	0.04	0.03	0.02	0.05	0.04
302-90	0.10	0.15	0.16	0.08	0.13	0.13	0.07	0.15	0.08
313-0	0.09	0.14	0.15	0.08	0.08	0.09	0.11	0.14	0.10
313-90	0.10	0.14	0.21	0.10	0.17	0.09	0.11	0.17	0.08
548-0	0.07	0.07	0.09	0.07	0.06	0.04	0.09	0.05	0.05
548-90	0.09	0.12	0.19	0.08	0.13	0.09	0.10	0.12	0.11
1614-0	0.07	0.05	0.09	0.06	0.06	0.10	0.06	0.04	0.08
1614-90	0.08	0.07	0.10	0.07	0.08	0.06	0.07	0.09	0.06
1633-0	0.12	0.20	0.51	0.11	0.24	0.25	0.14	0.27	0.23
1633-90	0.08	0.13	0.10	0.06	0.06	0.13	0.06	0.15	0.13
3750-0	0.08	0.08	0.21	0.07	0.08	0.07	0.07	0.11	0.06
3750-90	0.15	0.20	0.27	0.13	0.28	0.26	0.12	0.30	0.14
3759-0	0.06	0.08	0.06	0.06	0.06	0.09	0.06	0.06	0.06
3759-90	0.05	0.07	0.11	0.05	0.07	0.08	0.07	0.09	0.08
5815-0	0.15	0.24	0.75	0.14	0.33	0.28	0.19	0.36	0.24
5815-90	0.12	0.20	0.27	0.10	0.24	0.25	0.16	0.24	0.23
6915-0	0.05	0.06	0.07	0.04	0.07	0.07	0.04	0.06	0.06
6915-90	0.10	0.10	0.12	0.08	0.11	0.08	0.08	0.12	0.07
Ortalama	0.08	0.11	0.18	0.07	0.12	0.11	0.08	0.13	0.10

Tablo C.7: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin İzolatöre göre Çatı Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
7 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e20 (%)	e20 (%)	e20 (%)
88-0	0.04	0.04	0.05	0.03	0.06	0.06	0.03	0.03	0.05
88-90	0.10	0.12	0.16	0.09	0.13	0.15	0.07	0.12	0.13
164-0	0.08	0.08	0.10	0.04	0.07	0.09	0.06	0.09	0.05
164-90	0.04	0.06	0.08	0.03	0.06	0.07	0.03	0.06	0.05
302-0	0.04	0.07	0.06	0.03	0.04	0.06	0.06	0.03	0.04
302-90	0.11	0.16	0.18	0.06	0.17	0.16	0.07	0.17	0.17
313-0	0.07	0.06	0.11	0.05	0.09	0.06	0.11	0.07	0.06
313-90	0.10	0.09	0.21	0.08	0.08	0.06	0.16	0.10	0.07
548-0	0.06	0.07	0.07	0.04	0.04	0.07	0.09	0.05	0.05
548-90	0.07	0.09	0.10	0.04	0.06	0.09	0.12	0.09	0.06
1614-0	0.08	0.08	0.08	0.06	0.10	0.08	0.06	0.10	0.10
1614-90	0.09	0.13	0.12	0.07	0.11	0.14	0.08	0.10	0.10
1633-0	0.11	0.20	0.29	0.07	0.19	0.18	0.17	0.19	0.20
1633-90	0.10	0.14	0.18	0.06	0.13	0.15	0.07	0.13	0.14
3750-0	0.09	0.11	0.13	0.07	0.10	0.10	0.08	0.12	0.09
3750-90	0.16	0.21	0.45	0.12	0.24	0.26	0.15	0.23	0.21
3759-0	0.08	0.11	0.09	0.06	0.09	0.11	0.08	0.11	0.07
3759-90	0.04	0.04	0.08	0.03	0.05	0.05	0.08	0.06	0.05
5815-0	0.14	0.19	0.55	0.10	0.18	0.20	0.27	0.22	0.20
5815-90	0.12	0.20	0.38	0.11	0.23	0.23	0.09	0.23	0.23
6915-0	0.06	0.08	0.09	0.05	0.07	0.07	0.05	0.08	0.09
6915-90	0.10	0.13	0.18	0.06	0.12	0.12	0.09	0.14	0.10
Ortalama	0.09	0.11	0.17	0.06	0.11	0.12	0.09	0.11	0.11

Tablo C.8: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin İzolatöre göre Çatı Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
9 kat	e0 (%)	e0 (%)	e0 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e10 (%)	e20 (%)	e20 (%)	e20 (%)
88-0	0.03	0.04	0.08	0.03	0.03	0.05	0.01	0.06	0.07
88-90	0.06	0.10	0.12	0.05	0.06	0.06	0.08	0.07	0.04
164-0	0.04	0.06	0.06	0.02	0.04	0.05	0.02	0.07	0.02
164-90	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04	0.01	0.04
302-0	0.02	0.06	0.05	0.02	0.06	0.08	0.03	0.06	0.05
302-90	0.08	0.09	0.13	0.04	0.08	0.11	0.03	0.08	0.06
313-0	0.03	0.07	0.05	0.03	0.07	0.03	0.05	0.04	0.08
313-90	0.05	0.07	0.07	0.05	0.07	0.06	0.07	0.05	0.05
548-0	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.02	0.07	0.05	0.02
548-90	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.01	0.05	0.14	0.03
1614-0	0.07	0.08	0.05	0.05	0.08	0.10	0.03	0.10	0.12
1614-90	0.07	0.08	0.07	0.05	0.07	0.06	0.04	0.12	0.06
1633-0	0.07	0.15	0.19	0.04	0.13	0.17	0.04	0.14	0.09
1633-90	0.06	0.08	0.09	0.04	0.09	0.08	0.03	0.10	0.08
3750-0	0.07	0.06	0.09	0.04	0.12	0.12	0.03	0.03	0.02
3750-90	0.11	0.27	0.24	0.09	0.34	0.16	0.07	0.35	0.37
3759-0	0.07	0.06	0.08	0.04	0.05	0.07	0.03	0.07	0.05
3759-90	0.03	0.04	0.04	0.02	0.04	0.01	0.04	0.03	0.03
5815-0	0.07	0.13	0.17	0.07	0.12	0.13	0.09	0.14	0.14
5815-90	0.07	0.14	0.18	0.07	0.17	0.12	0.10	0.13	0.12
6915-0	0.04	0.08	0.07	0.02	0.04	0.07	0.02	0.08	0.07
6915-90	0.07	0.09	0.11	0.04	0.07	0.07	0.04	0.07	0.07
Ortalama	0.06	0.08	0.10	0.04	0.08	0.08	0.05	0.09	0.08

Tablo C.9: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.

Model 3 kat	Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)			Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)			Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)		
	LRB	LRB	LRB	LRB	LRB	LRB	FPS	FPS	FPS	FPS	FPS	FPS	Combo	Combo	Combo	Combo	Combo	Combo
	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20
88-0	74.7	75.2	86.5	69.3	70.7	80.0	124.1	107.6	98.6	117.9	101.6	92.8	94.8	106.8	90.4	87.7	100.5	82.8
88-90	173.4	188.0	155.5	161.4	175.8	143.1	177.3	157.4	161.3	165.0	144.9	149.1	150.5	152.9	130.3	140.3	140.6	119.5
164-0	113.6	122.7	104.4	105.5	114.1	95.6	122.6	151.8	104.0	115.7	142.4	97.2	103.0	152.8	135.1	95.5	142.7	124.2
164-90	71.0	72.8	73.7	65.8	68.2	67.8	122.5	75.4	76.6	115.9	69.3	70.1	81.1	92.1	81.7	76.3	86.1	75.2
302-0	79.5	87.8	103.5	74.0	82.1	95.4	114.6	110.8	100.9	109.0	103.3	93.8	90.5	101.1	104.2	85.7	95.3	96.0
302-90	197.1	208.1	206.8	183.7	195.0	191.3	222.9	235.9	216.7	207.1	218.0	200.4	220.9	234.0	190.9	205.7	216.2	163.2
313-0	138.1	162.0	178.3	128.5	148.2	153.2	194.2	165.0	184.5	182.1	153.6	171.4	177.3	180.3	177.0	165.5	167.6	150.8
313-90	185.4	187.1	192.3	172.6	174.3	176.7	279.1	269.7	234.6	259.7	250.4	216.8	244.1	252.5	212.0	226.9	233.5	178.1
548-0	112.2	125.2	126.3	104.2	114.4	108.1	135.0	108.2	122.0	127.2	99.3	113.5	92.4	115.8	121.2	87.5	104.7	102.9
548-90	147.2	164.4	210.7	136.8	149.3	179.0	207.2	181.0	178.6	192.4	164.8	163.1	181.8	178.5	206.1	167.4	162.3	171.5
1614-0	137.5	139.3	123.1	127.6	130.1	113.2	162.5	118.0	125.1	152.5	106.1	116.7	161.9	109.6	139.3	151.2	98.9	128.9
1614-90	178.9	190.7	168.8	166.5	178.7	155.7	144.7	162.8	128.5	134.3	150.6	117.1	137.2	139.6	133.4	127.1	127.1	121.9
1633-0	254.6	261.3	287.4	237.6	244.9	263.3	374.9	346.7	332.6	334.6	313.4	305.6	324.5	342.2	339.6	300.0	312.8	291.1
1633-90	183.1	190.1	187.8	170.5	177.8	173.1	147.8	164.3	191.0	132.1	147.9	173.1	185.8	194.6	201.7	170.2	176.3	180.8
3750-0	221.0	227.8	202.9	207.0	212.7	159.2	211.5	205.9	215.3	197.0	191.4	199.5	213.2	202.5	202.6	198.7	186.2	152.4
3750-90	358.5	377.9	368.5	335.1	350.0	338.1	376.0	401.1	383.1	335.2	341.8	336.5	368.6	386.3	361.4	337.1	330.1	310.9
3759-0	128.6	139.7	99.9	119.6	129.7	91.8	131.9	148.3	108.0	124.7	138.8	101.5	140.1	113.4	95.0	130.9	106.8	80.8
3759-90	78.4	88.4	86.6	72.7	80.6	78.9	145.5	146.8	111.1	136.4	137.7	103.8	114.0	134.9	120.4	106.0	126.0	111.0
5815-0	319.3	373.5	400.6	298.4	331.9	330.1	400.7	463.0	447.3	335.4	350.0	347.0	377.9	446.3	460.1	331.3	340.0	325.5
5815-90	275.7	285.9	325.1	257.8	267.6	289.0	363.7	288.6	285.0	337.6	285.1	276.3	348.6	286.1	242.2	324.8	282.4	232.0
6915-0	99.8	90.2	68.3	92.6	83.2	61.5	115.7	107.1	94.9	108.9	100.6	87.3	101.6	84.0	73.2	93.8	76.8	68.9
6915-90	205.5	217.1	217.5	191.5	202.3	199.5	166.0	186.7	192.8	155.4	170.9	177.1	199.0	193.8	212.5	184.6	177.4	192.9
Ortalama	169.7	180.7	180.7	158.1	167.3	161.1	201.8	195.5	186.0	185.3	176.4	168.6	186.8	190.9	183.2	172.5	172.3	157.3

Tablo C.10: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.

Model 5 kat	Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)			Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)			Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)		
	LRB	LRB	LRB	LRB	LRB	LRB	FPS	FPS	FPS	FPS	FPS	FPS	Combo	Combo	Combo	Combo	Combo	Combo
	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20
88-0	88.7	94.5	96.6	81.9	89.8	92.2	171.0	187.7	135.9	159.7	178.3	128.3	173.1	226.0	190.9	158.7	215.8	182.4
88-90	192.6	245.7	251.3	179.0	234.3	240.5	199.8	246.0	283.0	186.2	230.3	263.7	189.2	276.9	246.5	172.3	261.0	237.0
164-0	128.5	160.9	163.7	118.7	153.0	156.0	133.3	158.5	181.0	122.1	149.9	169.9	172.8	178.0	189.8	158.6	171.3	181.4
164-90	79.7	97.1	92.5	72.8	92.1	88.3	139.0	150.8	149.9	132.4	143.9	142.1	128.3	150.0	192.3	118.9	143.8	184.8
302-0	86.4	88.1	83.3	79.6	81.3	79.5	155.3	155.6	139.9	148.7	148.8	132.5	138.1	145.6	154.6	126.5	140.2	148.8
302-90	230.7	253.0	247.0	214.3	240.8	235.8	325.0	351.3	298.5	300.7	329.8	275.1	286.8	345.3	301.8	260.8	324.5	289.7
313-0	176.8	173.6	203.4	162.6	160.1	186.3	259.2	240.0	228.6	236.5	226.5	206.7	264.0	275.2	263.4	239.2	261.0	248.0
313-90	241.4	240.0	220.4	225.5	224.7	202.4	327.8	414.3	397.0	305.8	387.5	369.0	342.4	284.3	261.6	308.3	269.8	248.7
548-0	132.3	132.2	137.3	121.0	121.5	123.6	171.6	149.9	133.6	160.7	139.8	126.1	170.9	163.9	182.8	156.3	157.3	175.2
548-90	188.3	188.5	194.0	174.5	175.2	177.2	266.6	282.4	240.3	248.1	261.3	221.4	284.8	214.6	224.8	255.1	200.6	207.2
1614-0	131.8	185.7	184.9	121.4	176.2	175.9	145.2	148.6	131.6	136.9	139.0	124.9	169.6	280.9	258.7	155.9	264.8	245.3
1614-90	179.1	231.6	242.5	166.0	220.7	231.7	188.4	204.4	222.1	176.8	192.1	208.1	181.0	227.6	253.7	165.6	218.0	244.3
1633-0	286.3	291.5	298.0	267.4	273.1	275.0	497.6	518.2	560.1	400.0	400.0	400.0	525.6	580.0	576.4	400.0	400.0	400.0
1633-90	205.4	229.6	230.6	193.2	219.3	221.1	192.5	184.1	220.0	171.0	174.4	196.7	188.5	280.9	277.0	172.5	260.7	256.7
3750-0	221.5	278.0	286.3	208.6	266.7	275.4	237.3	241.5	251.8	224.4	228.7	234.9	258.2	264.2	286.4	225.3	253.4	277.1
3750-90	406.3	496.0	496.1	382.1	400.0	400.0	559.8	568.9	555.5	400.0	400.0	400.0	416.5	586.5	525.0	372.7	400.0	400.0
3759-0	111.5	211.1	213.0	102.6	200.8	203.0	218.9	198.9	191.3	205.9	189.6	181.2	137.3	248.6	255.5	128.1	234.9	246.2
3759-90	106.0	106.4	125.0	98.2	98.8	113.5	183.9	193.5	228.5	173.2	182.2	213.8	201.2	254.2	240.4	183.8	241.1	228.2
5815-0	398.0	386.5	434.7	374.6	364.5	400.0	536.6	584.5	562.0	400.0	400.0	400.0	573.6	585.7	542.7	400.0	400.0	400.0
5815-90	315.1	331.9	334.1	295.3	316.1	308.5	530.5	521.8	506.5	400.0	400.0	400.0	364.1	568.2	555.6	321.6	400.0	400.0
6915-0	111.3	137.1	139.0	103.7	130.4	132.5	177.9	155.8	158.3	167.6	144.1	149.3	125.7	258.3	254.2	114.8	246.5	244.0
6915-90	249.5	289.7	295.3	233.7	277.0	282.5	240.3	264.6	280.2	224.7	246.6	261.7	232.1	291.6	294.8	212.8	278.3	283.1
Ortalama	194.0	220.4	225.9	180.8	205.3	209.1	266.3	278.2	275.2	231.0	240.6	236.6	251.1	303.9	296.8	218.5	261.0	260.4

Tablo C.11: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.

Model 7 kat	Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)			Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)			Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)		
	LRB	LRB	LRB	LRB	LRB	LRB	FPS	FPS	FPS	FPS	FPS	FPS	Combo	Combo	Combo	Combo	Combo	Combo
	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20
88-0	87.0	116.8	104.1	77.0	109.8	96.8	132.4	167.7	123.7	123.5	153.5	116.0	116.1	113.1	163.5	104.5	99.3	151.3
88-90	227.2	245.3	271.5	204.7	226.1	255.3	302.7	327.1	290.9	275.6	297.7	263.3	282.6	354.0	326.3	245.7	321.2	297.5
164-0	151.2	176.2	176.8	133.3	167.1	163.8	208.6	180.9	196.0	190.1	165.8	176.8	186.4	240.7	162.9	163.2	220.2	151.8
164-90	86.7	95.2	105.8	77.1	87.7	99.0	164.9	165.2	119.6	151.5	152.6	107.0	152.1	215.4	164.0	133.3	199.0	152.5
302-0	89.6	85.2	85.5	79.7	78.1	71.7	189.1	124.2	121.9	174.2	115.7	114.2	110.1	191.3	151.7	96.4	178.1	142.2
302-90	239.7	280.8	261.8	215.1	267.3	246.5	371.0	393.8	376.1	334.5	355.2	338.4	315.7	368.3	369.5	275.3	331.6	331.6
313-0	163.4	151.7	190.5	147.5	139.4	165.4	168.8	225.4	209.9	155.7	206.3	193.5	216.0	187.0	202.1	191.0	174.0	187.9
313-90	208.7	187.2	233.6	185.3	169.0	198.1	220.2	201.0	213.0	201.0	184.1	189.5	335.1	202.6	214.2	288.4	188.2	198.4
548-0	115.8	113.6	137.4	102.7	104.1	116.8	154.8	127.5	123.3	139.2	119.3	112.9	141.9	184.7	128.5	126.2	169.4	118.0
548-90	164.5	164.0	190.0	148.7	155.5	163.9	255.4	200.8	229.7	234.2	187.1	210.2	211.7	256.8	201.7	188.4	237.4	189.0
1614-0	172.0	254.9	220.3	153.8	242.4	206.4	202.9	232.8	239.9	186.1	211.2	218.5	149.0	228.4	233.1	131.8	209.5	210.8
1614-90	212.7	335.8	304.7	192.3	320.0	286.6	299.7	271.2	234.2	270.8	246.7	212.5	218.4	326.9	238.8	192.4	296.2	217.4
1633-0	290.1	311.3	297.4	264.7	296.3	258.5	436.0	434.8	432.3	391.1	391.8	389.1	450.3	458.2	490.3	384.5	400.0	400.0
1633-90	218.2	261.7	273.0	194.8	248.7	258.3	343.4	297.9	283.3	311.0	268.1	255.1	291.2	347.5	300.3	252.0	313.0	269.4
3750-0	263.3	337.6	327.6	242.2	322.9	309.2	282.4	259.4	278.9	257.6	236.1	253.0	239.2	279.1	274.0	210.3	257.7	253.1
3750-90	453.0	611.4	583.9	400.0	400.0	400.0	535.9	534.7	527.1	400.0	400.0	400.0	526.7	554.0	507.6	400.0	400.0	400.0
3759-0	175.9	284.4	253.9	157.1	271.6	236.0	286.2	231.2	258.4	261.2	211.1	233.9	160.8	287.3	206.8	140.3	262.0	190.4
3759-90	95.8	87.9	117.0	86.3	81.6	99.0	129.9	141.6	167.2	120.5	129.9	153.3	167.0	179.3	142.5	148.4	168.1	130.4
5815-0	317.2	290.0	432.0	285.8	267.4	372.4	412.0	430.2	442.1	370.3	389.5	392.1	553.4	433.0	445.2	400.0	389.1	400.0
5815-90	324.1	341.5	358.8	297.5	317.9	339.4	496.5	488.8	480.6	400.0	400.0	400.0	501.1	507.8	490.7	400.0	400.0	400.0
6915-0	129.2	197.2	169.2	115.3	187.0	159.0	217.8	207.4	173.7	200.9	192.5	156.6	159.5	227.4	234.0	140.4	211.6	214.0
6915-90	269.9	289.4	299.9	246.5	275.9	280.5	336.5	322.6	342.6	308.2	295.6	312.0	297.6	331.1	308.7	257.5	304.9	285.4
Ortalama	202.5	237.2	245.2	182.2	215.3	217.4	279.4	271.2	266.6	248.1	241.3	236.3	262.8	294.3	270.8	221.4	260.5	240.5

Tablo C.12: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Çatı ve İzolatör Deplasmanları.

Model 9 kat	Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)			Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)			Çatı Deplasmanı (mm)			İzolatör Deplasmanı (mm)		
	LRB	LRB	LRB	LRB	LRB	LRB	FPS	FPS	FPS	FPS	FPS	FPS	Combo	Combo	Combo	Combo	Combo	Combo
	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20	e0	e10	e20
88-0	97.7	102.6	108.0	88.5	94.2	104.2	232.6	278.1	328.1	221.6	270.5	311.9	240.5	329.5	332.6	217.3	316.4	311.3
88-90	225.5	214.3	248.8	207.5	198.8	224.9	363.1	316.8	354.8	335.2	299.0	333.8	327.2	351.9	334.2	291.2	335.0	322.7
164-0	161.8	181.8	176.1	149.4	174.8	171.5	275.0	194.2	206.9	257.6	182.6	186.2	202.9	310.1	264.0	185.5	296.1	257.3
164-90	92.2	91.2	101.0	83.6	83.7	89.7	184.6	224.2	230.1	170.4	214.1	227.4	174.1	303.0	349.5	159.7	295.1	338.6
302-0	73.4	70.4	83.5	68.2	66.1	75.5	231.2	218.3	164.6	214.2	201.3	147.5	172.2	189.0	347.7	158.2	166.5	333.6
302-90	270.2	284.4	277.9	248.1	272.0	269.4	320.3	388.7	407.2	293.5	364.9	383.3	284.9	426.8	359.7	248.3	396.5	341.7
313-0	130.4	125.8	144.1	121.3	117.7	130.8	236.3	282.6	310.1	217.4	261.6	300.0	199.1	345.9	308.4	185.6	336.0	285.7
313-90	170.2	166.3	185.9	155.0	153.1	165.0	252.2	281.4	294.3	232.4	260.2	279.8	223.6	296.8	293.9	202.2	278.1	279.0
548-0	111.7	110.4	115.1	96.5	96.9	94.7	151.8	213.1	244.3	140.6	202.2	231.1	128.0	225.6	330.3	112.3	221.3	323.4
548-90	164.7	163.8	161.5	152.8	153.3	146.7	189.3	235.3	229.3	180.8	226.5	187.8	186.6	224.0	256.3	174.3	221.3	246.4
1614-0	227.9	322.3	341.4	209.1	308.8	331.9	325.1	385.5	368.1	301.0	363.7	339.3	257.4	407.1	549.8	231.1	379.5	450.0
1614-90	291.4	372.1	390.8	271.9	356.9	378.0	294.8	283.4	494.5	272.5	263.5	450.0	238.4	288.4	388.3	217.3	270.6	369.7
1633-0	275.2	311.0	307.8	255.0	299.1	297.4	464.8	511.7	544.2	422.8	450.0	450.0	438.6	508.2	441.7	384.9	450.0	417.1
1633-90	256.5	273.7	263.3	240.0	262.8	255.8	275.9	379.0	437.4	251.4	353.7	407.7	257.3	420.5	375.4	230.1	396.2	352.3
3750-0	325.1	341.7	342.9	305.2	329.6	334.9	287.4	372.6	292.6	269.3	336.7	282.6	287.0	342.2	300.7	261.0	308.6	293.9
3750-90	532.8	721.6	742.4	450.0	450.0	450.0	760.1	986.2	1021.9	450.0	450.0	450.0	582.5	539.7	1035.5	450.0	450.0	450.0
3759-0	251.9	268.8	270.6	232.8	257.7	261.3	291.4	356.1	375.8	272.7	341.1	356.1	242.4	418.1	255.3	219.2	396.9	240.9
3759-90	76.2	75.7	86.2	68.6	68.9	75.3	220.9	295.8	268.9	208.7	285.7	259.4	160.6	199.7	303.0	148.1	195.4	295.7
5815-0	275.6	273.5	288.1	254.2	254.1	260.8	326.6	417.8	518.0	290.4	384.3	450.0	415.3	463.4	504.6	366.8	427.1	450.0
5815-90	318.4	314.3	320.9	297.5	294.9	293.1	482.1	578.5	555.8	441.0	450.0	450.0	432.4	483.0	484.0	381.2	447.5	448.6
6915-0	164.5	172.2	163.4	151.8	165.4	158.2	207.7	285.8	404.6	186.0	275.0	380.5	223.7	210.3	415.6	204.6	189.9	395.8
6915-90	269.4	333.5	363.2	249.8	320.8	352.6	290.3	255.4	337.9	264.4	235.2	316.6	291.6	262.2	335.1	258.5	241.3	314.7
Ortalama	97.7	102.6	108.0	88.5	94.2	104.2	232.6	278.1	328.1	221.6	270.5	311.9	240.5	329.5	332.6	217.3	316.4	311.3

Tablo C.13: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Görelî Kat Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
3 kat	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
88-0	0.06	0.09	0.10	0.08	0.07	0.05	0.10	0.10	0.07
88-90	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.09	0.16	0.17	0.09
164-0	0.09	0.10	0.11	0.10	0.11	0.08	0.12	0.14	0.10
164-90	0.06	0.08	0.09	0.07	0.07	0.05	0.09	0.10	0.06
302-0	0.06	0.11	0.09	0.08	0.10	0.06	0.10	0.13	0.09
302-90	0.15	0.18	0.17	0.18	0.21	0.14	0.20	0.24	0.20
313-0	0.11	0.16	0.14	0.15	0.17	0.12	0.17	0.20	0.22
313-90	0.14	0.22	0.18	0.18	0.22	0.14	0.20	0.23	0.37
548-0	0.09	0.12	0.12	0.12	0.11	0.08	0.14	0.16	0.13
548-90	0.12	0.18	0.16	0.16	0.18	0.12	0.18	0.21	0.25
1614-0	0.11	0.12	0.13	0.11	0.13	0.08	0.13	0.15	0.10
1614-90	0.14	0.12	0.13	0.14	0.14	0.09	0.16	0.18	0.13
1633-0	0.19	0.24	0.23	0.22	0.23	0.23	0.24	0.28	0.30
1633-90	0.14	0.19	0.17	0.17	0.18	0.14	0.19	0.23	0.20
3750-0	0.16	0.20	0.16	0.17	0.28	0.17	0.19	0.22	0.44
3750-90	0.26	0.30	0.30	0.27	0.39	0.49	0.29	0.32	0.51
3759-0	0.10	0.11	0.12	0.11	0.11	0.06	0.13	0.14	0.10
3759-90	0.06	0.11	0.11	0.09	0.12	0.07	0.11	0.14	0.09
5815-0	0.24	0.44	0.28	0.28	0.62	0.43	0.30	0.55	0.46
5815-90	0.20	0.41	0.26	0.24	0.59	0.40	0.26	0.51	0.43
6915-0	0.08	0.09	0.12	0.08	0.09	0.06	0.10	0.12	0.05
6915-90	0.16	0.17	0.16	0.18	0.18	0.12	0.20	0.21	0.15
Ortalama	0.13	0.18	0.16	0.15	0.20	0.15	0.17	0.22	0.21

Tablo C.14: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Görelî Kat Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
5 kat	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
88-0	0.06	0.11	0.12	0.06	0.11	0.11	0.08	0.11	0.10
88-90	0.12	0.12	0.15	0.12	0.14	0.15	0.11	0.18	0.13
164-0	0.09	0.11	0.12	0.09	0.11	0.09	0.10	0.12	0.09
164-90	0.06	0.07	0.08	0.06	0.08	0.07	0.08	0.09	0.08
302-0	0.06	0.10	0.11	0.06	0.11	0.10	0.08	0.12	0.08
302-90	0.15	0.22	0.23	0.14	0.21	0.19	0.16	0.23	0.16
313-0	0.13	0.21	0.23	0.12	0.21	0.17	0.16	0.22	0.15
313-90	0.15	0.21	0.31	0.14	0.25	0.16	0.17	0.26	0.12
548-0	0.10	0.12	0.13	0.09	0.16	0.12	0.12	0.15	0.12
548-90	0.12	0.18	0.25	0.12	0.21	0.17	0.15	0.20	0.18
1614-0	0.09	0.12	0.14	0.09	0.12	0.15	0.11	0.15	0.13
1614-90	0.12	0.11	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.12
1633-0	0.17	0.34	0.36	0.17	0.37	0.37	0.21	0.42	0.35
1633-90	0.12	0.20	0.19	0.12	0.19	0.20	0.15	0.22	0.19
3750-0	0.12	0.20	0.30	0.12	0.20	0.19	0.13	0.19	0.19
3750-90	0.22	0.41	0.44	0.21	0.44	0.38	0.25	0.46	0.32
3759-0	0.08	0.12	0.09	0.09	0.10	0.13	0.09	0.13	0.10
3759-90	0.08	0.10	0.16	0.07	0.12	0.12	0.11	0.14	0.12
5815-0	0.22	0.45	0.46	0.20	0.51	0.42	0.29	0.56	0.35
5815-90	0.18	0.40	0.48	0.17	0.37	0.38	0.23	0.36	0.35
6915-0	0.07	0.13	0.12	0.07	0.15	0.15	0.07	0.14	0.14
6915-90	0.15	0.16	0.19	0.14	0.18	0.15	0.17	0.19	0.14
Ortalama	0.12	0.19	0.22	0.12	0.20	0.19	0.14	0.22	0.17

Tablo C.15: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Görelî Kat Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
7 kat	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
88-0	0.07	0.09	0.10	0.06	0.12	0.10	0.10	0.09	0.10
88-90	0.15	0.19	0.25	0.13	0.20	0.23	0.16	0.19	0.20
164-0	0.11	0.12	0.16	0.10	0.11	0.14	0.14	0.13	0.11
164-90	0.07	0.10	0.12	0.06	0.09	0.13	0.10	0.10	0.09
302-0	0.07	0.11	0.12	0.05	0.12	0.10	0.11	0.11	0.09
302-90	0.16	0.25	0.29	0.15	0.27	0.25	0.20	0.26	0.25
313-0	0.11	0.10	0.20	0.09	0.14	0.10	0.18	0.18	0.13
313-90	0.15	0.13	0.32	0.12	0.13	0.12	0.23	0.20	0.12
548-0	0.10	0.11	0.14	0.08	0.12	0.10	0.14	0.14	0.12
548-90	0.12	0.16	0.19	0.09	0.17	0.14	0.20	0.18	0.12
1614-0	0.13	0.15	0.13	0.10	0.15	0.17	0.13	0.15	0.16
1614-90	0.14	0.19	0.19	0.12	0.17	0.21	0.17	0.16	0.15
1633-0	0.18	0.30	0.31	0.15	0.29	0.29	0.27	0.31	0.31
1633-90	0.15	0.23	0.26	0.13	0.19	0.24	0.20	0.21	0.21
3750-0	0.15	0.20	0.24	0.15	0.20	0.21	0.18	0.20	0.21
3750-90	0.25	0.40	0.39	0.23	0.38	0.43	0.33	0.37	0.37
3759-0	0.13	0.18	0.14	0.12	0.14	0.18	0.12	0.17	0.12
3759-90	0.07	0.08	0.13	0.05	0.11	0.09	0.13	0.13	0.11
5815-0	0.20	0.29	0.35	0.17	0.29	0.31	0.39	0.45	0.32
5815-90	0.19	0.36	0.38	0.17	0.34	0.37	0.31	0.36	0.36
6915-0	0.09	0.16	0.16	0.08	0.16	0.15	0.10	0.15	0.16
6915-90	0.16	0.21	0.27	0.16	0.20	0.22	0.22	0.23	0.19
Ortalama	0.13	0.19	0.22	0.12	0.19	0.19	0.19	0.20	0.18

Tablo C.16: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Görelî Kat Ötelenme Oranları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
9 kat	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
88-0	0.05	0.12	0.11	0.04	0.13	0.15	0.07	0.16	0.16
88-90	0.10	0.16	0.17	0.08	0.15	0.15	0.13	0.20	0.15
164-0	0.07	0.10	0.07	0.07	0.13	0.08	0.10	0.14	0.09
164-90	0.04	0.09	0.06	0.04	0.08	0.07	0.06	0.10	0.08
302-0	0.03	0.10	0.07	0.03	0.12	0.13	0.05	0.12	0.10
302-90	0.11	0.15	0.16	0.10	0.21	0.15	0.14	0.25	0.15
313-0	0.06	0.16	0.12	0.05	0.20	0.14	0.08	0.22	0.12
313-90	0.08	0.15	0.14	0.07	0.20	0.15	0.11	0.27	0.14
548-0	0.07	0.10	0.07	0.06	0.13	0.09	0.10	0.16	0.09
548-90	0.07	0.09	0.07	0.06	0.16	0.10	0.09	0.22	0.11
1614-0	0.10	0.14	0.12	0.09	0.17	0.16	0.11	0.16	0.19
1614-90	0.11	0.13	0.11	0.11	0.14	0.13	0.13	0.19	0.16
1633-0	0.11	0.22	0.26	0.10	0.29	0.18	0.14	0.31	0.20
1633-90	0.10	0.17	0.13	0.09	0.22	0.17	0.12	0.24	0.15
3750-0	0.11	0.21	0.26	0.11	0.32	0.30	0.14	0.19	0.27
3750-90	0.18	0.27	0.35	0.16	0.37	0.37	0.22	0.26	0.34
3759-0	0.10	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.12	0.15	0.13
3759-90	0.05	0.10	0.07	0.05	0.09	0.08	0.07	0.11	0.08
5815-0	0.11	0.20	0.23	0.10	0.26	0.27	0.15	0.35	0.22
5815-90	0.12	0.23	0.25	0.11	0.28	0.22	0.16	0.29	0.23
6915-0	0.07	0.12	0.12	0.07	0.15	0.14	0.08	0.17	0.16
6915-90	0.11	0.13	0.14	0.10	0.21	0.12	0.14	0.25	0.14
Ortalama	0.09	0.15	0.15	0.08	0.19	0.16	0.11	0.21	0.16

Tablo C.17: Simetrik ve Asimetrik Modellerin Ortalama Maksimum İvme Değerleri.

Model	Ankastre	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
3 kat	e0	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)
3	6514.5	692.3	941.3	833.0	762.7	995.2	943.4	1056.7	990.0	1175.3
2	4795.8	673.0	889.0	795.2	730.7	910.4	884.4	998.5	905.1	1105.3
1	4782.0	698.1	914.5	815.9	757.2	932.6	896.5	1018.1	922.5	1124.8
0	0.0	807.8	1283.5	1047.4	890.4	1410.8	1302.8	1430.2	1396.5	1678.6
Model	Ankastre	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
5 kat	e0	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)
5	5748.5	797.2	1215.7	1424.2	684.2	1219.9	961.0	748.1	1217.6	915.8
4	4108.2	746.1	1131.9	1300.8	650.8	1086.1	895.5	702.0	1100.8	850.5
3	4263.2	711.6	1069.5	1221.0	628.1	1020.7	859.7	673.2	1026.0	813.6
2	4810.9	731.3	1085.9	1268.7	645.8	1048.9	866.3	690.8	1066.8	825.3
1	4811.0	764.4	1126.8	1342.0	670.2	1100.2	894.4	721.6	1122.7	852.6
0	0.0	772.4	1166.1	1439.8	673.8	1131.5	911.3	729.7	1162.9	867.6
Model	Ankastre	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
7 kat	e0	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)
7	5170.1	689.3	919.8	1152.1	527.1	919.0	1033.9	720.9	963.4	1015.7
6	3555.9	646.0	856.8	1067.4	495.1	826.0	1005.9	663.9	863.5	938.1
5	3733.2	609.1	822.8	1020.6	483.1	777.8	981.6	622.1	779.7	888.9
4	4140.2	602.3	806.0	993.1	482.1	758.2	1041.0	617.3	774.5	936.0
3	4220.9	610.4	808.8	998.2	486.8	766.3	1148.4	625.5	780.1	959.9
2	4496.9	630.8	821.2	1031.0	503.6	794.1	1250.0	655.7	817.7	1134.6
1	4633.3	667.4	848.8	1085.7	532.1	837.4	1302.0	697.2	863.5	1194.6
0	0.0	683.2	957.1	1170.6	545.5	877.3	1330.0	721.4	886.2	1213.5
Model	Ankastre	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
5 kat	e0	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)	(mm/s²)
9	5017.5	513.4	823.5	882.9	408.8	890.7	752.0	455.1	860.0	760.1
8	3548.8	487.6	754.2	807.9	395.8	821.5	697.5	434.7	786.5	754.2
7	3582.3	458.3	696.0	738.9	381.7	747.1	639.0	412.8	710.8	806.5
6	3965.7	446.8	662.1	703.2	377.2	704.2	636.6	403.2	680.2	754.3
5	4219.1	448.7	650.7	688.7	383.2	695.4	646.5	406.1	682.7	700.9
4	4194.5	457.0	654.9	693.2	395.0	700.6	681.3	419.1	701.7	705.0
3	4413.6	475.8	681.4	731.0	409.5	735.1	795.9	436.1	722.0	764.6
2	4701.1	506.6	729.7	781.2	430.0	795.6	845.0	462.0	774.3	815.0
1	4998.9	527.0	776.2	836.2	445.4	843.6	863.0	482.0	827.7	964.7
0	0.0	534.6	805.2	865.6	450.6	868.5	883.0	489.7	885.2	985.4

Tablo C.18: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Taban Kesme Kuvvetleri.

Model W=4623.6 kN 3 kat	Ankastre (kN)	e0-LRB (kN)	e0-FPS (kN)	e0-Combo (kN)	e10-LRB (kN)	e10-FPS (kN)	e10-Combo (kN)	e20-LRB (kN)	e20-FPS (kN)	e20-Combo (kN)
88-0	1340.0	103.7	161.3	149.3	242.1	253.7	269.9	262.9	227.5	259.7
88-90	1270.6	223.1	247.6	223.4	227.9	256.7	255.2	220.2	219.7	234.3
164-0	1404.3	153.4	207.1	176.2	151.6	206.2	194.0	225.6	215.4	269.2
164-90	1522.8	97.0	165.4	95.3	163.4	211.0	200.8	233.4	210.3	273.3
302-0	1695.1	103.3	233.6	129.7	284.3	400.5	347.7	513.6	370.7	545.1
302-90	1733.0	249.1	316.8	298.0	285.8	386.9	360.7	475.7	385.8	525.1
313-0	1639.0	181.6	292.2	248.9	288.6	370.9	389.9	436.6	327.2	492.6
313-90	1736.1	234.7	390.1	340.8	280.5	381.4	383.1	444.8	350.0	534.8
548-0	1793.8	153.1	252.3	221.0	248.0	361.9	361.4	454.0	351.7	575.8
548-90	1771.4	197.3	366.0	300.2	245.2	366.0	351.2	417.6	358.0	539.6
1614-0	1500.3	185.1	182.2	203.9	254.6	271.7	246.3	347.9	295.9	354.0
1614-90	1425.7	229.5	217.5	203.7	252.8	267.9	253.2	353.4	281.6	358.3
1633-0	1661.9	310.7	552.2	477.4	367.5	541.5	527.2	519.4	514.8	630.9
1633-90	1598.4	231.8	374.9	329.0	365.2	536.0	516.8	598.4	516.3	642.5
3750-0	1638.6	253.3	380.7	345.0	463.1	575.3	589.6	648.2	564.2	709.8
3750-90	1631.3	413.0	538.8	527.9	460.2	577.9	576.0	565.7	578.0	654.7
3759-0	1680.5	173.3	224.9	174.8	161.9	211.2	200.4	251.8	235.3	279.0
3759-90	1831.6	108.1	217.7	164.4	165.9	218.9	191.9	220.7	230.2	261.4
5815-0	1940.0	373.9	575.4	526.4	467.2	637.7	610.4	622.3	629.8	717.3
5815-90	1677.6	317.1	559.0	512.4	476.7	628.9	633.7	676.9	614.9	731.8
6915-0	1747.3	131.8	210.6	199.7	309.1	356.2	356.7	451.0	328.4	475.7
6915-90	1701.5	258.1	341.9	289.2	299.3	354.2	354.4	385.4	331.3	442.3
Ortalama	1675.1	255.4	360.9	320.4	293.7	380.6	371.4	423.9	369.9	477.6

Tablo C.19: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Taban Kesme Kuvvetleri.

Model W=12753.8 kN 5 kat	Ankastre (kN)	e0-LRB (kN)	e0-FPS (kN)	e0-Combo (kN)	e10-LRB (kN)	e10-FPS (kN)	e10-Combo (kN)	e20-LRB (kN)	e20-FPS (kN)	e20-Combo (kN)
88-0	2090.5	398.5	722.8	881.6	727.4	808.6	740.0	758.7	798.3	867.5
88-90	2333.2	800.4	812.3	1040.8	1126.2	764.7	877.2	600.2	887.5	695.7
164-0	2571.9	569.4	718.5	864.2	494.6	690.3	489.2	425.3	664.5	499.8
164-90	1940.4	367.9	484.5	548.7	517.2	776.9	540.6	548.7	783.9	582.2
302-0	2611.5	395.3	638.8	728.5	794.9	1255.0	1400.2	841.3	1134.9	1280.6
302-90	2855.5	916.8	1423.1	1637.1	758.9	1332.4	1080.6	802.2	1168.3	902.4
313-0	3167.7	729.4	1254.5	1523.3	723.7	1322.2	833.1	844.1	1339.4	709.4
313-90	2738.4	955.7	1451.4	2080.8	721.4	1430.0	861.6	792.3	1430.0	694.4
548-0	3104.7	595.9	798.8	893.8	616.7	1282.6	821.6	712.3	1235.2	804.4
548-90	2952.3	808.7	1207.5	1630.6	610.0	1297.1	858.4	667.8	1207.0	826.8
1614-0	3177.0	601.9	811.2	908.6	685.2	797.9	815.1	720.7	838.5	741.9
1614-90	2897.9	763.2	734.4	933.7	681.3	787.1	803.3	697.3	886.2	879.2
1633-0	2893.1	1100.1	2213.8	3021.7	917.9	2215.9	1867.0	1042.2	2270.3	1684.4
1633-90	2706.8	765.8	1272.4	1324.4	905.9	2163.2	1953.9	1013.2	2341.0	1762.6
3750-0	2839.5	780.7	1332.6	1959.4	1218.6	2331.9	1872.4	1298.1	2337.3	2034.2
3750-90	3014.2	1416.9	2476.6	2484.0	1180.3	2401.4	1908.6	1286.6	2422.2	1620.4
3759-0	2686.8	523.4	800.3	628.3	536.1	752.4	776.1	459.8	893.2	553.7
3759-90	3131.5	496.0	663.7	1079.4	571.0	637.8	711.9	521.0	715.7	676.2
5815-0	3539.8	1398.3	2465.3	3154.3	1049.6	2519.7	2057.6	1257.8	2601.4	2025.2
5815-90	2936.9	1154.3	2363.0	2232.2	1049.7	2657.3	1949.2	1295.6	2654.8	1721.1
6915-0	2562.5	472.2	821.5	796.5	831.2	1104.1	915.3	910.2	1124.8	935.0
6915-90	2512.0	973.6	1045.8	1275.9	788.5	1126.2	932.2	814.7	1155.1	809.4
Ortalama	3108.7	928.3	1403.4	1739.3	795.7	1384.3	1139.3	832.3	1404.1	1059.4

Tablo C.20: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Taban Kesme Kuvvetleri.

Model W=19885.5 kN 7 kat	Ankastre (kN)	e0-LRB (kN)	e0-FPS (kN)	e0-Combo (kN)	e10-LRB (kN)	e10-FPS (kN)	e10-Combo (kN)	e20-LRB (kN)	e20-FPS (kN)	e20-Combo (kN)
88-0	2435.6	466.6	672.2	716.9	745.9	1169.2	1659.3	1037.8	1124.0	1444.3
88-90	2917.1	1051.6	1382.3	1852.9	695.2	1350.9	1510.9	790.2	1054.1	1383.0
164-0	3087.4	749.6	846.2	1166.3	488.3	777.2	910.6	576.5	704.1	738.8
164-90	2456.0	468.9	718.4	868.1	514.0	732.3	940.1	754.0	763.0	721.5
302-0	2185.8	448.5	713.3	871.0	773.9	1688.6	1978.4	1068.2	1646.7	1762.5
302-90	3158.4	1096.1	1789.0	2072.0	758.5	1735.6	1600.4	1043.4	1641.9	1629.3
313-0	3496.8	743.7	735.8	1460.6	551.2	964.6	833.7	1026.6	1269.6	901.0
313-90	3316.8	975.3	909.9	2189.6	551.7	951.2	830.3	1008.2	1157.6	863.1
548-0	3448.4	609.7	805.5	974.7	526.5	973.4	853.8	851.6	1140.7	853.3
548-90	3390.3	851.6	1125.5	1370.7	508.8	1028.8	1004.6	796.5	1171.7	846.3
1614-0	2818.1	871.1	1142.4	923.4	850.4	1099.5	1271.1	1005.1	1044.1	1115.3
1614-90	3463.2	1001.9	1367.6	1405.7	823.1	1100.5	1370.3	963.4	1042.1	1056.6
1633-0	3685.9	1272.0	2147.0	2982.6	828.4	2132.2	1977.5	1318.0	2138.1	2032.0
1633-90	3038.7	993.3	1631.2	1832.6	874.4	2166.8	3563.0	1323.9	2096.3	2036.0
3750-0	3561.3	1039.9	1405.9	1643.9	1374.5	2534.9	4164.8	1856.4	2370.5	2763.3
3750-90	3670.3	1760.0	2728.6	3329.6	1347.3	2546.5	2676.9	1761.1	2413.3	2499.7
3759-0	3240.2	888.8	1294.0	998.9	687.0	943.5	1273.1	655.8	901.5	877.8
3759-90	3223.2	500.3	605.4	989.9	719.3	1057.1	1241.4	815.4	893.8	927.0
5815-0	3785.6	1351.2	2037.8	3449.3	940.4	2362.6	2407.2	1514.2	2505.5	2784.0
5815-90	3432.9	1305.1	2591.1	3276.1	917.4	2361.4	2421.9	1488.3	2485.7	2323.5
6915-0	3260.4	623.3	1093.6	1160.7	823.5	1357.7	1680.5	1222.5	1355.4	1403.3
6915-90	3690.2	1182.4	1614.5	1931.0	793.6	1376.7	1544.8	982.8	1453.0	1385.4
Ortalama	3543.5	1107.0	1632.0	2081.1	777.0	1473.2	1714.3	1084.5	1471.5	1619.0

Tablo C.21: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Taban Kesme Kuvvetleri.

Model W=32623.2 kN 9 kat	Ankastre (kN)	e0-LRB (kN)	e0-FPS (kN)	e0-Combo (kN)	e10-LRB (kN)	e10-FPS (kN)	e10-Combo (kN)	e20-LRB (kN)	e20-FPS (kN)	e20-Combo (kN)
88-0	3860.0	451.3	1275.1	1518.0	589.0	1729.8	1543.3	719.6	1565.2	1649.6
88-90	3628.4	981.7	1757.0	2109.8	561.5	1145.0	1388.6	686.6	1315.3	1063.6
164-0	5040.9	735.3	1067.7	1104.8	535.4	1252.6	846.8	553.2	845.5	778.3
164-90	4113.7	420.6	959.8	909.3	559.5	1273.9	971.9	633.4	1365.3	976.0
302-0	5485.2	343.0	1043.0	1067.1	810.3	1584.8	1489.2	907.8	1777.6	1469.2
302-90	6264.7	1096.6	1424.0	1833.6	799.3	1377.9	1473.6	854.3	1676.1	1403.6
313-0	6271.3	582.4	1519.2	1350.0	455.0	1708.6	1311.0	600.2	1820.0	1484.8
313-90	5870.5	756.9	1539.5	1759.0	459.1	1698.8	1322.3	597.2	1984.2	1368.5
548-0	5847.3	479.2	1020.4	1064.6	483.4	1146.8	859.8	594.2	1269.7	879.9
548-90	6113.0	747.0	1000.2	1020.8	484.2	1115.5	903.5	563.7	1280.1	1001.8
1614-0	5520.3	951.6	1396.8	1610.5	946.9	1760.9	1311.5	984.8	1669.7	1644.2
1614-90	5584.5	1177.6	1300.4	1533.0	913.6	1388.6	1343.2	807.3	1431.8	1480.3
1633-0	6689.2	1097.7	2372.4	3008.6	823.1	2831.4	4545.8	805.1	2828.3	1965.5
1633-90	5581.9	969.8	1678.2	1690.4	860.5	2657.0	2264.9	934.3	2763.2	2514.7
3750-0	5912.0	1162.8	2226.1	2918.1	1536.8	4023.3	3278.8	1692.1	3493.2	3293.0
3750-90	6105.3	1806.4	4180.0	4078.2	1504.2	4629.5	3285.4	1499.7	4013.9	4633.8
3759-0	5139.7	1054.7	1242.3	1459.2	767.3	969.0	1108.9	715.6	1152.3	1209.6
3759-90	5126.0	353.4	996.9	1004.2	809.1	1426.2	1549.6	899.5	1500.4	1351.9
5815-0	6635.5	1140.2	2086.5	2714.7	838.4	2634.9	2170.0	899.4	2405.7	2979.2
5815-90	6731.1	1250.9	2409.0	2866.5	840.7	2806.5	2130.7	879.3	2465.7	2198.0
6915-0	4309.9	725.7	1209.0	1501.6	841.6	1588.8	1613.5	922.0	1938.7	3621.7
6915-90	4636.1	1089.7	1315.3	1773.1	832.7	1608.3	1256.8	864.5	1317.4	1139.2
Ortalama	5679.6	1068.3	1786.4	2044.6	784.1	1925.4	1725.9	846.1	1903.6	1823.0

Tablo C.22: Simetrik ve Asimetrik 3-Katlı Modellerin Burulma Katsayıları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
3 kat	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
88-0	1.00	1.01	1.00	1.29	1.06	1.10	1.42	1.21	1.20
88-90	1.00	1.01	1.01	1.14	1.13	1.02	1.40	1.31	1.32
164-0	1.00	1.00	1.01	1.26	1.14	1.06	1.28	1.15	1.12
164-90	1.00	1.01	1.00	1.12	1.02	1.01	1.61	1.13	1.43
302-0	1.00	1.03	1.00	1.56	1.09	1.08	1.47	1.13	1.13
302-90	1.00	1.02	1.01	1.11	1.07	1.08	1.32	1.08	1.23
313-0	1.00	1.01	1.00	1.15	1.04	1.02	1.40	1.14	1.15
313-90	1.00	1.00	1.00	1.15	1.09	1.04	1.38	1.16	1.13
548-0	1.00	1.04	1.02	1.18	1.10	1.12	1.31	1.11	1.29
548-90	1.00	1.01	1.01	1.20	1.02	1.00	1.65	1.01	1.38
1614-0	1.00	1.02	1.00	1.05	1.07	1.01	1.24	1.10	1.14
1614-90	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.08	1.14	1.10	1.19
1633-0	1.00	1.01	1.00	1.16	1.12	1.09	1.60	1.16	1.31
1633-90	1.00	1.06	1.01	1.19	1.01	1.05	1.58	1.05	1.44
3750-0	1.00	1.02	1.02	1.03	1.04	1.09	1.95	1.01	1.29
3750-90	1.00	1.02	1.00	1.08	1.07	1.06	1.69	1.16	1.04
3759-0	1.00	1.03	1.00	1.23	1.11	1.09	1.41	1.20	1.28
3759-90	1.00	1.01	1.01	1.40	1.09	1.03	1.46	1.07	1.42
5815-0	1.00	1.01	1.00	1.30	1.02	1.02	1.24	1.06	1.07
5815-90	1.00	1.01	1.00	1.08	1.01	1.01	1.45	1.01	1.47
6915-0	1.00	1.01	1.01	1.05	1.20	1.06	1.02	1.10	1.03
6915-90	1.00	1.01	1.00	1.07	1.02	1.01	1.15	1.12	1.10
Ortalama	1.00	1.02	1.01	1.17	1.07	1.05	1.42	1.12	1.23

Tablo C.23: Simetrik ve Asimetrik 5-Katlı Modellerin Burulma Katsayıları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
5 kat	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
88-0	1.00	1.03	1.01	1.16	1.21	1.66	1.43	0.73	1.34
88-90	1.00	1.04	1.01	1.14	1.29	1.16	1.56	1.42	1.28
164-0	1.00	1.03	1.00	1.11	1.19	1.32	1.54	1.20	1.54
164-90	1.00	1.02	1.00	1.19	1.11	1.37	1.34	1.46	1.55
302-0	1.00	1.03	1.05	1.26	1.10	1.58	1.39	1.36	1.52
302-90	1.00	1.02	1.02	1.15	1.07	1.25	1.30	1.42	1.19
313-0	1.00	1.04	1.03	1.27	1.05	1.25	1.44	1.29	1.34
313-90	1.00	1.03	1.01	1.27	1.25	1.20	1.44	1.34	1.29
548-0	1.00	1.01	1.02	1.27	1.09	1.19	1.41	1.24	1.28
548-90	1.00	1.05	1.03	1.27	1.04	1.33	1.51	1.44	1.50
1614-0	1.00	1.08	1.04	1.06	1.21	1.26	1.28	1.27	1.17
1614-90	1.00	1.01	1.02	1.10	1.00	1.41	1.17	1.03	1.53
1633-0	1.00	1.00	1.01	1.17	1.10	1.33	1.34	1.22	1.40
1633-90	1.00	1.02	1.00	1.11	1.24	1.29	1.26	1.18	1.40
3750-0	1.00	1.01	1.03	1.07	1.05	1.58	1.37	1.12	1.85
3750-90	1.00	1.03	1.04	1.17	1.12	1.32	1.29	1.15	1.34
3759-0	1.00	1.02	1.00	1.16	1.15	1.15	1.33	1.33	1.27
3759-90	1.00	1.01	1.01	1.36	1.18	1.42	1.66	1.89	1.47
5815-0	1.00	1.00	1.01	1.27	1.07	1.28	1.47	1.07	1.34
5815-90	1.00	1.04	1.03	1.22	1.16	1.26	1.46	1.17	1.36
6915-0	1.00	1.02	1.03	1.09	1.22	1.34	1.40	1.38	1.49
6915-90	1.00	1.03	1.02	1.23	1.07	1.11	1.39	1.11	1.21
Ortalama	1.00	1.03	1.02	1.19	1.13	1.32	1.40	1.26	1.39

Tablo C.24: Simetrik ve Asimetrik 7-Katlı Modellerin Burulma Katsayıları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
7 kat	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
88-0	1.00	1.03	1.00	1.44	1.16	1.13	1.64	1.24	1.22
88-90	1.00	1.01	1.00	1.41	1.12	1.11	1.96	1.39	1.08
164-0	1.00	1.04	1.01	1.34	1.23	1.09	0.68	1.39	1.02
164-90	1.00	1.00	1.00	1.43	1.36	1.25	1.48	1.36	1.08
302-0	1.00	1.03	1.01	1.40	1.32	1.12	1.57	1.26	1.21
302-90	1.00	1.01	1.01	1.29	1.10	1.11	1.33	1.17	1.10
313-0	1.00	1.03	1.02	1.38	1.03	1.02	1.58	1.13	1.01
313-90	1.00	1.01	1.01	1.30	1.19	1.08	1.51	1.18	1.04
548-0	1.00	1.01	1.01	1.22	1.08	1.45	1.65	1.12	1.07
548-90	1.00	1.02	1.03	1.25	1.24	1.08	1.71	1.19	1.06
1614-0	1.00	1.01	1.01	1.24	1.04	1.11	1.22	1.18	1.09
1614-90	1.00	1.01	1.01	1.15	1.14	1.08	1.25	1.27	1.00
1633-0	1.00	1.01	1.00	1.27	1.03	1.06	1.62	1.12	1.10
1633-90	1.00	1.02	1.02	1.31	1.06	1.01	1.35	1.10	1.02
3750-0	1.00	1.05	1.02	1.21	1.05	1.11	1.71	1.12	1.09
3750-90	1.00	1.01	1.01	1.23	1.08	1.10	1.30	1.12	1.06
3759-0	1.00	1.00	1.00	1.30	1.10	1.04	1.56	1.36	1.01
3759-90	1.00	1.02	1.01	1.24	1.01	1.13	1.92	1.29	1.10
5815-0	1.00	1.01	1.03	1.34	1.03	1.06	1.61	1.14	1.12
5815-90	1.00	1.01	1.01	1.35	1.02	1.09	1.66	1.08	1.15
6915-0	1.00	1.02	1.01	1.43	1.10	1.22	1.24	1.32	1.17
6915-90	1.00	1.01	1.01	1.32	1.15	1.07	1.49	1.28	1.06
Ortalama	1.00	1.02	1.01	1.31	1.12	1.11	1.50	1.22	1.09

Tablo C.25: Simetrik ve Asimetrik 9-Katlı Modellerin Burulma Katsayıları.

Model	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo	LRB	FPS	Combo
9 kat	e0	e0	e0	e10	e10	e10	e20	e20	e20
88-0	1.00	1.01	1.02	1.35	1.07	1.34	2.00	1.60	1.59
88-90	1.01	1.00	1.00	1.59	1.82	1.09	1.98	1.78	1.61
164-0	1.00	1.03	1.01	1.28	1.12	1.07	0.70	0.70	1.69
164-90	1.00	1.06	1.02	1.40	1.06	1.58	1.84	1.89	1.03
302-0	1.00	1.09	1.16	1.42	1.10	1.76	1.66	1.81	1.56
302-90	1.00	1.02	1.03	1.27	1.59	1.05	1.57	2.00	1.26
313-0	1.00	1.08	1.05	1.32	1.22	1.24	1.73	1.34	1.04
313-90	1.01	1.03	1.03	1.43	1.21	1.16	1.81	1.43	1.05
548-0	1.01	1.02	1.02	1.32	1.15	1.17	1.64	1.29	1.05
548-90	1.00	1.02	1.03	1.38	1.28	1.16	1.71	1.57	1.45
1614-0	1.00	1.02	1.02	1.23	1.22	1.30	1.44	1.20	1.25
1614-90	1.00	1.01	1.01	1.21	1.31	1.06	1.84	0.71	1.23
1633-0	1.00	1.00	1.02	1.22	1.11	2.00	2.00	1.21	1.29
1633-90	1.00	1.04	1.02	1.35	1.29	1.45	1.73	1.64	1.36
3750-0	1.01	1.01	1.04	1.25	1.24	1.38	1.52	1.28	1.31
3750-90	1.01	1.39	1.01	1.12	1.25	1.23	1.61	1.51	1.31
3759-0	1.00	1.00	1.01	1.32	1.79	1.28	0.78	1.23	1.17
3759-90	1.00	1.02	1.00	1.27	1.06	1.28	1.57	1.21	1.24
5815-0	1.00	1.04	1.01	1.29	1.18	1.40	1.63	0.75	1.06
5815-90	1.01	1.02	1.00	1.39	1.07	1.19	1.85	1.81	1.37
6915-0	1.01	1.03	1.01	1.30	1.09	1.23	1.57	1.34	1.28
6915-90	1.01	1.01	1.00	1.22	1.35	1.04	0.69	0.90	1.57
Ortalama	1.00	1.04	1.02	1.32	1.25	1.29	1.59	1.37	1.31

EK D Asimetrik Üstyapının Sismik Performansı Üzerindeki Etkisi

Tablo D.1: 5-Katlı L Bina Çatı Ötelenme Oranları.

5 kat- L Bina	Ankastre-y	LRB-y	LRB-i	FPS-y	FPS-i	Combo-y	Combo-i
88-0	0.24	0.67	0.07	0.93	0.04	0.94	0.08
88-90	0.35	0.95	0.08	1.60	0.07	0.98	0.08
164-0	0.53	0.74	0.07	1.09	0.04	0.76	0.06
164-90	0.28	0.51	0.05	0.65	0.02	0.65	0.05
302-0	0.59	0.61	0.06	0.77	0.03	0.66	0.05
302-90	0.73	1.35	0.13	2.00	0.09	1.81	0.17
313-0	1.07	1.44	0.14	1.47	0.08	1.65	0.16
313-90	1.21	1.44	0.14	1.84	0.08	1.99	0.17
548-0	1.02	0.91	0.09	0.91	0.04	0.74	0.07
548-90	0.78	1.34	0.11	1.27	0.08	1.74	0.17
1614-0	0.58	0.84	0.10	1.61	0.08	0.93	0.10
1614-90	0.39	0.95	0.09	1.01	0.04	0.95	0.08
1633-0	0.74	2.32	0.23	2.67	0.17	2.94	0.44
1633-90	0.70	1.40	0.12	1.39	0.08	1.46	0.12
3750-0	0.50	1.34	0.11	1.48	0.06	1.39	0.15
3750-90	0.60	2.60	0.21	2.97	0.47	2.84	0.34
3759-0	0.59	0.59	0.07	1.12	0.05	0.75	0.06
3759-90	0.77	0.81	0.07	0.99	0.04	1.14	0.10
5815-0	0.89	3.03	0.53	2.87	0.37	3.54	1.04
5815-90	0.63	2.49	0.20	2.91	0.41	1.35	0.15
6915-0	0.38	0.58	0.04	0.96	0.05	0.57	0.05
6915-90	0.53	1.46	0.12	1.66	0.07	1.58	0.10
Ortalama	0.64	1.29	0.13	1.55	0.11	1.43	0.17

Tablo D.2: 5-Katlı L Bina Çatı ve İzolatör Deplasmanları.

5 kat- L Bina	Çatı D. (mm) Ankastre	Çatı D. (mm) LRB	İzolatör D. (mm) LRB	Çatı D. (mm) FPS	İzolatör D. (mm) FPS	Çatı D. (mm) Combo	İzolatör D. (mm) Combo
88-0	38.7	106.9	95.6	148.6	141.9	150.7	138.6
88-90	56.7	152.4	139.1	256.6	245.8	157.0	143.7
164-0	84.5	118.2	107.7	174.9	168.1	121.0	111.3
164-90	45.2	82.2	73.4	104.2	100.4	104.6	96.5
302-0	93.9	97.8	88.0	123.9	119.3	106.1	98.4
302-90	116.0	215.9	194.6	320.1	305.4	289.1	262.6
313-0	171.4	231.0	208.8	234.8	222.0	263.8	238.8
313-90	194.2	229.8	207.6	294.3	282.0	318.0	290.0
548-0	162.6	145.7	131.9	146.1	140.2	118.9	107.3
548-90	124.8	215.1	196.7	203.2	190.2	278.2	251.7
1614-0	92.7	134.5	118.8	257.2	244.7	148.1	131.4
1614-90	62.9	152.2	137.4	161.7	155.2	151.2	138.1
1633-0	117.8	371.4	334.9	427.7	400.0	471.0	400.0
1633-90	112.2	224.2	205.4	222.4	209.4	233.8	214.6
3750-0	79.6	214.0	195.8	236.0	227.2	222.2	198.2
3750-90	96.5	416.3	382.5	475.0	400.0	454.5	400.0
3759-0	93.9	93.7	82.6	179.5	171.2	120.5	111.5
3759-90	123.3	129.8	117.8	157.8	150.8	182.1	165.7
5815-0	142.2	484.6	400.0	460.0	400.0	566.5	400.0
5815-90	100.2	398.5	366.4	465.8	400.0	215.8	191.1
6915-0	60.3	92.0	85.3	154.3	146.9	91.4	82.7
6915-90	84.3	233.5	214.6	264.9	253.2	253.3	237.8
Ortalama	38.7	106.9	95.6	148.6	141.9	150.7	138.6

Tablo D.3: 5-Katlı L Bina Görelî Kat Ötelenme Oranları.

5 kat- L Bina	Ankastre (%)	LRB (%)	FPS (%)	Combo (%)
88-0	0.35	0.10	0.07	0.12
88-90	0.48	0.13	0.11	0.12
164-0	0.76	0.11	0.07	0.12
164-90	0.33	0.08	0.06	0.08
302-0	0.81	0.09	0.08	0.10
302-90	1.22	0.19	0.15	0.25
313-0	1.77	0.21	0.13	0.25
313-90	2.07	0.20	0.14	0.28
548-0	1.60	0.14	0.08	0.13
548-90	1.27	0.19	0.12	0.27
1614-0	0.93	0.13	0.11	0.14
1614-90	0.49	0.15	0.09	0.13
1633-0	1.23	0.31	0.20	0.45
1633-90	1.12	0.18	0.12	0.23
3750-0	0.84	0.18	0.14	0.25
3750-90	0.85	0.34	0.24	0.43
3759-0	0.82	0.09	0.08	0.10
3759-90	1.08	0.12	0.07	0.16
5815-0	1.77	0.40	0.23	0.27
5815-90	1.04	0.32	0.23	0.27
6915-0	0.52	0.07	0.10	0.10
6915-90	0.83	0.20	0.11	0.22
Ortalama	1.01	0.18	0.12	0.20

Tablo D.4: 5-Katlı L Bina Maksimum Kat İvmeleri.

5 kat- L Bina	Ankastre (mm/s²)	LRB (mm/s²)	FPS (mm/s²)	Combo (mm/s²)
5	7202.3	1216.2	1023.2	1370.0
4	4606.9	1082.0	868.6	1250.0
3	5424.2	998.1	794.6	1130.0
2	5672.2	1046.2	836.4	1147.0
1	5316.2	1124.1	917.8	1324.0
0	0.0	1169.5	952.1	1443.0

Tablo D.5: 5-Katlı L Bina Taban Kesme Katsayıları.

5 kat-L Bina W=10779.5 kN	Ankastre	LRB	FPS	Combo
88-0	0.21	0.05	0.04	0.07
88-90	0.21	0.07	0.06	0.07
164-0	0.32	0.06	0.04	0.06
164-90	0.18	0.04	0.03	0.04
302-0	0.30	0.05	0.04	0.06
302-90	0.31	0.10	0.08	0.14
313-0	0.39	0.10	0.06	0.14
313-90	0.36	0.11	0.08	0.16
548-0	0.42	0.07	0.04	0.08
548-90	0.35	0.10	0.07	0.14
1614-0	0.33	0.06	0.06	0.07
1614-90	0.26	0.07	0.05	0.07
1633-0	0.36	0.16	0.12	0.24
1633-90	0.33	0.09	0.07	0.13
3750-0	0.29	0.09	0.08	0.14
3750-90	0.30	0.18	0.14	0.24
3759-0	0.28	0.04	0.05	0.05
3759-90	0.38	0.06	0.04	0.09
5815-0	0.34	0.21	0.13	0.29
5815-90	0.33	0.17	0.13	0.11
6915-0	0.32	0.04	0.05	0.05
6915-90	0.28	0.10	0.07	0.13
Ortalama	0.31	0.09	0.07	0.12

Tablo D.6: 5-Katlı L Bina Burulma Katsayıları.

5 kat-L Bina	Ankastre	LRB	FPS	Combo
88-0	1.07	1.12	1.05	1.09
88-90	1.21	1.08	1.09	1.05
164-0	1.20	1.10	1.13	1.10
164-90	1.13	1.10	1.12	1.10
302-0	1.24	1.12	1.12	1.08
302-90	1.25	1.14	1.09	1.08
313-0	1.26	1.10	1.14	1.09
313-90	1.14	1.11	1.12	1.11
548-0	1.17	1.09	1.09	1.09
548-90	1.05	1.13	1.06	1.10
1614-0	1.70	1.10	1.09	1.12
1614-90	1.11	1.10	1.15	1.10
1633-0	1.04	1.13	1.08	1.07
1633-90	1.17	1.10	1.11	1.13
3750-0	1.24	1.10	1.12	1.12
3750-90	1.26	1.11	1.11	1.03
3759-0	1.28	1.11	1.11	1.11
3759-90	1.08	1.08	1.12	1.06
5815-0	1.52	1.08	1.06	1.08
5815-90	1.25	1.09	1.16	1.17
6915-0	1.04	1.06	1.03	1.13
6915-90	1.16	1.10	1.09	1.08
Ortalama	1.21	1.10	1.10	1.09

12. ÖZGEÇMİŞ

Yayın Listesi :

• Özer E., İnel M., Cayci B.T., “Seismic behavior of LRB and FPS type isolators considering torsional effects”, Structures, 37, 267-283, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.011>, (2022).

• Özer E., İnel M., “Sismik izolatörlerin betonarme konut binasının performansı üzerindeki etkileri”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 27(3), 303-311, (2021).

Konferans listesi :

• Özer E., İnel M., “Sismik yalıtımın tipik bir konut binasının performansı üzerindeki etkileri”, 5. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES) 8-11 OCTOBER 2019, METU Ankara/TURKEY, (2019).