

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME
BİNALARIN TASARIMI
VE ANALİZİ

İbrahim Adow İDOW

Eylül, 2018
İZMİR

TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME BİNALARIN TASARIMI VE ANALİZİ

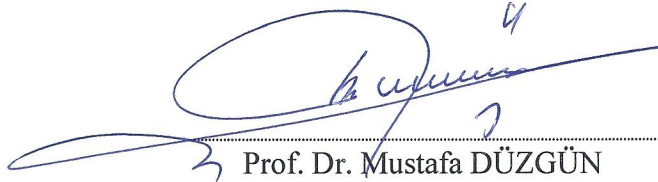
**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı**

İbrahim Adow İDOW

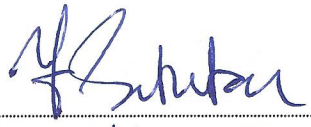
**Eylül, 2018
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

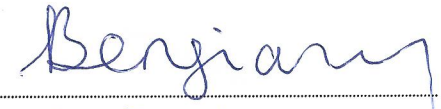
İBRAHİM ADOW İDOW tarafından PROF.DR. MUSTAFA DÜZGÜN yönetiminde hazırlanan “TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME BİNALARIN TASARIMI VE ANALİZİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Mustafa DÜZGÜN

Yönetici


Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR

Jüri Üyesi


Doç. Dr. Bengi ARISOY

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Latif SALUM

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın her aşamasında her zaman engin bilgi ve birikimleriyle yanımda olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Mustafa DÜZGÜN'e, ayrıca değerli bilgilerini benimle paylaşan ve her sorumu büyük bir özveri ile cevaplayan sayın hocam Dr. Özgür BOZDAĞ'a,

Yüksek Lisans eğitimimde fikir ve yorumlarıyla bana her konuda yardımcı olan, ve tezimin hazırlanmasında katkısı olan değerli arkadaşlarım İnş. Müh. Gökhan ERASLAN ve İnş. Müh. Dheya GHEYLANI' a,

Hayatta her zaman yanımda olup bana destek olan sevgili annem Khadija Maalim İdow ve babama Adow H. İdow'a,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İbrahim Adow İDOW

TABAN İZOLATÖRLÜ BETONARME BİNALARIN TASARIMI VE ANALİZİ

ÖZ

Bu tez çalışmasında yapıların periyotlarını uzatarak, görelî kat ötelemeleri ve kat ivmeleri azaltarak deprem kuvvetleri azaltmak amacıyla geliştirilmiş sismik yalıtımlı tekniğı ile inşa edilen betonarme yapıların tasarım esasları ele alındı.

İlk başta sismik yalıtımlı tekniğın genel kavramı, daha sonara bu sistemlerinin sınıflandırılması, mekanik özellikleri ve teorik bilgileri sırayla anlatıldı ve sismik yalıtımlı yapılara ilişkin yönetmelik koşulları anlatıldı. Uygulamalar kısmında, 7 katlı betonarme bir yapının ankastre mesnetli hali ve sismik yalıtımlı hali incelenmiştir. Yapının taban yalıtımlı modelinde mesnet olarak Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılmıştır. Sismik yalıtımlı yapı modelinin tasarımında 2018 Türkiye deprem yönetmeliğı kullanılmıştır. Son bölümde, “temel sistemi-üst yapı bütünleşik” Klasik Yapı Sistemi ve “temel sistemi-üst yapı ayrışık” Taban İzolatörlü Sistemlerin ayrı ayrı Sap 2000 bilgisayar programı ile yapılan analizlerinden elde edilen sonuçlardan taban kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, yapı periyotları ve maksimum kat ivmeleri karşılaştırmalı olarak tablolar halinde verilerek değeriendirilmiştir ve yapı mühendisliğı açısından avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taban izolasyonlu sistemler, deprem yönetmeliğı, kuvvet, görelî kat ötelemeleri

DESIGN AND ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH BASE ISOLATOR

ABSTRACT

In this thesis, a reinforced concrete building model whose natural periods are increased is described. By reducing periods, story drift and shear forces, earthquake effect on the structure is minimized. The model built using seismic isolation systems to reduce destructive effect of seismic forces are investigated in this study.

First of all, classification of isolation system is explained where different materials are combined under this session. In the following chapters, mechanical characteristics of these systems are explained then theoretical parts of the seismic isolation systems were explained thoroughly with code requirements for seismic isolated Structures. During the analysis Sap 2000 computer analysis program was used, a fixed-base structure and base isolated building of a 7 storey reinforced concrete structure have been designed. In this thesis, Lead rubber bearing was used. The codes regulations for Reinforced Concrete building used here is The 2018 Turkish Earthquake Codes. In the final section of the study analysis results comprising floor displacements, natural periods, shear forces and floor accelerations were compared using tables and graphs. After the comparison of the results a solution and recommendations were prepared. The benefit and disadvantages of using isolation system in building structures located in seismic zones were briefed.

Keywords: Base isolation system, earthquake regulations, forces, story drift

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.....	1
1.1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Oluşturmanın Yöntemleri	2
1.2 Tez Çalışmasının Amacı	4
1.3 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Genel Anlatımı.....	4
1.3.1.Sismik İzolasyon Sistemlerinin Avantajları.....	10
1.4 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Uygulama Alanları.....	10
1.5 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanılmaması Gerekli Durumlar.....	12
1.6 Geçmiş Bina Örnekleri ve Maddi Kayıp	12
1.6.1 Northridge Depremi-Ocak 17,1994	12
1.6.2 Kobe Depremi-Ocak 17,1995	12
1.7 Sismik İzolasyonlu Sistemlerin Türkiye Uygulamaları	13
1.8 Sismik İzolasyon Sistemleriyle İnşa Edilmiş Yapılar	13

BÖLÜM İKİ – TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ 21

2.1 Giriş.....	21
2.2 Yapısal Elemanlar ve Yapısal Olmayan Elemanlar	22
2.3 Taban İzolasyon Sistemleri	23
2.3.1 Kauçuk Easlı İzolasyon Sistemleri	25
2.3.1.1 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler	27
2.3.1.2 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler (HDNR)	29

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.....	1
1.1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Oluşturmanın Yöntemleri	2
1.2 Tez Çalışmasının Amacı	4
1.3 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Genel Anlatımı.....	4
1.3.1 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Avantajları.....	10
1.4 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Uygulama Alanları.....	10
1.5 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanılmaması Gerekli Durumlar.....	12
1.6 Geçmiş Bina Örnekleri ve Maddi Kayıp	12
1.6.1 Northridge Depremi-Ocak 17,1994	12
1.6.2 Kobe Depremi-Ocak 17,1995	12
1.7 Sismik İzolasyonlu Sistemlerin Türkiye Uygulamaları	13
1.8 Sismik İzolasyon Sistemleriyle İnşa Edilmiş Yapılar	14

BÖLÜM İKİ – TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ 21

2.1 Giriş.....	21
2.2 Yapısal Elemanlar ve Yapısal Olmayan Elemanlar	22
2.3 Taban İzolasyon Sistemleri	23
2.3.1 Kauçuk Eşil İzolasyon Sistemleri	26
2.3.1.1 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler	27
2.3.1.2 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler (HDNR)	29

2.3.1.3 Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörleri (LDRB)	31
2.3.2 Kayma Esaslı İzolatör Sistemleri	33
2.3.2.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler (FPS).....	33
2.4 İzolatör Sistemlerin Tasarım Parametreleri	36
2.4.1 Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerin Parametreleri	37
2.4.1.1 Şekil Katsayısı (S) Hesabı.....	40
2.4.1.2 Şekil Değiştirme Sınırları.....	41
2.4.1.3 İzolatörlerin Düşey Kararlılığı	43
2.4.2 Sürtünmeli Yalıtım Birimlerinin Temel Özellikleri	45
BÖLÜM ÜÇ – SAYISAL UYGULAMALAR	48
3.1 Giriş	48
3.2 Uygulamada İncelenen Binanın Özellikleri	48
3.3 Tasarımda Kullanılan İvme Spektrumları	51
3.4 Tasarımda Kullanılan Deprem Kayıtları	54
3.4.1 Fay Hatları.....	55
3.5 Ankastre Mesnetli Binanın Modal Analizi	59
3.5.1 Modal Analizi.....	59
3.5.2 Ankastre Binanın Modal Analiz Sonuçları	60
3.6 Ankastre Mesnetli Binanın Zaman Tanım Alanında analizi	65
3.7 İzolatörlü Binanın Modal Analizi	72
3.7.1 İzolatörün özellikleri	72
3.8 İzolatörlü Binanın Zaman Tanım Alanında analizi.....	78
BÖLÜM DÖRT –ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	84
4.1 Modal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	86
4.2 Zaman Tanım Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	88
BÖLÜM BEŞ –SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	95
KAYNAKLAR	98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Deprem enerjisinin yapı içinde tüketilmesi.	3
Şekil 1.2 Deprem Yer Hareketinin Geleneksel Yapım ve Sismik İzolasyonlu Yapı İçindeki Dağılımı	5
Şekil 1.3 Sismik izolasyon (deprem yalıtımı) uygulaması	7
Şekil 1.4 Yapı periyodun büyümesi ve ivme ve sönüm değerlerinin buna göre değişimleri.....	8
Şekil 1.5 Ankastre bina ile izolatörlü binanın davranış biçimleri.....	9
Şekil 1.6 Foothill Communities Law and Justice Center	14
Şekil 1.7 Fire Command and Control Facility binası.....	15
Şekil 1.8 The Emergency Operation Centre	15
Şekil 1.9 The University of Southern California Teaching Hospital binası	16
Şekil 1.10 Oakland City Hall	17
Şekil 1.11 San Fransisco City Hall	17
Şekil 1.12 Yıllara göre Japonya’da inşa edilmiş sismik izolasyonlu yapı adedi	18
Şekil 1.13 West Postal Computer Center binası	18
Şekil 1.14 Technical Research Institute of the Matsumura-Gumi Construction Company binası	19
Şekil 2.1 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör uygulaması	27
Şekil 2.2 Kurşun çekirdekli izolatör sistemin kesiti ve elemanları.....	28
Şekil 2.3 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün kuvvet-yer değiştirme eğrisi	28
Şekil 2.4 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör.....	29
Şekil 2.5 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör detayı	30
Şekil 2.6 Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin tipik histerik eğrisi	30
Şekil 2.7 Kayma modülü-kayma şekil değiştirme eğrisi	31
Şekil 2.8 Sönüm-Kayma şekil değiştirmesi.	31
Şekil 2.9 Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör sisteminin; a) kesiti ve elemanları, (b) kuvvet-yer değiştirme davranışı.	32
Şekil 2.10 Sürtünmeli sarkaç sisteme bir örnek.....	34
Şekil 2.11 Sürtünmeli sarkaç mesnet detayı, Atatürk hava limanının çatısı.....	34
Şekil 2.12 kurşun çekirdekli izolatörün detayı	37

Şekil 2.13 Kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	38
Şekil 2.14 Elastomer yalıtım birimlerinin detayları	43
Şekil 2.15 Elastomer yalıtım birimlerinin yuvarlanma şekilleri	44
Şekil 2.16 Eğri yüzeyli sürtünmeli birimleri	45
Şekil 2.17 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin basitleştirilmiş kuvvet- yerdeğiştirme eğrisi	45
Şekil 3.1 Bina mimari kat planı	50
Şekil 3.2. Betonarme taşıyıcı sistem kat planı	50
Şekil 3.3 Üç boyutlu görünüşü.....	51
Şekil 3.4 DD1, DD2 ve DD3 deprem düzeylerin ivme spektrumları	53
Şekil 3.5 DD1, DD2 ve DD3 deprem düzeylerin yer değiştirme spektrumları	53
Şekil 3.6 Türkiye geneli kaynak bölgelendirmesi modeli	55
Şekil 3.7 Hedef spektrum, seçilen deprem kayıtlarına ait spektrumlar ve ortalama spektrum.....	58
Şekil 3.8 Modal analizinde ankastre binanın kat deplasmanları	63
Şekil 3.9 Modal analizinde ankastre binanın görelî kat öteleme oranları	64
Şekil 3.10 Modal analizinde ankastre binanın kat kesme kuvvetleri	64
Şekil 3.11 Modal analizinde ankastre binanın kat momentleri	64
Şekil 3.12 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat deplasmanları	70
Şekil 3.13 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama görelî kat öteleme oranları	70
Şekil 3.14 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat ivmeleri	71
Şekil 3.15 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat kesme kuvvetleri ..	71
Şekil 3.16 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat momentleri	71
Şekil 3.17 Kuvvet-yer değiştirme eğrisi.....	72
Şekil 3.18 Modal analizinde izolatörlü binanın kat deplasmanları	77
Şekil 3.19 Modal analizinde izolatörlü binanın görelî kat öteleme oranları	77
Şekil 3.20 Modal analizinde izolatörlü binanın kat kesme kuvvetleri	77
Şekil 3.21 Modal analizinde izolatörlü binanın kat momentleri	78
Şekil 3.22 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın ortalama kat deplasmanları	82
Şekil 3.23 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın ortalama görelî kat öteleme oranları	82

Şekil 3.24 İzolatörlü binanın ortalama kat ivmeleri.....	83
Şekil 3.25 İzolatörlü binanın ortalama kat kesme kuvvetleri.....	83
Şekil 3.26 İzolatörlü binanın ortalama kat momentleri.....	83
Şekil 4.1 Modal analizinde kat deplasmanların karşılaştırılması.....	86
Şekil 4.2 Modal analizinde görel kat öteleme oranlarının karşılaştırılması.....	87
Şekil 4.3 Modal analizinde kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	87
Şekil 4.4 Modal analizinde kat momentlerinin karşılaştırılması.....	87
Şekil 4.5 Zaman tanım alanında kat deplasmanlarının karşılaştırılması.....	89
Şekil 4.6 Zaman tanım alanında görel kat öteleme oranlarının karşılaştırılması.....	90
Şekil 4.7 Zaman tanım alanında kat ivmelerinin karşılaştırılması.....	90
Şekil 4.8 Zaman tanım alanında kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	91
Şekil 4.9 Zaman tanım alanında kat momentlerinin karşılaştırılması.....	91
Şekil 4.10 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.11 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması	92
Şekil 4.12 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması.....	93
Şekil 4.13 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması.....	93
Şekil 4.14 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması.....	94
Şekil 4.15 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması.....	94

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Elastomer Yalıtım Birimleri Dayanım ve rijittik Parametreleri Alt ve Üst Sınır Öneri Değerleri	39
Tablo 2.2 Eğri Yüzeyle Sürünmeli Yalıtım Birimleri için Alt ve Üst Sınır Öneri ...	46
Tablo 3.1 Yapı modelin genel özellikleri.....	49
Tablo 3.2 Yapı modelin malzeme özellikleri.....	49
Tablo 3.3 Taşıyıcı sistem özellikleri	49
Tablo 3.4 Kısa periyot S_s ve 1,0 sn. periyotlara S_1 , karşı gelen spektral ivme değerleri.....	51
Tablo 3.5 spektral ivme katsayıları ve ZD zemin sınıfı göre F_s ve F_v	52
Tablo 3.6 Tasarım spektral ivme değerleri	52
Tablo 3.7 Kaynak bölgelerinin özellikleri	54
Tablo 3.8 Seçilen deprem kayıtları ve bu kayıtlara ait belirleyici parametreleri	57
Tablo 3.9 X ve Y yöndeki mod ve kütle katılım oranlar	60
Tablo 3.10 Modal analizinde ankastre binanın kat deplasmanları.....	61
Tablo 3.11 Modal analizinde ankastre binanın görece kat öteleme oranları.....	62
Tablo 3.12 Modal analizinde ankastre binanın kat kesme kuvvetleri ve momentleri	63
Tablo 3.13 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat deplasmanları	65
Tablo 3.14 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat deplasmanları	66
Tablo 3.15 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat deplasmanları	66
Tablo 3.16 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat deplasmanları	67
Tablo 3.17 Zaman tanım alanında ankastre binanın görece kat öteleme oranları.....	67
Tablo 3.18 Zaman tanım alanında ankastre binanın görece kat öteleme oranları	68
Tablo 3.19 Zaman tanım alanında ankastre binanın görece kat öteleme oranları	68
Tablo 3.20 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama görece kat öteleme oranları	69
Tablo 3.21 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat ivmeleri	69
Tablo 3.22 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat kesme kuvvetleri ve momentleri	69
Tablo 3.23 İzolatör özellikler	73

Tablo 3.24 İzolatörlü binanın X ve Y yöndeki mod ve kütle katılım oranları	75
Tablo 3.25 Modal analizinde izolatörlü binanın kat deplasmanları	76
Tablo 3.26 Modal analizinde izolatörlü binanın görelî kat öteleme oranları	76
Tablo 3.27 Modal analizinde izolatörlü binanın kat kesme kuvvetleri ve momentleri	76
Tablo 3.28 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın kat deplasmanları	78
Tablo 3.29 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın kat deplasmanları	79
Tablo 3.30 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın ortalama kat deplasmanları ..	79
Tablo 3.31 Zaman tanım alanında analiz ile elde edilen ankastre bina kat ivmeleri .	79
Tablo 3.32 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın görelî kat öteleme oranları	80
Tablo 3.33 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın görelî kat öteleme oranları	80
Tablo 3.34 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın görelî kat öteleme oranları	81
Tablo 3.35 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın kat ivmeleri	81
Tablo 3.36 Zaman tanım alanında analiz ile elde edilen ankastre bina tasarım kat kesme kuvvetleri.....	81
Tablo 3.37 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın kat kesme kuvvetleri ve momentleri	82
Tablo 4.1 Modal analizler için ankastre ve izolatörlü binanın periyotları ve kütle katılım oranları	84
Tablo 4.2 Kat deplasmanları -modal analiz sonuçları.....	85
Tablo 4.3 Görelî kat öteleme oranlarını-modal analiz sonuçları.....	86
Tablo 4.4 Elastik kat kesme kuvvetleri ve momentleri-modal analiz sonuçları	86
Tablo 4.5 Zaman tanım alanında kat deplasmanları	88
Tablo 4.6 Zaman tanım alanında görelî kat öteleme oranları.....	88
Tablo 4.7 Zaman tanım alanında kat ivmeleri.....	88
Tablo 4.8 Zaman tanım alanında elastik kat kuvvetleri ve momentleri	89

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Yeryüzünün birçok yeri deprem bölgesidir. Dünya nüfusunun çoğu' da bu tehlikeli bölgelerde yaşamaktadır. Dünyanın varoluşundan beri yer kabuğunun hareketlerinden doğan depremler insanlara ve yaşadıkları yapılara zarar verdiği için insanlar; depreme karşı korunmak amacıyla sürekli bir çözüm arayış içinde bulunmuşlardır.

Bilindiği gibi Türkiye dünyanın en aktif deprem bölgelerinden birisi üzerinde bulunmaktadır. Eskiden bu yana Türkiye'de birçok yıkıcı depremler oluşmuş ve gelecekte de sık sık yıkıcı birçok depremle de karşı karşıya kalacaktır. Oluşacak bu şiddetli depremlerde büyük can ve mal kayıplarının olacağı kaçınılmazdır. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre, Türkiye topraklarının %92'si, Türkiye nüfusunun %95'i, büyük sanayi tesislerinin %98'i ve barajların %92'si aktif deprem bölgelerinde bulunduğu bilinmektedir.

Türkiye'de, yaklaşık olarak son 58 yıl içerisinde depremten dolayı, 58.202 insan ölmüş, 122.096 kişi yaralanmış ve tahminen 411.465 bina yıkılmış veya ciddi hasar görmüştür. Yani, Türkiye'de depremlerden her sene yaklaşık 1.003 kişi ölüyor ve 7.094 bina yıkılıyor. Tüm bu nedenlerle Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, dünyanın deprem etkisindeki ülkelerinde olduğu gibi Türkiye için de son derece önemlidir. Bu hedef doğrultusunda Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı konusunda birçok araştırma yapılmakta ve depremlerin yapılarda yapacağı hasarları önleyici birçok yöntem ve uygulamalar geliştirilmektedir.

1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Yapı mühendisliğinde günümüze değin yapılan çok sayıda teorik ve deneysel çalışmalar ile ve deprem sonrası yapılar üzerinde yapılan birçok gözlem ve buna bağlı ulaşılan tecrübeler ve bilgi birikimi, yapı sistemlerinin değişik yük etkileri altında sergileyecekleri performansların önceden tasarlanabileceğini göstermektedir. Yani, yapı elemanları ve bunların oluşturduğu yapı sistemine kazandırılacak bazı özellikler

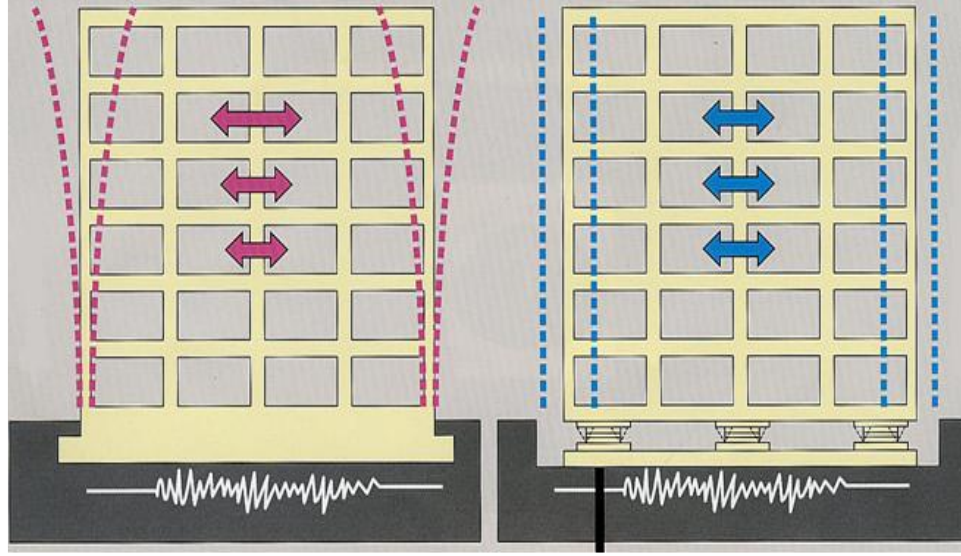
Yani, yapı elemanları ve bunların oluşturduğu yapı sistemine kazandırılacak bazı özellikler ile yapı sisteminin yük etkileri altında davranışını yönlendirebilmek mümkün olabilmektedir. (Düzgün ve Bozdağ, 2013).

Deprem, yer kabuğunun bir titreşimi olup, yerleşim bölgelerinde yapıların temellerinde zamana bağlı yer değiştirme hareketi doğurarak, yapılarda dinamik etkiler oluşturur.

Bir yapının depreme dayanıklı olarak tasarımında amaç, yapının kullanım ömrü boyunca yapıldığı bölgede oluşması beklenen en şiddetli deprem sırasında yapıda oluşacak sarsıntıların yapıda can kaybına neden olacak kısmi ve/veya toptan göçme göstermemesi (Can Güvenliği Performans Seviyesi), taşıyıcı yapı kısımlarının önceden belirlenen ölçülerde hasar mertebelerinde hasar alması, önemli yapılarda (Hastane, Köprü, Viyadük, Enerji Yapıları, vb.), yapının depremden sonra da işlevini sürdürmesi (Hemen Kullanım Performans Seviyesi) gibi hususlar, daha tasarım safhasında gözetilebilmekte ve gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde öngörülen performansta tasarlanan, projelendirilen, yapımı gerçekleştirilen ve öngörülen kullanım fonksiyonuna uygun şekilde kullanılan yapıya, kısaca, “depreme dayanıklı yapı” denilmektedir. Ancak, yapıların şiddetli depremleri elastik davranış göstererek, hasar görmeden geçirecek şekilde tasarlanması, ekonomik olmayan ve uygulanması çok güç çözümlere neden olmaktadır. Bu nedenle, yapıların deprem sırasında yapıya giren deprem enerjisini güvenli bir şekilde tüketmesi için farklı farklı yöntemler kullanılmaktadır. (Düzgün ve Bozdağ, 2013).

1.1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Oluşturmanın Yöntemleri

Günümüzde depreme dayanıklı yapı oluşturmak için uygulama alanı bulmuş farklı yöntemleri bulunmaktadır. (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Deprem enerjisinin yapı içinde tüketilmesi (Düzgün ve Bozdağ, 2013)

Deprem enerjisinin yapılarda tüketilmesi için kullanılan bu yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

- Yapıya etkiyecek deprem enerjisinin yapı taban izolatör sistemleriyle tüketilmesi.
- Yapıya etkiyecek deprem enerjisinin üst yapıya yerleştirilen enerji sönümleyicilerle tüketilmesi.
- Yapıya etkiyecek deprem enerjisinin üst yapıya yerleştirilen ayarlanmış kütle sönümleyicilerle tüketilmesi.
- Yapıya etkiyecek deprem enerjisinin klasik yapım yöntemleri ile yapıya aktarılması ve yapı içinde oluşturulacak kontrollü kiriş-kolon kırılma mekanizmaları ile tüketilmesi.

Yukarıda sayılan ilk üç yöntem, yüksek teknoloji gerektiren tasarım yöntemleridir. Bu yöntemler günümüzde oldukça maliyetli ve her tür yapıya uygulanması zor olan sistemlerdir. (Düzgün ve Bozdağ, 2013).

Bir yapının ekonomik ömrü içinde şiddetli bir deprem etkisinde kalma olasılığı; sabit yük, hareketli yük gibi etkilere göre çok daha düşüktür. Bu nedenle uygulanabilir ve ekonomik bir çözüm olarak deprem bölgelerinde yapılacak yapılarda, dördüncü yöntem olan “deprem enerjisinin klasik yapım yöntemleri ile yapıya aktarılması ve

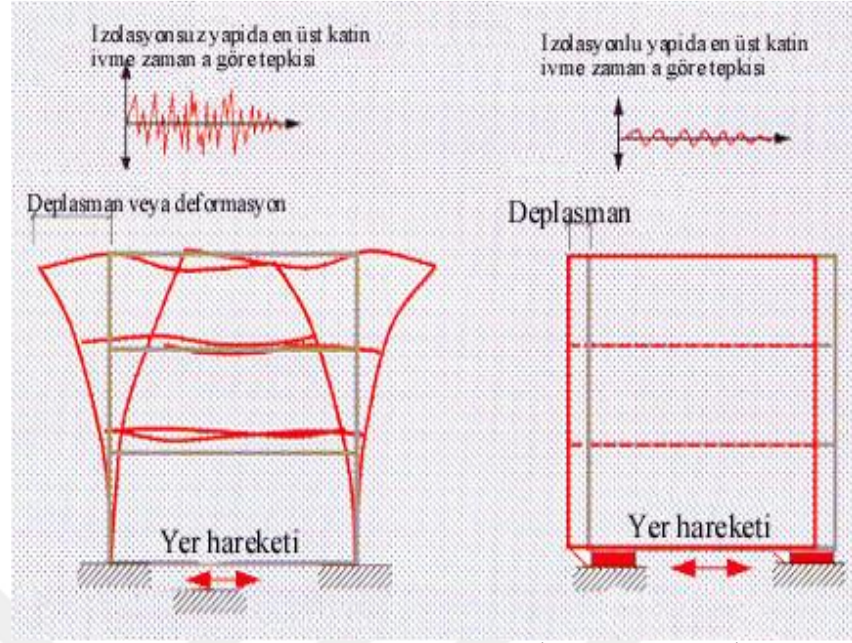
yapıya aktarılması ve yapı içinde oluşturulacak kontrollü kiriş-kolon kırılma mekanizmaları ile tüketilmesi” tercih edilmektedir. (Düzgün ve Bozdağ, 2013). Dünyanın birçok ülkesinde ve Türkiye’de yeni yapılacak yapılarda, genelde, deprem enerjisinin yapı içinde bu tür “kontrollü hasar mekanizmaları” ile tüketilmesi yöntemi benimsenmekte ve deprem yönetmelikleri de bu tür mekanizmalar sonucunda yapının davranışının; hafif şiddetli depremlerde, hiç hasar olmayacak “Kullanılabilirlik Sınır Durumu” içinde, orta şiddetli depremlerde, ekonomik olarak onarılabilecek olduğu kabul edilen “Kontrollü Hasar Sınır Durumu” içinde, şiddetli depremlerde göçmenin kısmen veya tamamen önlenebileceği ve can kaybının olmayacağı “Göçmenin Olmaması Sınır Durumu” içinde kalacak şekilde tasarlanması ve yapımı için uyulması gereken kuralları içermektedir. (Düzgün ve Bozdağ, 2013).

1.1 Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışması kapsamında yukarıda sayılan teknolojik yöntemlerden birincisi olan “Deprem enerjisinin yapı taban izolatör sistemleriyle tüketilmesi”, tasarım yöntemi incelenecektir. Çalışma kapsamında seçilen bir hastane binası üzerinde deprem enerjisinin “Geleneksel Klasik Yapım Yöntemiyle Tüketilmesi (temel sistemi-üst yapı bütünleşik sistem)” ve “Taban izolatör Sistemleriyle Tüketilmesi (temel sistemi-üst yapı ayrışık sistem)” tasarım yöntemleriyle ayrı ayrı SAP2000 bilgisayar programı ile analizleri yapılacak ve her iki yöntemden elde edilecek analiz sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilecek ve yapı mühendisliği açısından avantaj ve dezavantajları irdelenecektir.

1.2 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Genel Anlatımı

Sismik izolasyon (yalıtım) uygulaması yapı mühendislerin geliştirdiği, deprem sonrası hemen kullanılması gerekli önemli yapıların (hastane, köprü, viyadük, enerji yapıları, vb.) depremden korunmak amacı ile üst yapıya etkiyecek deprem kuvvetlerin azaltılmasını hedefleyen önemli ve yeni teknolojik tasarım yöntemlerinden birisidir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Deprem Yer Hareketinin Geleneksel Yapım ve Sismik İzolasyonlu Yapı İçindeki Dağılımı (Polat, 2008)

Yöntem, deprem sırasında yer sarsıntısı ile yapı temeline ulaşan hareket enerjisinin (kinetik enerjinin) üst yapı sisteminin kabul edebileceği kadarlık kısmının yapıya aktarılmasına izin verme esasına dayanır. Bu ise genelde, yapının temel sistemi ile üst yapı arasına yerleştirilen ileri teknoloji ürünü düzeneklerle gerçekleştirilir ki; buna “yapının deprem hareketinden izolasyonu (yalıtımı / deprem yalıtımı)” (base isolation) denilmektedir. Yöntemle ilgili teorik bilgiler epeyce eski olmakla birlikte, uygulanması ile ilgili teknikler hâlen gelişme aşamasındadır. Bununla birlikte, özellikle son yıllarda bu tür yapım yöntemine yönelik uygulamalar dünyanın gelişmiş ülkelerinde hız kazanmıştır. Az da olsa, Türkiye’de de bazı uygulamalar bulunmaktadır. (Polat, 2008).

Konvansiyonel yapı sistemleri diye tanımlayabileceğimiz sismik izolasyon uygulanmayan temel sistemi ve üst yapı sisteminin bütünleşik olduğu klasik yapım yöntemlerinde, yapının deprem güvenliği; deprem sırasında yapıya aktarılan enerjinin mümkün olduğu kadar az titreşim çevrimi ile başka enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanır. Buda ancak, taşıyıcı sistem ve taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlara gerekli süneklik (ductility) kazandırılarak sağlanır. Böylece, yapı elemanlarının bazıları dayanımını kaybetmeden öngörülen plastik şekil değiştirmeleri (kabul edilebilir hasar)

yaparak, yapıya aktarılan deprem enerjisi sönümlenmiş olur. Yapı sisteminin, deprem enerjisinin bu tür kontrollü kırılma (hasar) ile tüketilebilmesi ve yapı için öngörülen performansın sağlanabilmesi ancak ve ancak, taşıyıcı sistem ve taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların gerekli sünekliğe sahip olması ile mümkün olabileceğidir. Bu nedenle, her ülkenin deprem yönetmeliklerinde, bu tür yapım yöntemleri için olmazsa olmaz bazı kurallar getirilmiştir. Bu kuralların en önemlilerinden birisi, hemen hemen her ülkenin deprem yönetmeliğinde yer alan görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasıdır. Bu şartın sağlanabilmesi ise ancak, yapının gerekli yanal rijitliğe sahip olması ile mümkün olabileceğidir. Ancak, görelî kat ötelemelerini azaltmak için yapının yanal rijitliğinin artırılmasının gerekliliği, talep-kapasite ilişkisine göre, yapıya etki eden deprem enerjisi miktarını artıracığından yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri de artacaktır. Dolayısıyla, rijitliği artırmak için taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların malzeme dayanımları ve enkesit boyutları büyüyeceğinden taşıyıcı sistemin maliyeti de artacaktır. Ancak, yapıda hasar oluşmaması engellenemeyecektir. Bu nedenle, şiddetli depremlerde, konvansiyonel yapımlı yapılarda hem yapıyı hem de kıymetli eşyaları ve cihazları deprem etkilerinden korumak söz konusu değildir. Cihaz ve eşyaların zarar görmeleri de kaçınılmaz olacaktır.

Yapıya etkiyecek kuvvetleri azaltmak için yapıyı daha esnek yapmak istersek, bu durumda da yanal ötelemeler artacağından taşıyıcı sistemde hasarların meydana gelmesi daha da kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle, yapı mühendislerince özellikle deprem sonrası hemen kullanımı talep edilen yapılarda, örneğin hastane, köprü, viyadük, enerji yapıları, nükleer santraller gibi yapılarda deprem hasarların oluşmaması için “sismik izolasyon tekniği” geliştirilmiştir. Sismik izolasyon tekniği depreme karşı yapı güvenliğinin artması veya zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerinin azaltılmasını amaçlayan ileri teknoloji gerektiren bir yapım yöntemidir (Şekil 1.3).

Bu sistemde hedeflenen amaç, deprem sırasında üst yapıda kat ivmelerinin ve dolayısıyla görelî kat ötelemelerinin azaltılmasıdır. Basitçe, yapının, temel sistemi üzerinde düşey rijitliği yüksek, yanal rijitliği düşük ileri teknoloji ürünü esnek bir düzenek üzerine oturtulmak suretiyle, deprem etkisinden bağlaşımını kesmek

anlamına gelen sismik izolasyon veya deprem yalıtımı, önemli cihazların korunması ve deprem sonrası hemen kullanımı söz konusu günümüz teknolojileri ile üretilen önemli ve maliyeti çok yüksek yapılarda can ve mal güvenliğini sağlamak açısından geliştirilmiş en etkili yöntemlerden birisidir. Kavram olarak antik çağlara dayanır ve geçmişten günümüze değişen şey malzeme ve tekniktir. (Kaya, 2013).



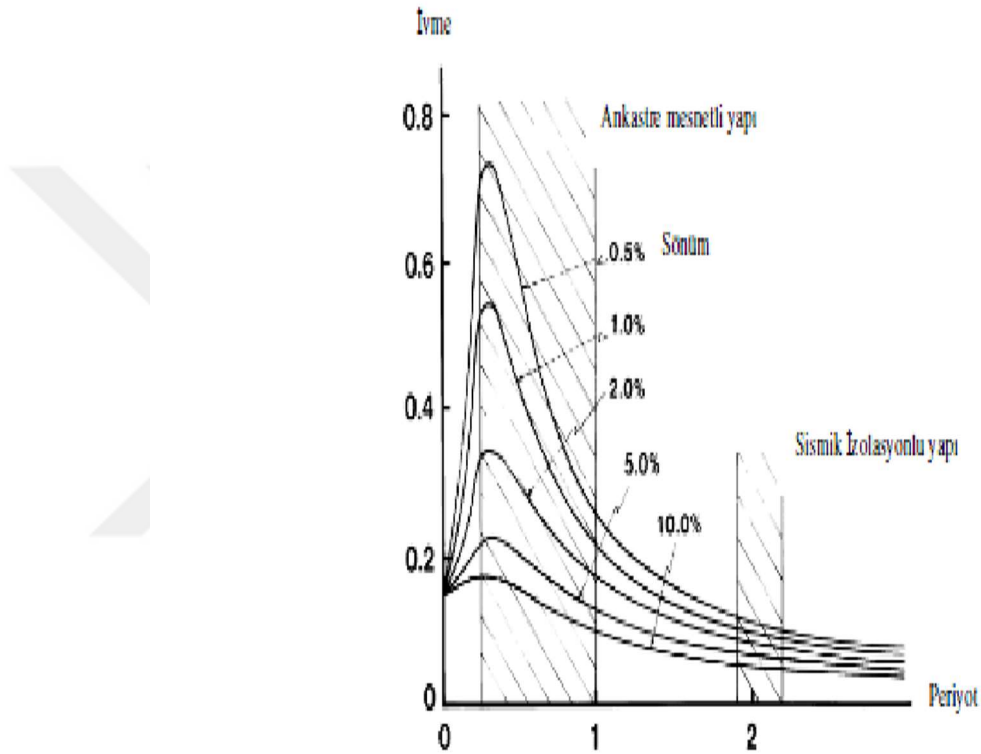
Şekil 1.3 Sismik izolasyon (deprem yalıtımı) uygulaması (Kaya, 2008)

Özet olarak sismik izolasyon uygulama tekniği ve çalışma prensipleri şöyledir: Temel ile üst yapı arasında ileri teknoloji ürünü düşey rijitliği yüksek ancak yanal rijitliği düşük izolatör yerleştirilerek, yapı; deprem hareketinin yatay bileşenlerinden ayrılır. İzolatör düşük yatay rijitliğe sahip olduğundan yatayda rahat deplasman yapar ve deprem enerjisi büyük oranda burada sönmülenir. Üst yapı tek bir ünite gibi hareket eder. Burada, oluşacak deplasman fazla olmakla birlikte izin verilen sınırlar içerisinde kalır.

Sismik izolasyon sistemi, kullanıldığı yapıya, temel sistemi ile üst yapının bütünleşik olduğu klasik yapımlı sistemlerin (ankastre mesnetli yapı sistemleri) frekanslarına göre çok küçük asal frekans verir; bu da izolasyonlu yapılarda periyodun klasik yapımlı sisteme kıyasla daha uzun çıkmasına ve dolayısıyla üst yapıya etkiyen deprem ivmesinin azalmasına neden olur. Fakat izolatörün yerleştirildiği seviyede yer değiştirmeler büyüktür. Ancak, tasarımda büyük olan bu yer değiştirmeler izin verilen

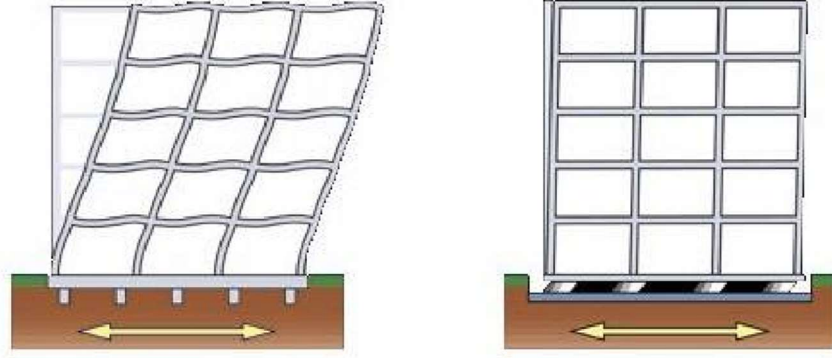
sınırlar içerisinde kalacak şekilde bazen sönüm oranı yüksek sismik izolatör sistemleri kullanılarak sınırlandırılır. Ayrıca gerektiğinde üst yapı kısımlarına ek viskoz sönüm cihazları eklenerek bu deplasmanlar azaltılabilir.

Şekil 1.4’de sismik izolasyonlu ve klasik yapımlı temel-üst yapı bütünleşik (ankastre mesnetli yapı) sistemlerinde; periyotlarının, sönüm oranı ve ivmelerin değişmelerini görülmektedir. (Dinçer, 2013).



Şekil 1.4 Yapı periyodunun büyümesi ve ivme ve sönüm değerlerinin buna göre değişimleri

Ayrıca, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, taban izolasyonlu yapıların, katlar arası yer değiştirme oranının, diğer deyişle üst yapıdaki görece kat ötelemelerinin minimum seviyelere düştüğü görülmüştür. Sonuç olarak deprem esnasında üst yapı elemanlardaki yer değiştirmelerin çok az olduğu ve dolayısıyla izolasyonlu yapının periyodundaki artıştan dolayı, yapıya etki eden deprem ivmelerinin düşük seviyede kaldığı belirlenmiştir. Bu çerçevede, bu sistemin deprem enerjisini sönümleme özelliğinin yüksek olduğu görülmektedir. (Şekil 1.5).



Ankastre bina

İzolatörlü bina

Şekil 1.5 Ankastre bina ile izolatörlü binanın davranış biçimleri

Yapılar, ömürleri boyunca birçok farklı şiddette depreme maruz kalabilirler. Konut türü yapılardan beklenen davranış; “Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabilir düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi” şeklindedir.

Sismik izolasyonlu yapılardan beklenen amaç ise, hafif veya orta şiddetli depremlerde yapının tüm elemanlarında hiçbir hasarın oluşmaması, şiddetli depremlerde ise yapının kullanım amacını bozacak herhangi bir hasarın oluşmaması hedeflenmektedir.

Ancak, deprem enerjisinin büyük kısmını büyük yanal ötelenme yaparak izolatörler absorbe edeceğinden, yapı tek bir ünite olarak hareket edecek şekilde tasarlanmalı ve devrilme olmaması içinde uygun yükseklikte olmalıdır. Temelde oluşan harekete uyum sağlamak üzere tesisat bağlantılarının da esnek düzenlenmesi gerekir. Sismik izolasyon, yeni yapıların depreme karşı korunması açısından en kolay yöntemdir. Mevcut yapılarda uygulamadan önce yapıda bazı değişiklikler yapmak gerekebilir. Yapının bir blok olarak hareket etmesini sağlamak üzere, daha rijit hale getirmek gerekebilir. Yapı etrafında binanın deprem esnasındaki hareketi için gerekli olacak yeterli boşluk bırakmak gerekir. (Kaya, 2008).

1.3.1 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Avantajları

Sismik İzolasyon sistemlerinin yararları şunlardır:

- Yüksek can güvenliği,
- Yapının taşıyıcı sistemi ve mimari elemanlarında minimum deprem hasarı
 - Şiddetli depremlerden sonra bile hemen kullanım; hastaneler, hava alanları ve bilgi işlem merkezleri vb.
- Hemen kullanım sayesinde iş kaybının önlenmesi ve pazar payının korunması,
- Yapının değerli eşya ve cihaz içeriğine etkin koruma,
- Ulaşım yapılarında süreklilik, köprü ve viyadüklerin hasar görmeden kullanılmasının devamı,
- Yıkılma ve hasar olmayacağından yeniden inşaat ya da onarım maliyetlerine gerek kalmaması,
- Minimum bakım gereksinimi,
- Tarihi bina ve değerlerin korunması.

(T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI, 2011)

1.4 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Uygulama Alanları

Sismik izolasyon sistemleri sadece yeni yapılacak yapılara değil mevcut yapılara da uygulanabilir. Sismik izolasyon sistemi, ABD, Japonya, Çin Halk Cumhuriyeti, Yeni Zelanda, İtalya gibi gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Günümüzde, bu sistemler genellikle şiddetli depremlerde hasarsız kalması amaçlanan çok hayati önem taşıyan yapı sistemlerinde uygulanmaktadır. Bunlar; Hastane, okul, polis karakolu, itfaiye, haberleşme merkezleri, enerji dağıtım merkezleri, acil yardım merkezleri ve nükleer enerji santralleri gibi hasarı doğal tehlikelere neden olabilecek yapılar veya tarihi değere sahip binalar ve tarihi eser in bulunduğu binalar (müzeler) bu gibi sıralanabilir.

Sismik izolasyonlu sistem yeni binalarda bina toplam maliyetini projeye bağlı olarak arttıracaktır. Fakat bina fonksiyonunun önemini (hastaneler, polis istasyonları,

okullar, köprüler, enerji yapıları, vb.) ve muhteviyatının değerini (bilgi işlem merkezleri, hastaneler, laboratuvarlar, yarı iletken fabrikaları, vb.) düşünürsek bu oran deprem sonrası hasarlar ve fonksiyon kaybı düşünüldüğünde çok düşük kalacaktır.

Yatay yönde gerekli esnekliğe sahip olmayan binaların güçlendirilmesinde, sismik izolasyon sistem tekniği diğer kullanıldığı alandır. Deprem riski yüksek bölgelerde bulunan ve şiddetli depremlere dayanıklı şekilde tasarlanmamış eski binaları da güçlendirmek için sismik izolasyon tekniği kullanılmaktadır.

Sismik izolasyon tekniği kullanımında amaç, bütün ötelemelerin temel ile üst yapı arasında olmasını ve düşük yatay rijitliğe sahip sönümleyici elemanın mümkün olduğu kadar şekilde deprem enerjisini yutmasını ve sönümlemesini sağlamaktır. Bu sistemle yapının dinamik özellikleri değiştirilerek depremde yapıya gelecek yatay yükün azaltılması hedeflenir. Yapının sönümü artırıldığından yapıya gelen hem ivme hem de ötelenme azalacaktır. (Anonim, 2015d).

Taban İzolasyon Sisteminin uygulandığı yapılarda aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

- Elastik davranış
- Yapıya gelen kuvvetlerde azalma
- Kat ivmelerinde küçülme
- Katlar arası deplasmanlarda küçülme, hemen hemen bütün katların yaklaşık aynı deplasmanı yapması yani görelî kat deplasmanları sıfıra yaklaşması.

Yapı periyodu $T=[2\pi/\omega]$ ve buradaki açısal hız $\omega=[k/m]^{0.5}$ ifadesi ile verilmektedir. Buna göre, periyod yapının kütlesi ile doğru, rijitliği ile ters orantılıdır. Yapının rijitliği azaltılır, periyodu uzatılırsa yapıya daha küçük bir deprem kuvveti gelecektir. Yapının periyodu 2–2.5 saniyelere kadar uzatılırsa, deprem kuvvetlerinde önemli bir azalma olmaktadır. İzolasyonlu sistemde yapının yer hareketini büyütme oranı yaklaşık 0.9 – 1.0 civarındadır. İzolasyonlu yapı rijit kütle hareketi yapmaktadır. İzolasyonsuz yapı ise yer hareketini yaklaşık 3,0-6,0 kat büyütmektedir.

1.5 Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanılmaması Gerekli Durumlar

Yapıların periyotlarının uzatılması yumuşak zeminler üzerine inşa edilmiş yapılar için zararlıdır. Yumuşak zeminlerde sismik yalıtım konularak yapı periyodunun artırılması halinde yapıya gelecek deprem yükü artacaktır. Bitişik nizam yapılarda yalıtım yapılması uygun değildir. Ayrıca zemin hakim periyodu yüksek olan zeminlerde yalıtım sistemi kullanılmaz.

1.6 Geçmiş Bina Örnekleri ve Maddi Kayıp

1.6.1 Northridge Depremi-Ocak 17,1994

Bu depremin büyüklüğü 6.7 Mw, 15 saniye sürmüştür ve toplam hasarı 30 milyar\$. Taban İzolasyonsuz Olive View Hospital binasında toplam 400 milyon \$ değerinde tıbbi ekipman ve alet hasar meydana gelmiştir. Bu binanın tabanında ivme 0.80g iken çatıda 2.30 g ye yükselmiştir.

Taban İzolasyonlu USC Hospital binası: Yapısal ve yapısal olmayan hasar olmamıştır. Bu binanın tabanında ivme 0.37g iken çatıda 0.11g ye düştüğü belirlenmiştir.

1.6.2 Kobe Depremi-Ocak 17,1995

Bu depremin büyüklüğü 6.9 Mw, 20 saniye sürmüştür ve toplam hasarı 150-200 milyar \$. Taban izolasyonlu West Japan Postal Savings Computer Center binasında yapısal ve yapısal olmayan hasar olmamıştır. Bu binada deprem sırasında taban ivmesi 0.40g iken çatıda 0.12g ye düştüğü ölçülmüştür. Bu binanın yakın çevresindeki taban izolasyonlu binada taban ivmesinin 0.37 iken çatıda 1.18g ye yükseldiği gözlenmiştir.

17 Ocak 1995 Kobe depreminden sonra Japonya’da Taban İzolasyonlu Binaların talebinde bir patlama olmuştur. 1995 ‘e kadar 80 binaya uygulanmışken günümüzde 800 kadar binaya uygulanmıştır. Bu talebin artmasında Kobe’de bulunan iki taban izolasyonlu binanın deprem sırasındaki mükemmel davranışı da etkili olmuştur.

1.7 Sismik İzolasyonlu Sistemlerin Türkiye Uygulamaları

Sağlık Bakanlığı İnşaat Onarım Dairesi Başkanlığınca yayınlanan 2012/6 sayılı genelge ile ‘Sağlıkta Dönüşüm Kapsamında Yapılacak Sağlık Tesisleri İçin Proje Aşamasında Uyulması Gereken Hususlar’ a ait kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlerin Deprem Bölgeleri ile ilgili bölümünün 1. Maddesinde “1. ve 2. Derece deprem bölgelerinde 100 yatak ve üzeri hastanelerin taşıyıcı sistemleri sismik izolatörlü olarak projelendirilecektir. İzolatör modeli seçimi, teknik çalışma ve projelendirme sonrası Bakanlık tarafından onaylanacaktır.” İfadesi yer almaktadır (Urgu, 2006).

Yapımı devam eden Erzurum Sağlık Kampüsü’nde 1250 adet izolatör kullanılmıştır. Bunların her birinin fiyatı 6-7 bin Euro civarındadır. Seçilen izolatörler Almanya ve Amerika’da yarı yük (1100 ton) değeri altında testlere tabi tutulmuştur.

Bir diğer örnek de yapımı 1991 yılında tamamlanmış Marmara Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi’dir. Bu binaya 2012 yılında deprem izolatörleri eklenmesi çalışmaları başlanmıştır. Toplam da 16 blok 113.000 m² 750 yataklıdır. İzolatörler merdiven ve asansör harici (temel de kesilip çıkarılıyor) kolon perde duvarlar da zemin altında izole edilmiştir (Urgu, 2006).

Türkiye’deki uygulamalarda genellikle ikili sürtünmeli sarkaç izolatör kullanılmaktadır. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler Sürtünmeli sistemler tekli, ikili ve üçlü sarkaçlar şeklinde çalışmaktadır. Üçlü sarkaç tipi izolatör üretimi sadece Yeni Zelanda’da yapılmaktadır. Üretimi ulaşımı ve maddi külfeti göz önünde bulundurulduğunda çok tercih edilen bir sarkaç modeli değildir. Bir izolatörün 4 ya da 5 büyük deprem yaşama ömrü vardır. İzalatörler neme ve toza karşı korunmalıdır. Ortalama 25-50 yıl ömrü vardır. İzolatörlerin yaptığı deplasman belirlenen sınırlarını geçerse dağılabilir. Sürtünmeli sismik izolatörler belirli bir deprem etkisine kadar hareket etmezler.

1.8 Sismik İzolasyon Sistemleriyle İnşa Edilmiş Yapılar

ABD'nin ilk taban izolasyonlu binası olan "Foothill Communities Law and Justice Center (FCLJC)" ın inşası 1985 yılında tamamlanmıştır (Şekil 1.6). FCLJC yüksek sönümlü kauçuk mesnet kullanılarak inşa edilen ilk binadır. Binanın sismik izolasyonu için toplam 98 adet yüksek sönümlü kauçuk mesnet kullanılmıştır. Bu bina Los Angeles'ın 60 km doğusunda bulunan Rancho Cucamonga şehrinde ve San Andreas fayına sadece 21 km uzaklıkta inşa edilmiştir. Toplam 15794 m² alan ve dört kattan oluşan bina 8,3 büyüklüğündeki depremlere dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Binanın izolasyon seviyesindeki maksimum yatay deplasman kapasitesi 380 mm'dir. Bina toplam 38 milyon dolara mal olmuştur. (Urgu, 2006).

1990 yılında Los Angeles'ta inşası tamamlanan "Fire Command and Control Facility (FCCF)" binası da yüksek sönümlü kauçuk mesnetlerin üzerine inşa edilmiştir (Şekil 1.7). Bu bina konvansiyonel olarak tasarlanan alternatif modeline göre %6 daha ucuza mal edilmiştir. Binanın içinde itfaiye acil servis iletişim sistemleri bulunmaktadır. (Urgu, 2006)



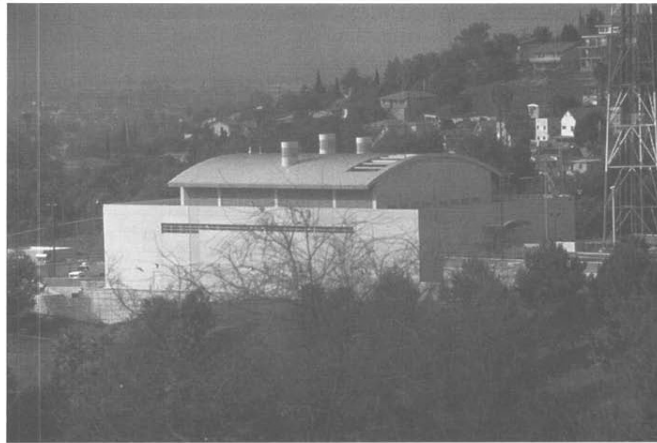
(b)

Şekil 1.6 Foothill Communities Law and Justice Center (FCLJC) (Urgu, 2006)



Şekil 1.7 Fire Command and Control Facility binası (Urgu, 2006)

Taban yalıtım sistemi kullanarak inşaa edilmiş ve Fire Command and Control Facility binası yanında bulunan The Emergency Operation Centre da 28 tane yüksek sönümlü kauçuk izolatörle yapılmıştır. (Şekil 1.8). Bu izolatörler “The Bridgestone Engineering Products” tarafından üretilmiş (Urgu, 2006).



Şekil 1.8 The Emergency Operation Centre (Urgu, 2006)

İnşası 1991 yılında tamamlanan sekiz katlı, çapraz perdeli olarak tasarlanan ABD’nin Los Angeles şehrinin doğusundaki “The University of Southern California Teaching Hospital” binası 68 adet kurşun çekirdekli kauçuk ve 81 adet kauçuk izolatör üzerine mesnetlenmiştir. (Şekil 1.9). Temel sistemi radye general olarak seçilen bina

kayalık zemin üzerine inşa edilmiştir. Mimari gereksinimlerden dolayı, yapıda planda ve düşey doğrultuda düzensizlikler bulunmaktadır (Clark ve diğer. 1996).



Şekil 1.9 The University of Southern California Teaching Hospital binası (University of California Berkeley, b.t.)

Sismik izolasyon sistemleri, yeni inşa edilen yapıların yanında birçok eski yapının sismik güçlendirilmesinde de kullanılmıştır. Bu yapılara örnek olarak, Şekil 1,10'daki California'daki "Oakland City Hall" ve Şekil 1,11'deki "San Francisco City Hall" binaları gösterilebilir. Bu iki bina 1989 Loma Prieta Depremi'nde hasar görmüş ve sismik izolasyon sistemleriyle güçlendirilmesine karar verilmiştir (Urgu, 2006).



Şekil 1.10 Oakland City Hall (DIS, b.t)

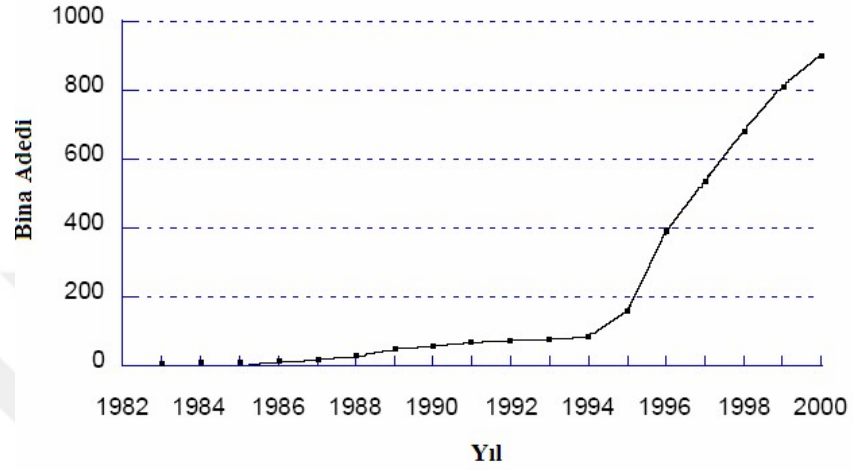


Şekil 1.11 San Fransisco City Hall (DIS, b.t.)

1997 yılında EERC bünyesindeki Protective Systems Research Group, ABD’de sismik izolasyon sistemleri ile inşa edilmiş veya güçlendirilmiş bina adedini 38 olarak açıklamıştır.

Sismik izolasyonlu yapı uygulamaları Japonya’da 1980’lerin başlarında başlamıştır. İlk bina 1983 yılında tamamlanmış ve 1985 yılına kadar sadece üç adet deneme projesi tamamlanmıştır. 1985-1994 yılları arasında taban izolasyonlu yapıların sayısı artmış ve senede inşa edilmiş bina sayısı 10’a yükselmiştir. Bu yapıların 1995

Kobe depremini hasarsız atlatmaları sonucunda Japonya’da sismik izolasyonlu yapıların sayısı hızla artmış ve 1995-2001 yılları arasında, senede inşa edilen sismik izolasyonlu yapı sayısı 150’ye yükselmiştir. Yıllara göre Japonya’da inşa edilen sismik izolasyonlu yapı adedini gösteren grafiğini Şekil 1.12’da verilmiştir (Nakashima ve diğer, 2004).



Şekil 1.12 Yıllara göre Japonya’da inşa edilmiş sismik izolasyonlu yapı adedi (Urgu, 2006)

Japonya’da inşa edilmiş en büyük sismik izolasyonlu yapı toplam 47000 m2 alana sahip, 6 katlı betonarme olarak inşa edilmiş “West Postal Computer Center” binasıdır (Şekil 1.13).



Şekil 1.13 West Postal Computer Center binası (Urgu, 2006)

Bu bina Kobe'nin kuzeyindeki Sanda şehri yakınlarında inşa edilmiştir. Bu binada 54 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve 66 adet doğal kauçuk izolatöre ek olarak 44 adet çelik sönümleyici kullanılmıştır. Üst yapının, ankastre mesnetli durumundaki periyodu 0,68 sn. izolasyonlu sistemin periyodu ise 24 cm deplasman için 3,3 sn. olarak tasarlanmıştır. Bu bina 1995 Kobe Depremi'nde hiç bir hasar görmemiştir. Japonya'dan örnek olarak verilebilecek diğer bir bina ise yine Sanda şehri yakınlarında 1994 yılında inşası tamamlanan "Technical Research Institute of the Matsumura-Gumi Construction Company" binasıdır. (Şekil 1.14). 12,8 m yüksekliğindeki bina 8 adet yüksek sönümlü kauçuk izolatör üzerine inşa edilmiştir. Üst yapının ankastre mesnetli periyodu 0,24 sn. izolasyon sistemli yapının hedef periyodu 20,3 cm deplasman için 2,3 sn. olarak tasarlanmıştır (Urgu, 2006).



Şekil 1.14 Technical Research Institute of the Matsumura-Gumi Construction Company binası (Urgu, 2006)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin kullanıldığı ilk yapı Yeni Zelanda'nın Wellington şehrinde 1981 yılında inşası tamamlanan "William Clayton Building" dir. Bina 80 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör üzerine inşa edilmiştir. Bu binanın doğal periyodu 2,5 sn olarak tasarlanmıştır. Yeni Zelanda'da inşa edilmiş "Union House ve Wellington Police Station" binalarında kılıflı kazık izolasyon sistemleri kullanılmıştır. Wellington'daki "The National Museum of New Zealand" Binasının sismik izolasyonunda 142 adet kurşun çekirdekli kauçuk ve perdelerin altında 36 adet teflon yastık kullanılmıştır. Yine Yeni Zelanda'daki "The South Rangitikei River

Bridge” Köprüsünün inşasında rocking sstemi kullanılmıştır. Ayrıca “Parliament Building (1918)” ve “Assembly Library (1898)” binalarının güçlendirilmesinde kurşun çekirdekli izolatörler kullanılmıştır (Urgu, 2006).

2001 yılı rakamlarına göre Çin’de çoğu konut olmak üzere 450’nin üzerinde binanın inşasında sismik izolasyon sistemleri kullanılmıştır. Çin’de sismik izolasyon sistemleri genellikle 7-8 katlı betonarme çerçeve tipi yapılarda kullanılmıştır. Bunlardan en ilgi çekici olanı 13 katlı, 28000 m2 alana sahip güney Çin’de inşa edilmiş müze binasıdır. Bu binada kauçuk izolatörler 1. kat seviyesine monte edilmiştir. Müzenin maliyeti, ankastre mesnetli tasarımına göre %2 fazla olsa da 4 kat daha güvenli olmuştur (Urgu, 2006).

Türkiye’de ise yıkıcı depremlerden sonra sismik izolasyon kavramı önem kazanmıştır. Atatürk Havaalanı Dış Hatlar Terminali’nin çatısında ve Kocaeli Üniversitesi Hastanesi Binasında sürtünmeli sarkaç izolatörler kullanılmıştır. Ayrıca Bolu Dağı Viyadüğü’nde ve Güney Otoyolunda (Gaziantep-Tarsus) kayıcı mesnetler kullanılmıştır.(Urgu, 2006).

BÖLÜM İKİ

TABAN İZOLASYON SİSTEMLERİ

2.1 Giriş

Taban izolasyon sistemleri, yapıların deprem etkilerinden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Sistemin amacı, bir yapıya etkileyen deprem yüklerinin azaltılmasıdır. Bu amaçla, yalıtılmış binanın doğal titreşim periyodunun uzatılması ve/veya enerji tüketme kapasitesinin artırılması gereklidir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının deprem sırasında deprem kuvvetlerini güvenli bir şekilde karşılaması ve dolayısıyla bina içindeki insanları ve eşyaları depremin yıkıcı zararlardan koruması için hazırlanan yönetmeliklerde öngörülen tasarım kurallarına göre tasarlanması gereklidir. Amerika’da yapıların tasarımında ASCE, UBC gibi yönetmelikler kullanılmaktadır. Türkiye’de ise hâlihazırda kullanılmakta olan 2007 Deprem Yönetmeliği, bunun yanı sıra 18.3.2018 tarihinde yayınlanan ve 01.01.201’da yürürlüğe girecek olan “2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ” kullanılacaktır. Bu çalışmada ele alınan örnek binanın analizleri “2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2019 TBDY)” esas alınarak tasarlanmıştır.

Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan sismik izolasyonlu sistemler Türkiye’de de kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye’de 100 ve daha fazla yataklı hastanelerini, sismik izolasyonlu olarak tasarlanması zorunlu hale gelmiştir. Birinci bölümde tariflendiği gibi, sismik izolasyonlu sistemin mantığı: Olası deprem durumunda binayı deprem kuvvetinin etkisinden korumak için düşey rijitliği yüksek, yatay rijitliği düşük yüksek teknoloji ürünü enerji tüketme özelliğine sahip düzeneklerin, üst yapı ile alt yapı ara yüzüne monte edilerek depremin yıkıcı özelliklerden yapıyı korumaktır. Genel olarak depremlerin yatay bileşenleri düşey bileşenlerinden daha etkin olduğu için yapıların yatay yönde serbestçe hareket etmesi sağlanarak, yapının periyodunu uzatılarak yapıya gelen sismik enerjinin etkisini azaltmaktır.

Sismik yalıtım sistemin uygulanabileceği binaların etrafında izolatör deplasmanı kadar boşluk bırakılmalıdır. Bitişik nizamlı binalarda kullanılması uygun olmaz. Deprem derzleri olmayan binalarda sismik izolatör uygulaması yapılamaz. Eğer inşası tamamlanmış binalarda kullanılacaksa tüm bu şartlar yerine getirilmeden diğer şartların sağlanmasının hiçbir faydası olmayacaktır.

Deprem izolatörlerin uygulanacağı binalarda uyulması gereken diğer önemli bir husus ise tesisat bağlantılarıdır. Elektrik, telefon, doğal gaz ve kanalizasyon gibi binanın dışarısı ile irtibatlı donanım için binanın üst yapı- alt yapı ara yüzeyinde binanın yapmış olduğu deplasmana kadar esneme yapacak şekilde gerekli boşluklarının bırakılması gerekir ki bu elemanlarda kopma ve kırılma meydana gelmesin.

2.2 Yapısal Elemanlar ve Yapısal Olmayan Elemanlar

Bilindiği gibi yapı elemanları yapısal ve yapısal olmayan olarak ikiye bölünür.

Yapısal elemanlar;

- Temel
 - Kolonlar, kirişler ve perde duvarlar ve
 - Döşemeler
- şeklindedir.

Yapısal olmayan elemanlar ise; binanın taşıyıcı sisteminden ayrı, binanın kullanım fonksiyonu ve estetiği ile ilgilidir. Bunlar, binanın içinde bulunduğu duruma göre, hareketli eşyalar ve hareketsiz eşyalar olmak üzere iki grupta incelenir. Aşağıdaki eşyalar ve benzerleri, bina içinde sürekli yer değiştirebilmelerinden dolayı “hareketli eşyalar” olarak adlandırılır. Bunlar;

- Mobilyalar,
- Çeşitli boyutlara sahip vitrinler, elbise dolapları, kitaplıklar, şifonyerler ve aynaları, portmantolar,
- Mutfak dolapları ve çekmeceleri,
- Tüm elektronik cihazlar (bilgisayar, televizyon, müzik seti, vb.),
- Tüm beyaz eşyalar (buzdolabı, çamaşır makinesi, vb.),

- Değişik özelliklere sahip sobalar (elektrikli, kömürlü, odunlu, vb.),
- Çeşitli büyüklüklerdeki tablolar
- Banyo Dolap ve vitrifiye ilgili donanım ve aksesuarları,
- Okullardaki öğrenci, öğretmen dolapları, öğrenci sıraları, aydınlatma elemanları, laboratuvar malzemeleri,
- Hastanelerdeki ameliyathane ekipmanı (Röntgen, tomografi vb.), laboratuvar ekipmanı,
- Alışveriş merkezlerindeki ürün sergileme rafları ve raf içinde bulunan eşyalar,
- Müzeler-sanat galerilerinde sergilenme rafları ve tarihi sanatsal unsurlar,

şeklinde gruplanabilir.

Yapısal olmayan hareketsiz eşyalar yapının içinde bir kereliğine sabitlenip genellikle aynı yerde kaldığından, “hareketsiz eşyalar” olarak adlandırılır. Bunlar ise;

- Tüm pencere ve kapı doğramaları,
 - Çeşitli boyutlara sahip asansör sistemleri,
 - Yüksek yerlere asılmış panel radyatörler ve bağlantı boruları,
 - Kombi cihazları, termosifonlar, şofbenler,
 - Aydınlatma sistemleri,
 - Asma tavanlar,
 - Çeşitli boyutlarda avizeler, camdan üretilmiş aydınlatma armatürleri,
 - Asma tavan tipi yerlerde kullanılan spot lambalar ve ekipmanları,
 - Yangın merdivenleri,
 - Alışveriş merkezlerindeki cam vitrinler ve bunlara benzeyen birçok eşya,
 - Havalandırma sistemleri,
- şeklinde gruplanabilir. (Afet ve acil Durum Yönetim Bakanlığı, 1997).

2.3 Taban İzolasyon Sistemleri

Taban izolatör sistemlerinin çalışma tekniği düşünüldüğünden oldukça basittir. Deprem yer hareketi bir dalga hareketi olarak zemin içinde tüm doğrultuda yayılır ve

bir yapıya ulaştığında temellerini sallamaya başlar. Temeller, kendisine bağlı olan üstyapı taşıyıcı elemanlarını sallar ve tüm bu taşıyıcı elemanlarının enkesitlerinde atalet kuvvetleri oluşturur. Taban izolasyonlu sistem, yapı tabanına ulaşan deprem titreşimlerinin, temel ile üst yapının birbirinden ayrılmak suretiyle üstyapıya erişiminin azaltılması ana mantığına dayanır. Sismik taban izolatör, temel ile üst yapı ara yüzeyine yerleştirilir. Bu sistem, bina, köprü ve viyadük gibi yapılarda başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir.

Taban izolatör sistemi olmayan ve direkt olarak temellerle bütünleşik yapı sistemlerinde deprem titreşimleri direkt olarak temel yoluyla yapıya ulaşacağından, yönleri değişken titreşimler, temel ile üst yapı arasında relative yer değiştirmelere neden olacağından, yapı elemanlarında ve bunların birleşim bölgelerinde önemli etkilere neden olur. Sismik taban izolasyonlu bir sistemde ise; altyapı ve üstyapı ara yüzeyine yerleştirilen yatay yönde rijitliği düşük olan izolatör düzenekleri sayesinde, yatay deprem titreşimlerinin ancak bir bölümü üst yapıya geçer. Bundan dolayı üst yapıdaki etkiler azaltılmış olur. Titreşim sırasında temel ile üstyapı arasında önemli bir relatif yerdeğiştirmeler görülür. Taban izolatör sistemi, bir yalıtım modu oluşturarak tüm yapı sisteminin etkili periyodunu büyütür ve küçük spektral ivme değerlerinin hesaba katılmasını sağlar ve sonuç olarak tüm yapıya etkiyecek taban kesme kuvvetini azaltır.

Yüksek mod etkilerinin azaldığı bu sistemde, deprem enerjisinin yutulması taban izolatör sisteminin sönüm etkisi ile oluşur. Taban izolasyon sistemlerinin uygulamasında, yapının yere göre; en az 10-100cm arasında yatay hareket etmesi beklenir. Bu deplasman değerini elde etmek için izolatör malzemesinin üstünde bir ayrılma düzlemi ayarlamak gerekir. Bodrum katı olmayan binalarda izolatör düzenekleri hemen temel üzerine yerleştirilir ve üst yapı bunların üzerine inşa edilir. Bodrumlu binalarda ise izolatör düzenekleri, bodrum kat kolon ve perdelerinin alt, orta ve üst kısımlara konulur. Kolon orta kesiti, eğilme momentinin alt ve üst kesite dağıtılabilmesi bakımından tercih edilebilir bölgelerdir. İzolatör elemanlarının yerleştirildiği kesitlerde meydana gelen büyük kesme kuvvetinin güvenli bir şekilde karşılanması için, büyük kolon kesitleri gerekli olabilir. Ayrıca, yalıtım birimlerine

binanın kullanım ömrü boyunca erişim sağlanabilmeli, gerekmesi durumunda yalıtım biriminin değiştirilebilmesi için yeterli boyutlarda çalışma alanı ve yalıtım birimlerine geçiş alanı bırakılmalıdır.

İzolasyon elemanlarının inşaatı bitmiş yapılara, güçlendirme amacıyla uygulamasında daha büyük zorluklarla karşılaşılır. Çünkü, izolatör düzeneklerinin yerleştirilebilmesi için binanın mevcut kolon veya perdeleri, yapılan hesaplar sonucunda belirlenen ayırma düzleminden kesilmesi gerekmektedir. Bu işlemin yapılabilmesi için de kesilecek her bir taşıyıcı elemanın düşey yüklerini aktaracak geçici bir mesnetlenme yapılması ve düşey yüklerin güvenli bir şekilde yayılmalarının sağlanması için özel krikolar kullanılması gereklidir. Kesilen kolon veya perdelerin yükünü izolasyon elemanlarına aktarılması için, kesilerek boşaltılan bölgenin üst ve alt kısımlarına çelik başlık plakaları yerleştirilir ve kullanılacak izolatör düzeneği bu çelik plakalara montajlanarak işlem tamamlanmış olur. Ayrıca, bu şekilde izolatörlü sisteme dönüştürülen yapının taşıyıcı sisteminin, hesaplar sonucunda bulunan yatay deplasmanı (15cm~50cm) serbestçe yapabilecek şekilde gerekli tedbirlerinde alınması gerekir.

Taban izolasyon sistemleri temel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

a)Kauçuk Esaslı İzolasyon Sistemleri

- Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Sistemleri
- Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatör Sistemleri
- Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatör Sistemleri

b)Kayma Esaslı Taban İzolasyon Sistemleri

- Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Sistemleri

şeklindedir.

2.3.1 Kauçuk Esaslı İzolasyon Sistemleri

Dünyada en çok tabakalı kauçuk esaslı izolatör sistemleri kullanılmaktadır. Çelik ve aynı zamanda kauçuk elemanlardan oluşan bu sistem genel olarak tabakalar şeklindedir.. Bu sistemler, yatay yönde sönüm ve düşey yönde rijitlik özelliğini aynı anda sağlayacak şekilde imal edilirler. Kauçuk materyallar yatayda esnek davranışa ve büyük sönüm özelliğine sahiptir. Kauçuk esaslı izolasyon sistemleri doğal frekans (ω_b) ve sönüm sabiti (ξ_b) ile tanımlanır. Kauçuk Sistemin sönüm sabiti sistemin yer değiştirmesine bağlıdır.

Kauçuk esaslı izolatörler ilk kez 1969'da Yugoslavya'da Üsküp şehrinde bir ilkokulda deprem etkisinden koruma amacıyla kullanıldı. Ancak, bu izolatörlerde, çelik plakalar kullanılmamış, bu nedenle de kauçuk izolatörler, bina ağırlığı yüzünden ezilerek yanlara doğru genişleyerek deforme olmuştur. Binada kullanılan kauçuk elemanların yatay ve düşey rijitlikleri birbirlerine çok yakın olduğu için deprem sırasında bina bir öne bir arkaya yatmıştır. Bu olumsuz uygulamadan sonra binalarda kullanılacak kauçuk esaslı izolatörlerde ara çelik plakaların kullanımı başlamış ve sistemin düşey yönde de rijit davranış göstermesi sağlanmıştır.

Bayülke (2002), lastik takoz ismini verdiği kauçuk izolatör sistemlerin üretim prosedürlerini aşağıdaki gibi vermiştir:

- Lastik takoz malzemesi doğal kauçuktan yapılır,
- Lastik takozu, mekanik dayanımları, çekme dayanımları, rijitlik ve sönüm özelliklerini arttırıcı katkı maddeleri eklenir. Doğal kauçuğa rijitlik ve sönüm artışı kazandırmak için karbon eklenir,
- Üretim aşamasında kauçuk rulo şeklinde yapılır,
- Milimetre kalınlığında daire şeklinde kesilir,
- Kauçuklar kat kat monte edilir,
- Aralarına çelik levhalar yine milimetre kalınlığında yerleştirilir. Levhaların lastiğe yapışması amacıyla yüzeyleri parlak yapılır,
- Yüzeylerde yapıştırıcı materyaller konulur,
- Bir kat lastik konulur ve bunun üstünde çelik sonra da bileşim ağır çelik kalıba konulur. Alt ve üst tabakalar ile kalıp arasına lastik konulduktan

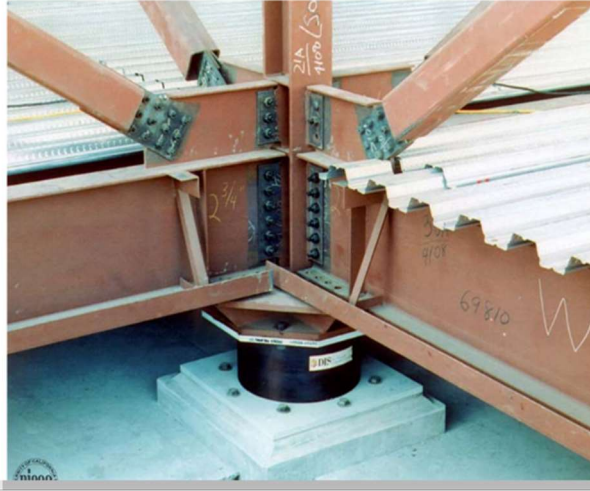
sonra sistem fonksiyon kazanır.
bekletilir,

136 derecelik sıcaklıkta 15 saat

- Lastikler “vulkanize” edilir. Çünkü bu işlem sırasında lastikler kalıptan dışarı çıkabilir.

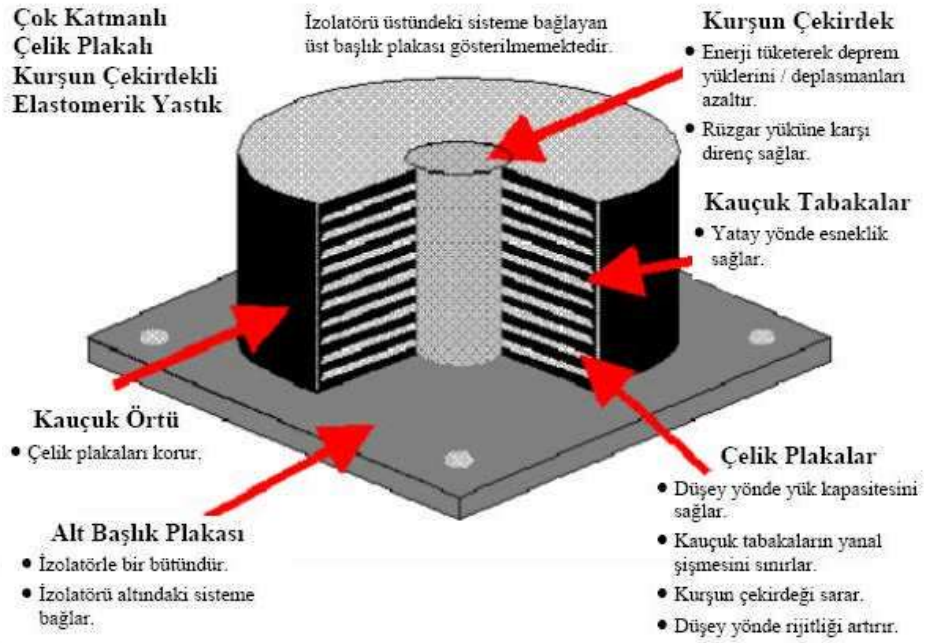
2.3.1.1 Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler

Bu izolatör çeşidi 1975’te ilk Yeni Zelanda’da uygulandı ve bu yıldan sonra Yeni Zelanda, Japonya ve ABD’de olmak üzere farklı ülkelerde birçok bina ve köprülerde kullanılmıştır. (Şekil 2.1).



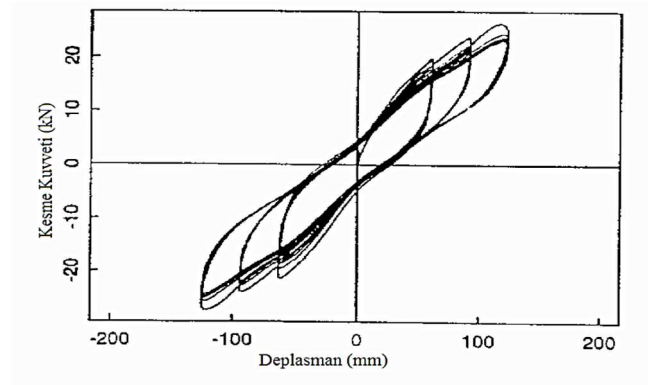
Şekil 2.1 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör uygulaması (University of California Berkeley, b.t.)

Kurşun çekirdekli izolatörde düşük sönümlü kauçuk izolatördeki gibi içte kauçuk ve çelik tabakalar ve bunların dışında, dış kısmında kauçuk kılıf vardır. (Şekil 2.1). Bununla birlikte bu sistemin ortasına kurşun çekirdek ilavesi yapılmıştır. Burada iç kısmındaki kauçuğun görevi; şekil değiştirmeyi, dıştaki kauçuk kılıfın görevi ise çelik levhaları korumaktır. İzolatörün iç kısmındaki çelik levhalar, kurşun çekirdeği kayma durumunda şekil değiştirmekten korur. İzolatörün ortasındaki kurşun çekirdek yaklaşık 10 MPa lik ve bir akma gerilmesinde fiziksel olarak şekil değiştirir. Bu durumda sistemin bilineler davranış göstermesi sağlanır (Urgu, 2006).



Şekil 2.2 Kurşun çekirdekli izolator sistemin kesiti ve elemanları (Urgu, 2006)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolator sisteme düşük oranda yatay yükler gelince, örneğin, küçük deprem sarsıntıları, rüzgâr ya da trafik yükleri gibi, bu izolator düşeyde ve yatayda rijit davranır. Sisteme büyük yatay yükler gelmeye başlayınca kurşun akmaya başlar ve yatay rijitlik büyük ölçüde azalır. Bu durum izolatorün periyodunu düşürür. İzolator büyük deprem sarsıntıları durumunda histerik döngüde büyük deplasmanlara ulaşmaya başlayınca kurşun çekirdeğin yaptığı plastik deformasyonlar deprem yüklerini histerik sönüm şeklinde absorbe eder. Bu döngünün yarattığı deplasmana bağlı fonksiyonun eşdeğer viskoz sönümü; %16-36 arasında değişir. Şekil 2.3'te kurşun çekirdekli izolatorünün histerik eğrilerini gösterilmiştir.

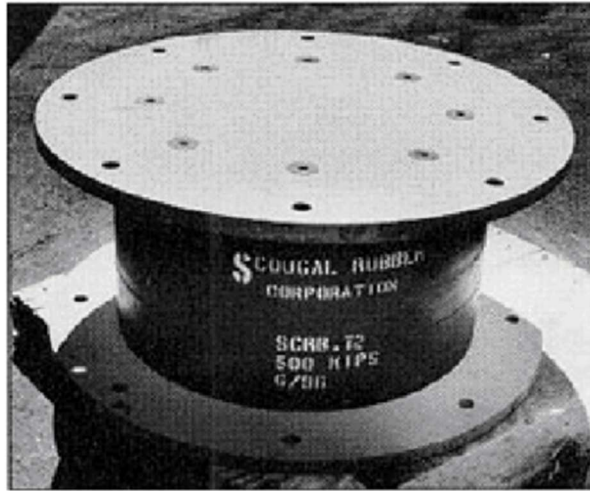


Şekil 2.3 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatorün kuvvet-yer değiştirme eğrisi (Urgu, 2006)

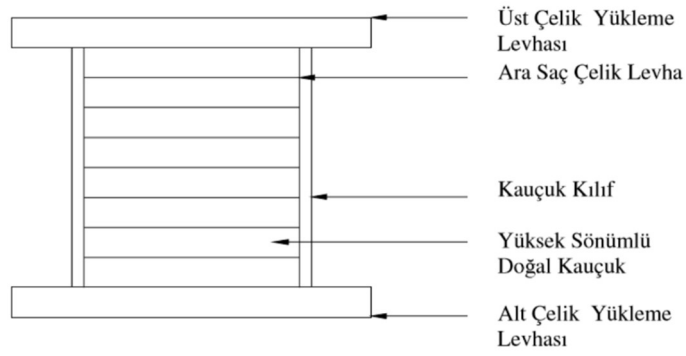
Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler sistemlerin iyi yönleri; düşey yük etkilerine karşı rijit davranış, yatay yük etkilerine karşı esnek davranış özellikleri yanında sönüm için ekstra sisteme gereksinim duymamaları olarak sıralanabilir. Bu sistemin dezavantajlarından biri ise depremden sonra kurşun çekirdekte meydana gelen hasarın gözükmemesidir. Bu çeşit izolatörlerle inşa edilen binaların Northridge ve Kobe depremlerinde iyi performans göstermeleri sistemin başarısını göstermiştir.

2.3.1.2 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler (HDNR)

Diğer elastomer mesnetlerde yaklaşık olarak %2 bir sönüm bulunurken, bu tür izolatörler için sönüm %8~%15 civarında değişir. Düşük seviyedeki deplasmanlar için sönüm oranı %15 seviyede, bu deplasmanın %100 geçtiğinde sönüm %9~%13'e düşer. Üretim prosedürü kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ile hemen hemen aynıdır. Mesnedin kayma modülü 0,4~1,6 MPa arasında değişir. Ancak, yüksek sönümlü bu tür doğal kauçuk izolatörlerin (Şekil 2.4 ve 2.5), sık sık etkiyen rüzgâr yüklerine karşı yeterli rijitliğe sahip olmaması sistemin dezavantajlarından biridir. Bununla birlikte, bu tip sistemin sıcaklığa dayanıksız olması da yaygın kullanımını azaltmıştır. Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin orta bölgesinde kurşun çekirdek olan türler de var. Böyle bir özelliğin bulunması ile bu sistem iki olumlu özelliği bir araya toplanmıştır olur. Bu durumda eşdeğer viskoz sönüm %21~31 değerlere kadar çıkar.

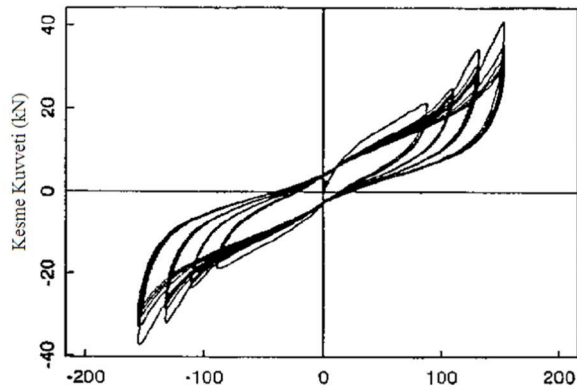


Şekil 2.4 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör (Urgu, 2006)

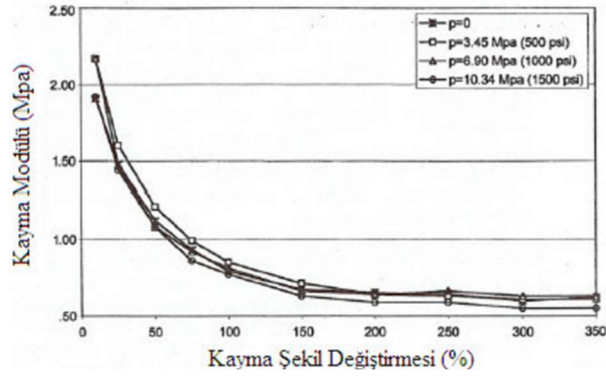


Şekil 2.5 Yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatör detayı (Keskin, 2005)

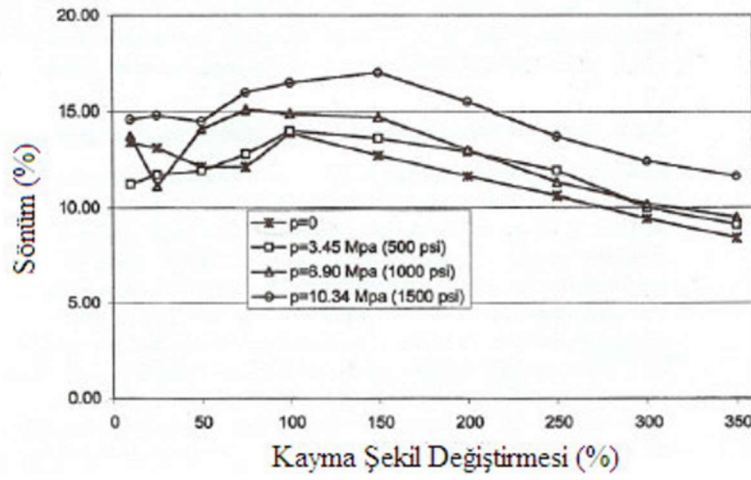
Bu sistemde, malzeme kayma şekil değiştirmeleri % 21'den az olursa lineer olmayan davranış ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte; düşük seviyede deprem yüklemesi ve rüzgâr yükü altındaki davranışının minimize edilmesi amacıyla, daha yüksek rijitlik ve daha yüksek sönüm özelliği kazandırılabilir. % 21 ila % 121 arasındaki kayma şekil değiştirme oranlarının dışında, kayma modülü düşük ve sabit kalmaktadır. Büyük deplasmanlarda, şekil değiştirme kristalizasyonuna bağlı olarak kayma modülü artar. Aynı zamanda enerji sönümlemeye de bir artış meydana gelmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.6, 2.7 ve Şekil 2.8'de yüksek sönümlü doğal kauçuk sistemlerinin sırasıyla histerik eğrisi, kayma modülü-kayma şekil değiştirme ve sönüm- kayma şekil değiştirme davranışları gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin tipik histerik eğrisi



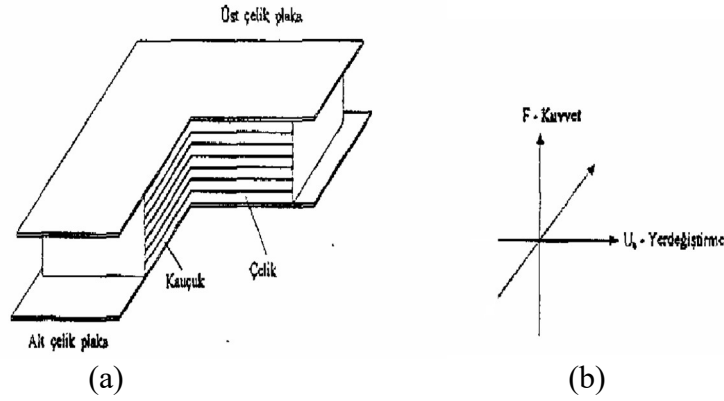
Şekil 2.7 Kayma modülü-kayma şekil değiştirme eğrisi (Urgu, 2006)



Şekil 2.8 Sönüm-Kayma şekil değiştirmesi. (Keskin, 2005)

2.3.1.3 Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler (LDRB)

Bu izolatörlerde doğal veya yapay kauçuk kullanılır. Bu izolatörler, kalınlığı 9mm ~ 21mm arasında ince kauçuk levhalarla, kalınlığı 3mm ~ 4mm arasında değişen ince çelik levhaların üst üste konulması ile oluşturulur. Kayma durumunda malzeme davranışı, %100–250 oranında kayma şekil değiştirmesinde lineer davranış gösterir. Düzenekte, Şekil 2.9’da gösterildiği gibi, kalın çelikten iki uç levhası ve aynı zamanda bu levhaların arasında bir sürü ince çelikten ara saç levhaları bulunur.



Şekil 2.9 Düşük sönümlü doğal kauçuk izolatör sisteminin; a) kesiti ve elemanları, (b) kuvvet-yer değiştirme davranışı

Kauçuk malzeme, bir kalıbın ortasında uygulanan yüksek sıcaklık ve basınç altında vulkanize edilmiş ve sonrasında çeliğe bağlanmıştır. Çelik ara saçların görevi, kauçuğun yandan şişmesini ve kauçuğun yanal deformasyonu engellemek ve aynı zamanda yüksek bir düşey rijittik vermektir. Çelik ara saçların yatay rijittik etkisi bulunmamaktadır. Yatay rijittik, kauçuk tabakaların kalınlığı ve sayısı ile doğru orantılıdır. Genel olarak istenen rijittik tabaka kalınlığı sabit tutup, kauçuk tabaka sayısının değiştirilmesi ile elde edilir. Bu sistemin kritik sönüm oranı % 2-3 arasında değişir. İzolatörlerin yüksekliğinin artması sonucu olarak mekanizmada burkulmaya neden olduğundan yükseklik çapın yarısıyla sınırlandırılmaktadır. Genelde, İzolatör çapının 1 m veya fazla ve taşıma gücünün 500 ton gibi değer alınması kabul edilir. Sistem düşey doğrultuda rijit davranır. Bu sistemlerde düşey yükleme altında 1mm~3mm gibi düşey kısalma söz konusudur. Düşey rijitlikleri, yatay rijitliklerinin bir kaç yüz kat fazladır. Yatay bir deplasman sırasında, ortaya çıkan büyük şekil değiştirmeden ötürü taşıyabileceği düşey yük azalmaktadır. Bu olay depremlerin aktif olduğu bölgelerde bu tür yalıtımların kullanımını kısıtlar. Düşük sönümlü taban izolatörlerin yer değiştirmesi doğrusaldır. Şekil 2.9 b' de düşük sönümlü taban izolatörün kuvvet-yer değiştirme grafiği görülmektedir. (Keskin, 2005).

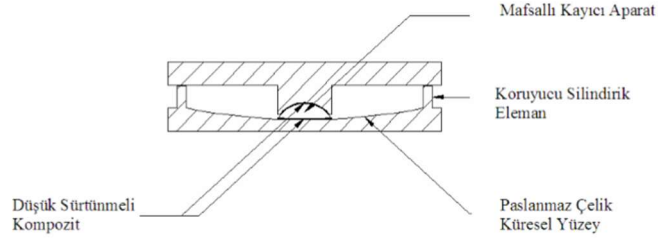
2.3.2 Kayma Esaslı İzolatör Sistemleri

Kayma esasına dayalı bu sistem en eski ve basit sismik izolatör sistemidir. 1909 yılında Johannes Avetican Calantarients isimli bir tip doktoru tarafından İngiltere’de icat edilmişti.(Kelly, 1981).

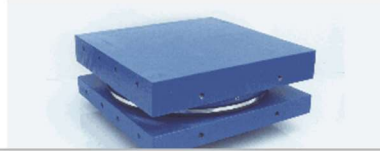
Kayma esaslı izolatör sistemler için bir kaç malzeme seçeneği vardır. Bunlardan en çok kullanılanı paslanmaz çeliktir. Bu çeliğin üzerinde doldurulmamış ya da doldurulmuş “politetrafloraetilen”dir (PTFE veya Teflon) bulunur. Kayma esaslı izolatör sistemin sürtünme özellikleri sıcaklığa, ara yüzey kayma hızına, aşınma derecesine ve yüzeyin temizlik durumuna bağlıdır. (Urgu, 2006).

2.3.2.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler (FPS)

Sürtünmeli sarkaç sistem, yapıların sismik yalıtım dayanımını arttırmak amacı ile Zayas ve diğer araştırmacılar (1987) tarafından geliştirilmiştir. FPS bir kayma deplasmanı ve ileri geri gidiş şeklini birleştiren sürtünmeli bir sismik izolasyon teknolojisidir. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de sunulan FPS izolatörü, paslanmayan çelikten yapılan küresel yüzey üzerinde kayan, mafsallı kayıcı bir materyale sahiptir. Mafsallı kayıcının küresel yüzeyle temasta bulunan bölümü düşük sürtünmeli kompozit malzeme ile örtülmüştür. Kayıcı mafsallın diğer yüzü de küresel, paslanmaz çelik ile kaplı ve aynı zamanda düşük sürtünme özelliği bulunan kompozit bir malzeme ile kaplanmış küresel bir oyuk içine oturmuştur. Kayıcı; küresel yüzey üzerinde hareket ettiğinde, taşınan yükün artmasına yol açar ve sisteme geri dönüş kuvveti sağlar. Bu sistemde enerji tüketimi, mafsallı kayıcı ve küresel yüzey arasında oluşan sürtünme ile olur.



Şekil 2.9 Sürtünmeli sarkaç sistemi detayı



Şekil 2.10 Sürtünmeli sarkaç sisteme bir örnek (Earthquake Protection Systems Inc., b.t.)



Şekil 2.11 Sürtünmeli sarkaç mesnet detayı, Atatürk hava limanının çatısı. (Earthquake Protection Systems Inc.b.t.)

FPS'lerin davranış biçimi normal bir sarkaç davranışının temel prensiplerine benzer. Sistemin period değeri iç bükey yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlı olup, kütleden bağımsızdır. Mesnedin iç bükey yüzeyi üst kısmında ya da altta bulunabilir. Her ikisi de aynı davranış biçimini gösterir. Sistemin çatılarda ya da köprülerde kullanılması durumunda küresel yüzeyin üst tarafta olması tercih edilir. FPS sistemlerin diğer bir özelliği; yatay rijitliklerinin taşınan yapı ağırlığı ile orantılı olmasıdır. Bu sebepten ötürü binanın ağırlık merkezi ile mesnetlerin rijitlik merkezi birbiri ile çakışır ve sonuç olarak asimetrik yapılarda burulma momentleri çok düşük olur (Zayas ve diğer, 1987).

Türkiye’de sürtünmeli sarkaç ile inşa edilen yapılardan örnek verirse İstanbul Atatürk Hava Limanı Terminali bu yapılardan bir tanesidir, (Şekil 2.11). Diğer uygulama örneği ise Kocaeli Üniversitesi Uygulama Hastanesidir.

Bu sistemde, ilk noktadan ayrılma hali meydana geldiğinde, sistemde yatay deplasman yanı sıra düşey deplasman da oluştuğu için, kendisini tekrar önceki duruma getiren kuvvet ortaya çıkar. Aslında Sürtünmeli bu sarkaçlara, bu ismin verilme sebebi bu özelliğinden ve kayma yüzeyinin arasında sürtünmenin bulunmasındandır. Sistemde, depremde meydana gelen taban kesme kuvveti, mesnette ortaya çıkan sürtünme kuvveti ile sınırlı kalmaktadır. Bu kuvvet, sistemin yalıtım yüzeyinin eğrilik yarıçapına ve mesnette bulunan normal kuvvete bağlıdır. Eğrilik yarıçapı değeri yalıtım malzemenin esas parametrelerini teşkil eder. Eğrilik, içbükey ve dışbükey olarak her iki yönde de bulunabilir.

Bu tür sistemlerde rijitliğin ani olarak değişmesi özellikle sürtünme hareketinden önce ve sonara, üst yapının yüksek modlarının ortaya çıkmasına sebep olabilir. Bundan dolayı titreşime karşı korumanın çok önemli olduğu binalarda uygun değildir. Diğer bir tehlike de sürtünme katsayısının sıcaklıkla ve zamanla değişmesidir. Bu durum, düşük taban kesme kuvvetine göre tasarlanmış yapılarda bazen taban kesme kuvvetinin büyüyerek ve sürtünme katsayısının küçülerek, hasar meydana gelmesine neden olur.

Bu tür sistemde hareket; μW sürtünme kuvvetinin yeni değer alması ile başlar ve W / R öteleme rijitliği ile devam eder.

Burada;

μ : sürtünme katsayısı,

W: mesnet üzerindeki düşey yük ve

R: eğrilik yarıçapı.

Üst yapının rijit olması durumunda sistemin titreşim periyodu; sadece yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır ve denklem 2.1’de gösterilmiştir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (2.1)$$

şeklinde olur. (Keskin, 2005)

Denklem 2.1’ de görüldüğü gibi titreşim periyodu, kütleden bağımsızdır. Ancak, yüzey eğrilik yarıçapına bağlıdır. Böylelikle izolasyonlu sistemin periyodu sadece bir parametreye bağlıdır. İzolatörlerin sürtünme kuvveti aşıldığı durumlarda, izolasyon periyodu aktif hale gelir. Kayma hareketi başlayınca aktif durumda olan sürtünme kuvveti, izolatör malzemesinin tercihi ile kontrol edilebilir.

Sarkaç tipi izolatör sistemlerle mesnetlenen yapı, deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetinden az olduğu sürece, titreşimin izolasyonsuz periyoduna denk gelen bir tepki gösterecektir. Bu sistemin önemli parametrelerden iki tanesi, geometrisi ve taşıdıkları ağırlıktır. Bunun nedeni ise; sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin genel prensiplerine dayanmasıdır. Sürtünmeli sarkaç tipteki izolatör ile korunan yapı, depreme karşı düşük genlikli sarkaç hareketine karşı gelmektedir.

2.4 İzolatör Sistemlerin Tasarım Parametreleri

Bir sismik izolasyon sistemi projelendirilirken ilk aşamada ön tasarımı yapılır. Bu noktada daha önceden projelendirilmiş izolatörlerden ya da üretici firmaların vermiş olduğu izolatörlerin tasarım parametrelerinden faydalananarak sistemin maksimum yer değiştirmesi, farklı kontrol büyüklüklerinin maksimum değerleri, örneğin; kayma şekil değiştirmesi, yapının taban kesme kuvveti, izolatörlerin kararlılığı, stabilitesi ve izolatörlerde oluşabilecek çekme kuvvetlerinin analizleri yapılır. Bu tasarım aşamasından sonra boyutları belirlenen izolatörlerin örnekleri imal edilir ve bu imal edilmiş olan izolatörler yönetmeliklere uygun bir test programına tabi tutulur. Test sonuçları elde edildikten sonra buna bağlı olarak ön tasarımın değiştirilip, değiştirilmeyeceğine karar verilir.

Türkiye’de ve diğer ülkelerde olmak üzere temel izolatör sistemlerinden en çok kullanılanı, kauçuk ve çelik tabakalardan oluşan izolatörlerdir. Bu izolatörler yapının temel seviyesine konulur ve deprem yer hareketi sırasında temelden üst yapıya

aktarılan dinamik etki azaltılır. İzolatörlerin bu bahsedilen amaca göre çalışması için bazı özelliklere sahip olması şarttır. Bu Kısımında izolatörlerin ön tasarımı için gerekli olan önemli mekanik özellikleri ve kullanılan hesap parametreleri incelenecektir. Türkiye’de bir çok projede kullanılmış olan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin ve sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin tasarım özellikleri aşağıdaki verilmiştir.

2.4.1 Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerin Parametreleri

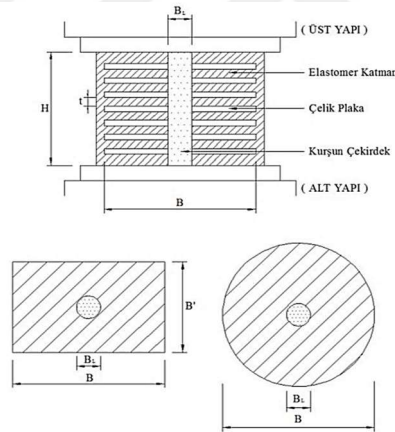
Şekil 2.12’de gösterilmiş olan kurşun çekirdekli izolatörün parametreleri,

H: Dairesel yalıtım biriminin toplam yüksekliği

B_L : Dairesel kurşun çekirdek çapı

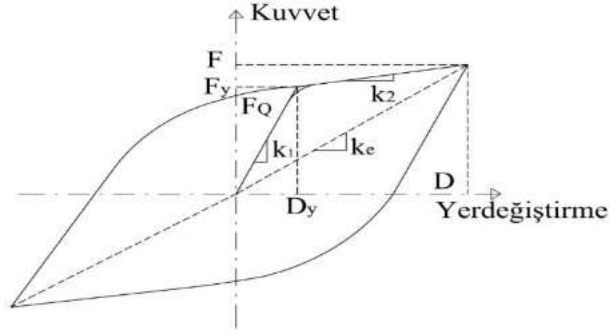
B: Dairesel çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı

t: Elastomer tabaka kalınlığı



2.12 Şekil kurşun çekirdekli izolatörün detayı (TBDY 2018)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör için kabul edilen kuvvet-yer değiştirme eğrisi Şekil 2.13’te verilmiştir.



Şekil 2.13 Kuvvet-yer değiştirme eğrisi

Burada,

F_Q = Karakteristik dayanım,

k_1 = Elastik rijitlik,

k_2 = Elastik ötesi rijitlik,

k_e = D yer değiştirmesi için eşdeğer rijitlik,

D = izolatörün yer değiştirmesi

F_y = Etkin akma kuvveti (dayanımı)

D_y = Etkin akma yer değiştirmesidir.

İzolator biriminin eşdeğer rijitliği (k_e); yükleme döngüsü için uygulanan yatay kuvvetin (F), bu kuvvete karşılık gelen yatay yer değiştirme (D) değerine bölünerek elde edilir.

$$k_e = \frac{F}{D} \quad (2.2)$$

2.4.1.1 Deneylerde kullanılan İzolatör Dayanım ve Rijittik Parametrelerinin Alt ve Üst Sınır Öneri Değerleri.

18.3.2018 tarihinde Resmi Gazete Yayınlanan ve 1.1.2019 tarihinde yürürlüğe girecek olan Türkiye Bina Deprem yönetmeliği (TBDY, 2019)' den alınan, "Elastomer Yalıtım Birimleri Dayanım ve Rijittik Parametreleri Alt ve Üst Sınır Öneri Değerleri" Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Elastomer Yalıtım Birimleri Dayanım ve rijittik Parametreleri Alt ve Üst Sınır Öneri Değerleri (TBDY)

	Tip	F_Q		k_2	
		<i>alt</i>	<i>üst</i>	<i>alt</i>	<i>üst</i>
$\lambda_{\text{æ}}$	KÇE	1,00	1,10	1,00	1,30
	YSE	1,00	1,30	1,00	1,40
λ_{deney}	KÇE	0,70	1,30	0,90	1,30
	YSE	0,70	1,30	0,90	1,30
λ_{spek}	KÇE	0,85	1,15	0,85	1,15
	YSE	0,85	1,15	0,85	1,15

KÇE kurşun çekirdekli elastomer tipi yalıtım birimini, YSE ise yüksek sönümlü elastomer tipi yalıtım birimini göstermektedir.

Burada;

F_Q : Kurşun çekirdekli kauçuk tipi izolatör birimin karakteristik dayanımı,

k_2 : Kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım izolatör birimin elastik ötesi rijitliği.

$\lambda_{\text{æ}}$: Çevresel ve yaşlanma etkileri,

λ_{deney} : Yükleme hızı ve ısınma gibi çevrimsel etkiler,

λ_{spek} : Üretimdeki değişkenliklerden dolayı kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir.

Eşdeğer Sönüm Oranı β_e , bir yükleme döngü sırasında kullanılan enerjinin (W), $2\pi FD$ ye bölünmesinden elde edilecektir. Buna göre β_e ;

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{W}{FD} \right) \quad (2.3)$$

ifadesinden hesaplanacaktır. Burada;

F= yukarıda anlatılan D yer değiştirmesine denk gelen yatay kuvvet,

Kurşun çekirdekli elastomer izolatör biriminin karakteristik dayanımı F_Q ise, Denk.(2.4) ile hesaplanacaktır.

$$F_Q = F_Y = A_p \tau_{yp} \quad (2.4)$$

Burada;

τ_{yp} : Kurşun çeliğin kayma akma gerilmesi,

A_p : Kurşun çekirdekli yalıtım sisteminde kurşun çekirdeğin alanı, dır.

Kurşun çekirdekli yalıtım biriminin elastik rijitliği, kurşun çekirdeğin elastik ötesi rijitliği kullanılarak hesaplanacaktır. Elastik ötesi rijitlik K_2 aşağıdaki bağıntı ile elde edilir.

$$K_2 = G_v (A_r/T_r) \quad (2.5)$$

Burada:

G_v = Elastomer malzemenin kayma modülü,

A_r = Dairesel tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış yüke maruz yüzey alanı,

T_r = Dairesel Toplam elastomer kalınlığı,

$A_r = \frac{\pi}{4}(B^2 - B_L^2)$ olup

B ve B_L ; sırasıyla Dairesel kurşun çekirdek çapı ve Dairesel çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı olarak tanımlanmıştır.

2.4.1.2 Şekil Katsayısı (S) Hesabı

Elastomer yalıtım birimlerinin Şekil Katsayısı (S), her bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış (yüke maruz) yüzey alanının (A_r), elastomer katmanı kenar yüzeyi alanına (A_L) bölünerek bulunur.

$$S = A_r/A_L \quad (2,6)$$

Dairesel kesitlilerde;

$$S = (B^2 - B_L^2)/4.B.t \quad (2.7)$$

Burada,

B = Çelik plaka ile yapışmış elastomer levha çapı,

B_L = Kurşun çekirdek çapı,

t = Elastomer taban kalınlığı

dır.

Düşey rijitliğin k_v hesabı ise;

$$K_v = E_v A_r / T_r \quad (2.8)$$

E_v ; düşey rijitlik modülü olup aşağıdaki bağıntı ile elde edilir:

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} \quad (2.9)$$

K ; kauçuk malzemenin hacim modülü olup 2000 MPa değerinde kabul edilir.

E_c ; izolatör biriminin basınç modülüdür ve Denk.2.10 ile elde edilir.

$$E_c = E_0 (1 + 2.K.S^2) \quad (2.10)$$

Burada,

K ; kauçuk malzemenin hacim modülü olup, bu çalışmada 0.60 alınacaktır.

E_0 , kauçuk malzemenin esneklik modülü olup değeri;

$$E_0 = 4G_v \quad (2.11)$$

şeklindedir.

Burada,

G_v ; Elastomer malzemenin kayma modülüdür.

2.4.1.3 Şekil Değiştirme Sınırları

Sismik Elastomer yalıtım sistemlerin deprem, sabit yükler ve hareketli yük gibi çeşitli yükler altında oluşacak deplasman ve şekil değiştirmeler ve kararlılık durumları aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

İsıl genleşme, rüzgar vb etkilerden dolayı oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısal şekildeğiştirme aşağıda verilmiştir.

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_k1}{A_r E_c} \quad (2.12)$$

Burada;

S : şekil katsayısı

P_{k1} : düşey kuvvet

A_r : tek bir elastomer tabakanın çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı,.

E_c :basınç modülüdür.

$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta_s}{T} \quad (2.13)$$

Burada:

Δ_s :yatay yüklerden meydana gelen yatay yer değiştirme miktarı

T_r : elastomer katmanlarının toplam kalınlıdır

Üst ve alt plakaları arasındaki görelı dönmeden dolayı birim şekil değıştirme:

$$\gamma_{r,st} = \frac{B2\theta_s}{2tT} \quad (2.14)$$

Yukarıdaki parametrelerin tanımları aşağıdaki gibidir:

B: çelik plakaya yapışmış elastomer çapı

t: elastomer katman kalınlığını

T: toplam elastomer kalınlığı

Şekil Deprem dışındaki etkilerden dolayı yer değıştirmeden meydana gelen açısıl şekil değıştirme

$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta_s}{T} \quad (2.15)$$

Deprem yer hareketi altında basınçtan dolayı oluşan birim şekil değıştirme;

$$\gamma_{c,E} = \frac{6SP_k2}{ArEc} \quad (2.16)$$

Burada,

P_{K2} , Denk.(14.2)'de verilen yük birleşimi ile hesaplanan düşey kuvvettir. Yatay yer değıştirmeden oluşan birim şekil değıştirme aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$\gamma_{c,E} = \frac{D}{T_r} \quad (2.17)$$

D, yatay yer değıştirmedir

Birim şekil değıştirmeler aşağıdaki koşulları karşılamalı

Deprem yükü hariç Düşey yüklerden dolayı izolatörün şekil değıştirme sınırları:

$$\gamma_{c,st} \leq 3,5 \quad (2.18)$$

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5,0 \quad (2.19)$$

Elastomer ara yüzünde yatay yer değıştirmeden ve dönmeden dolayı toplam birim şekil değıştirme sınırları denklem 2.20'de gösterilmiştir.

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + \gamma_{r,st} \leq 6,0 \quad (2.20)$$

$$\gamma_{s,E} \leq 2,0 \quad (2.21)$$

olmalıdır.

2.4.1.3 İzolatörlerin Düşey Kararlılığı

Yatay yer değiştirme olmadığı durumlarda elastomerin yalıtım birimlerinin burkulma yükü (P_{cr}) dairesel kesitli, kurşun çekirdek içermeyen yalıtım birimleri için Denklem 2.21,de kare kesitli, kurşun çekirdek içermeyen yalıtım birimleri için Denklem 2.22,de kurşun çekirdekli yalıtım birimleri için ise Denklem 2.23'de ile hesaplanacaktır. (TBDY, 2019).

$$P_{cr}=0,218GvB_4/(tTr) \quad (2.22)$$

$$P_{cr}=0,34GvB_4/tTr \quad (2.23)$$

$$P_{cr}=(0,218Gv_4)/tT*\frac{(1-\frac{Bl}{B})(1-\frac{Bl}{B_2})}{1+\frac{Bl_2}{B_2}} \quad (2.24)$$

G_v elastomer malzemenin kayma modülünü, BL ise kurşun çekirdek çapı olarak tanımlanır.

Deprem yer hareketi etkisi altında burkulma yükü P'_{cr} aşağıda ile verilmiştir.

$$P'_{cr}=P_{cr}(A_{re}/A) \quad (2.25)$$

Birim şekil değiştirmeye bağlı eksenel yük aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

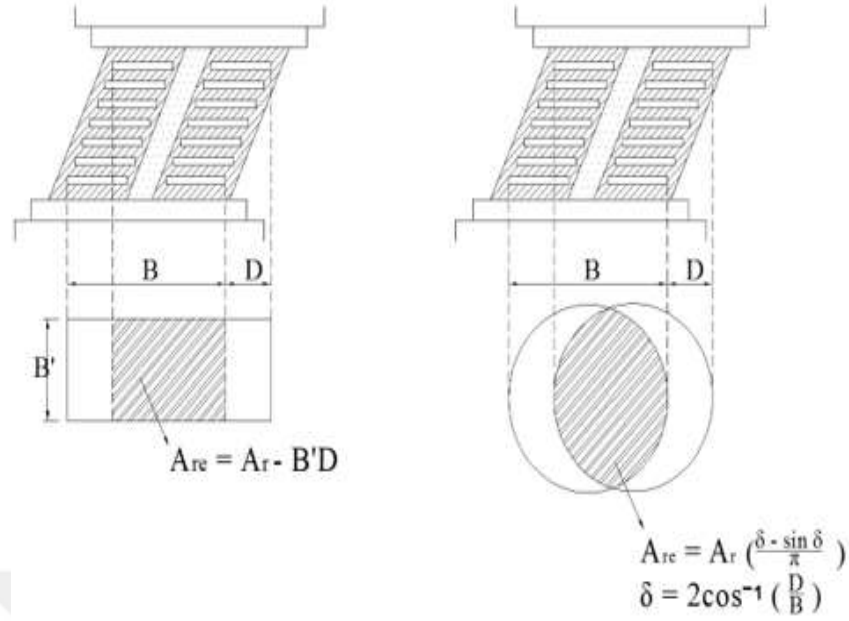
$$P_{tr}= 3,5*A_{re}*E_c/6S \quad (2.26)$$

Yatay yerdeğiştirme olmadığı zamanlarda burkulma yükü sınırı (2.26) bağıntısı ile elde edilir.

$$\text{Min}(P_{cr},P_{str})/P_{k1} \geq 2,0 \quad (2.27)$$

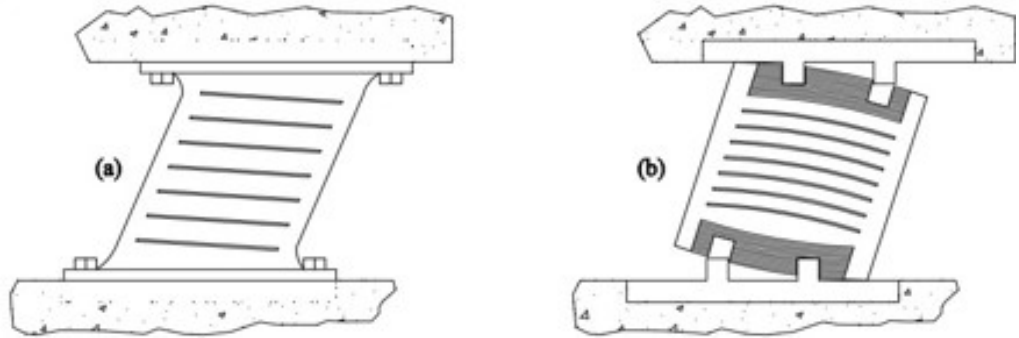
En büyük deprem hareketi düzeyinde oluşan yatay yer değiştirme sırasında burkulma yükü sınırı aşağıda verilmiştir.

$$P'_{cr},P_{str}/P_{k2} \geq 1,33 \quad (2.28)$$



Şekil 2.14 Elastomer yalıtım birimlerinin detayları (TBDY, 2018)

Elastomer yalıtım birimlerinin üst ve alt yapı bağlantıları için aşağıdaki şekildeki standart bulonlu (cıvatalı) bağlantı kullanılması durumunda yuvarlanma kararlılığının sağlanmasına gerek yoktur.



Şekil 2.15 Elastomer yalıtım birimlerinin yuvarlanma şekilleri (TBDY, 2018)

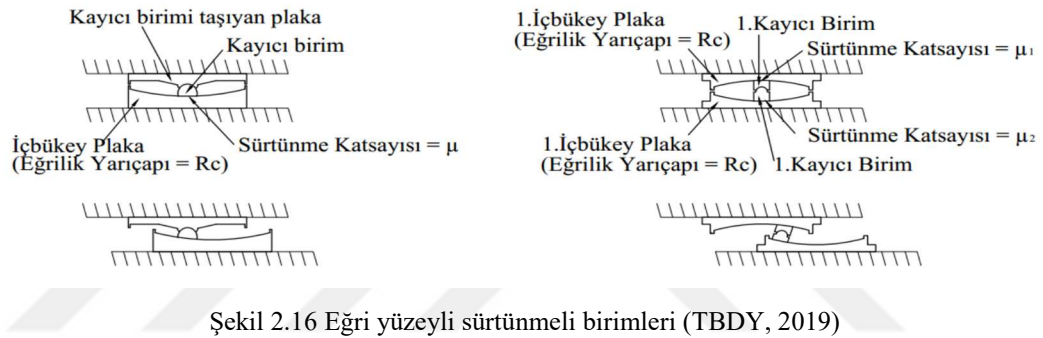
Yalıtım birimleri ile üst ve altyapı bağlantılarının çekmeye maruz kalmadığı (Şekil 2.16) ve yatay yüklerin kayması ile karşılandığı durumlarda yuvarlanma kararlılığının sağlanması aşağıdaki denklemle kontrol edilir.

$$D_m \leq \left(\frac{(2/3)Pk_3}{k_e * H + Pk_3} \right) \quad (2.29)$$

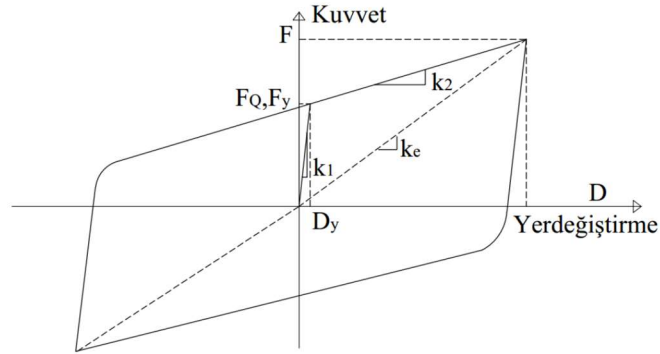
Bu kuvvetin hesaplanması için deprem yükü E_d 'nin belirlenmesinde düşey deprem etkisi de göz önüne bulunur. Yalıtım biriminin en büyük deprem yer hareketi altında yatay yer değiştirmesi D_M , eşdeğer doğrusal yatay rijitliği ise k_e ile gösterilmiştir. H yalıtım birimin toplam yüksekliğini, P_{K3} ise düşey kuvveti ifade etmektedir.

2.4.2 Sürtünmeli Yalıtım Birimlerinin Temel Özellikleri

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri, içinde bir kayıcı elemanın yer aldığı, bir veya daha çok yüzeyli iç bükey çelik elemanlardan oluşur. (Şekil 2.17). Bu tip yalıtım birimlerinin basitleştirilmiş kuvvet-yer değiştirme eğrisi (yükleme döngüsü) Şekil 2.18'de gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Eğri yüzeyli sürtünmeli birimleri (TBDY, 2019)



Şekil 2.17 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin basitleştirilmiş Kuvvet-Yer değiştirme Eğrisi (TBDY, 2018)

Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için Alt ve Üst Sınır Öneri değerleri Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.2 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için Alt ve Üst Sınır Öneri (TBDY, 2018)

	μ	
	<i>alt</i>	<i>üst</i>
$\lambda_{\text{æ}}$	1,00	1,20
λ_{deney}	0,70	1,30
λ_{spek}	0,85	1,15

Burada μ eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi etkin sürtünme katsayısını belirtmektedir. $\lambda_{\text{æ}}$ yaşlanma ve çevresel etkiler, λ_{deney} yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler ve λ_{spek} üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir.

Şekil 2.17'deki Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimi ve Basitleştirilmiş Kuvvet-Yer değiştirme eğrisindeki parametrelerin anlamları sıradaki sayfada verilmiştir.

$F_Q = F_y$ = Karakteristik dayanım veya akma dayanımı,

k_1 = Elastik rijitliği,

k_2 = Elastik ötesi veya İkincil rijitlik,

k_e = D yer değiştirmesine karşı gelen eşdeğer rijitlik,

F = D yer değiştirmesine karşı gelen kuvvet,

D_y = Etkin akma yer değiştirmesidir.

Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı Denklem 2.30'da belirtildiği gibi (sıfır yer değiştirmedeki) etkin sürtünme katsayısı μ_e ile yalıtım birimi üzerine etkiyen düşey kuvvetin (P) çarpımına eşittir.

$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad (2.30)$$

Başlangıç rijitliği, hesaplarda çok yüksek bir değer olan sanal bir rijitliktir. İkincil rijitlik Denklem 2.30'da belirtildiği gibi düşey kuvvetin (P) eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi kayma yüzeylerinin etkin eğrilik yarıçapına (R_c) bölünmesi ile belirlenecektir.

$$K = P/R_c \quad (2.31)$$

Verilen bir yükleme döngüsündeki eşdeğer rijitlik (k_e); Denklem 2.31’de belirtildiği gibi söz konusu döngüde uygulanan maksimum yatay kuvvetin (F), ulaşılan maksimum yatay yerdeğiştirmeye (D) bölünmesi ile elde edilecektir.

$$K_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{Rc} = \frac{\mu_e}{D} P \quad (2.32)$$

Eşdeğer sönüm oranı β ; Denklem 2.32’de belirtildiği gibi bir yer değiştirme döngüsünde tüketilen enerjinin (W_d), $2\pi FD$ değerine bölünmesi ile elde edilecektir. (TBDY, 2019).

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{W}{FD} \right) = \frac{2}{\pi} \left(\frac{\mu_e}{\mu_e + D/R} \right) \quad (2.33)$$

BÖLÜM ÜÇ

SAYISAL UYGULAMALAR

3.1 Giriş

Bu bölümde, örnek olarak seçilen 7 katlı bir hastane binasının ankastre mesnetli ve sismik izolatörlü durumlar için tepki spektrumu ve zaman tanım analiz yöntemleri ile sayısal analizleri yapılmıştır. İncelenen örnek binanın konumu olarak İzmir İli, Bornova ilçesi seçilmiştir.

Çalışmada, sismik izolatörün bina davranışına olan etkisini belirlemek üzere bina, ilk olarak ankastre mesnetli daha sonra sismik izolatörlü olarak modellenmiştir. Sayısal analizde yapısal analiz programı olarak Sap2000 v19.0.0 kullanılmıştır. Bina yapısal analizlerinde ve deprem izolatörü modellenmesinde, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) esas alınmıştır.

3.2 Uygulamada İncelenen Binanın Özellikleri

Tez kapsamında incelenen hastane binası; bodrumsuz, toplam 7 katlı, x yönünde 5, y yönünde 3 açıklıklı çerçeve taşıyıcı sistemli betonarme bir yapıdır. Yapı modelinde kolon ve kirişler çubuk eleman, kirişli plak döşemesi ise rijit diyafram olarak modellenmiştir. Binaya ait genel özellikler Tablo 3.1, malzeme özellikleri Tablo 3.2 ve taşıyıcı sistem özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Binanın mimari kat planı, betonarme taşıyıcı sistem kat planı ve binanın Sap2000 V19.0.0 yazılımı ile oluşturulmuş üç boyutlu görünüşü sırasıyla Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir. Bina analizlerine kullanılan deprem hesap parametreleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Sismik izolasyonlu yapıda, sismik izolatörlerin üst yapı radye temeli ile alt yapı radye temeli arasında monte edildiği kabul edilmiştir.

Analizde döşemeler rijit davranış kabulü ile tasarlanmıştır. 2018 TBDY'i betonarme çerçeve binalarda davranış katsayı olarak R_8 olarak alınmıştır. Bina

kullanım sınıfı 1 olduğundan bina önem katsayısı 1,5 alınmıştır. Performans düzeyi olarak ankastre mesnetli için KK(kesintisiz kullanım), izolatörlü durum için ise SH (sınırlı Hasar) olarak. Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) 1a ve buna bağlı olarak Bina Yükseklik Sınıfı(BYS) 5 olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3.1.Yapı modelin genel özellikleri

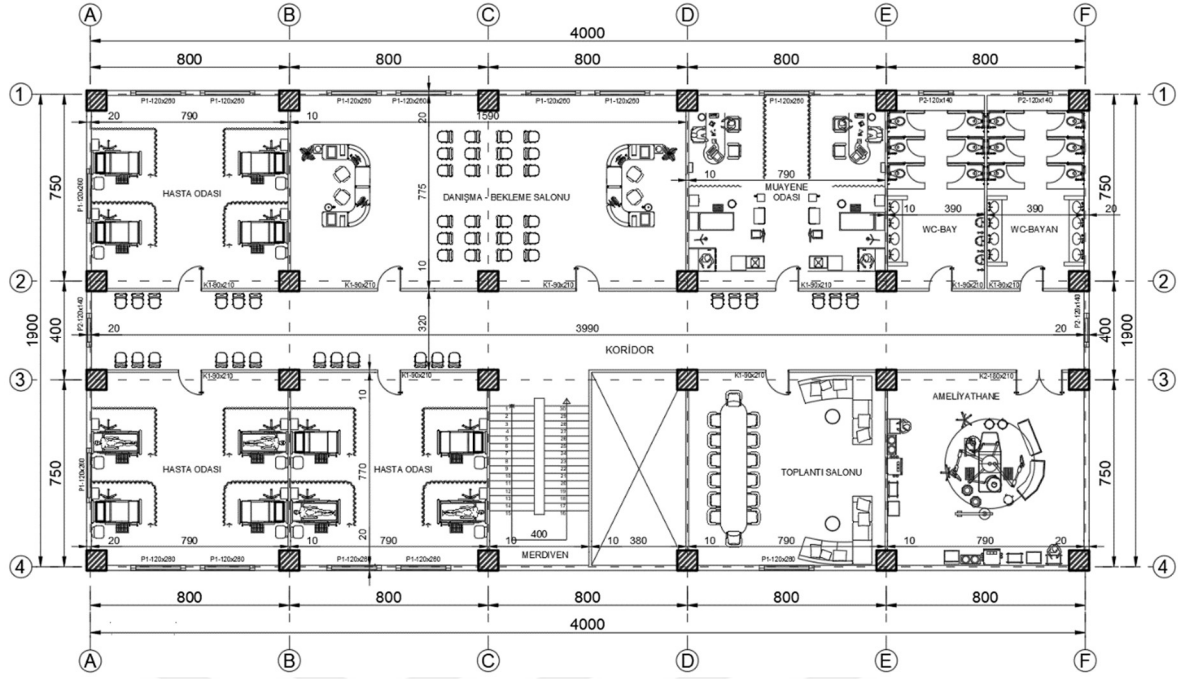
Yapı Genel Özellikleri	
Yapının kullanım amacı	Hastane
Kat adedi	7
Kat yüksekliği	3 m
Toplam kat yüksekliği	21 m
Yapı türü	Betonarme çerçeve sistemi
Yapının oturma alanı	760 m ²
Yerel zemin sınıfı	ZD

Tablo 3.2 Yapı modelin malzeme özellikleri

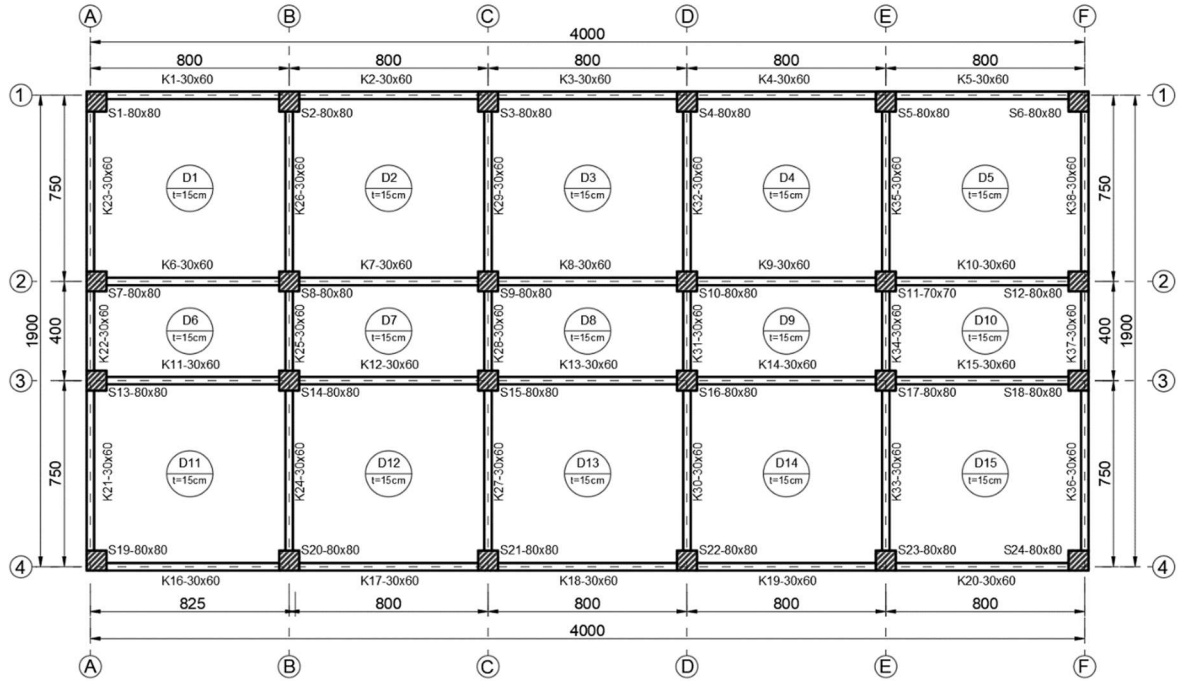
Malzeme Özellikleri	
Beton Sınıfı	C35
Çelik dayanımı	B420C kN/m
Diş duvar kalınlığı	19 cm
İç duvar kalınlığı	9 cm

Tablo 3.3 Taşıyıcı sistem özellikleri

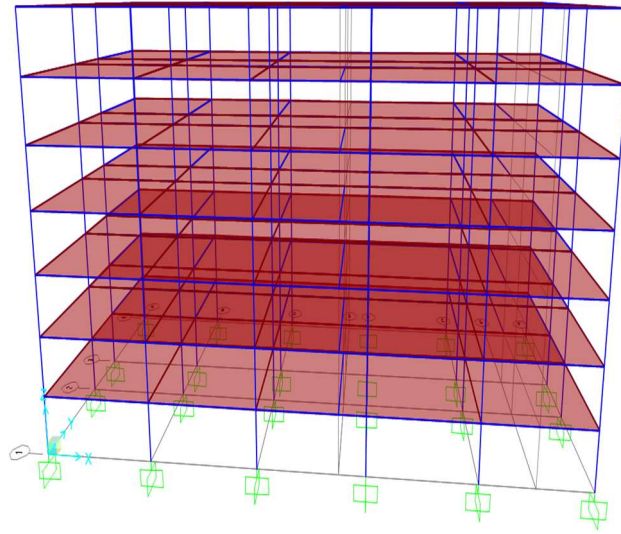
Taşıyıcı Sistem Özellikleri	
Kolon boyutu, adedi	80/80, 24
Kiriş boyutu	30/60
Döşeme tipi	Kirişli Plak
Döşeme kalınlığı	15 cm



Şekil 3.1. Bina mimari kat planı



Şekil 3.2 betonarme taşıyıcı sistem kat planı



Şekil 3.3 Üç boyutlu görünüşü

3.3. Tasarımda Kullanılan İvme Spektrumları

Tez kapsamında incelenen binanın deprem analizlerinde kullanacak yatay ve düşey tasarım deprem spektrumları 2018 Türkiye Deprem Yönetmeliği kullanılarak oluşturulmuştur. Tasarım depremi olarak; 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan DD1, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan DD2 ve 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan DD3 deprem düzeyleri için spektrumların oluşturulmasına esas kısa periyot (S_s) ve 1 sn periyodu (S_1) spektral ivme değerleri Türkiye Deprem Tehlike Haritasından (TDTH, 2018) alınmış ve Tablo 3.5’de gösterilmiştir. Kısa periyot ve 1sn periyodu spektral ivme değerlerinin belirlenirken kullanılan bina koordinatları ve zemin sınıfı bilgileri Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Kısa periyot S_s ve 1,0 sn. periyotlara S_1 , karşı gelen spektral ivme değerleri

Konum		Spektral İvme (g) - S_s			Spektral İvme (g) - S_1		
Boylam	Eylem	DD1	DD2	DD3	DD1	DD2	DD3
27,21	38,41	2,097	1,104	0,414	0,537	0,271	0,104

Tablo 3.5 spektral ivme katsayıları ve ZD zemin sınıfı göre F_s ve F_v

Konum		F_s			F_v		
Boylam	Eylem	DD1	DD2	DD3	DD1	DD2	DD3
27,21	38,41	1,000	1,058	1,469	1,763	2,058	2,392

Yukarıda anlatılan depremlerin spektral ivme katsayıları ve ZD zemin sınıfı göre F_s ve F_v tablo 3.5 gösterilmiştir.

S_s : Kısa periyoda karşı gelen spektral ivme katsayısı

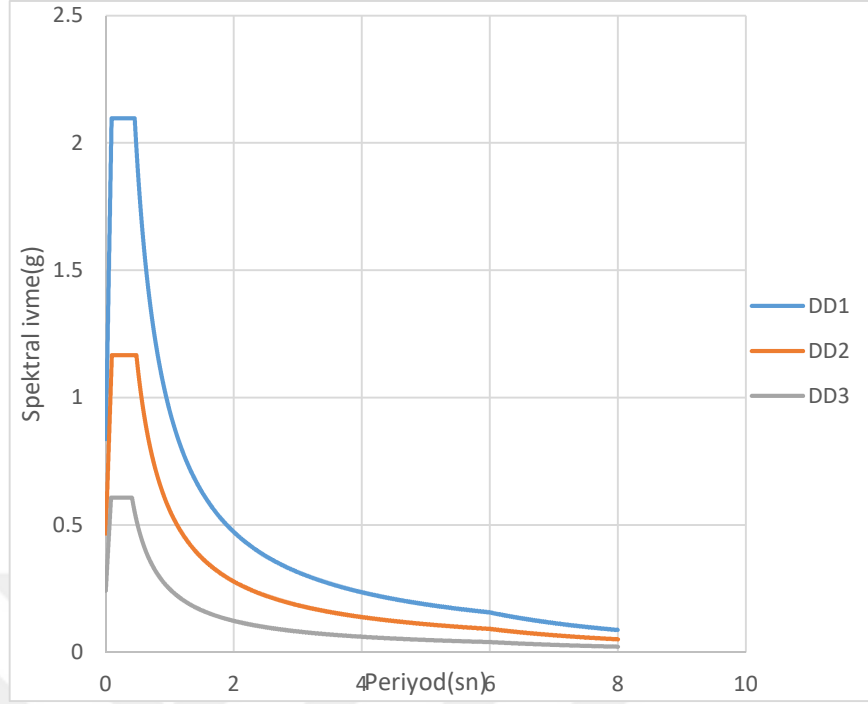
S_1 : 1.0 saniye periyoda karşı gelen spektral ivme katsayısı

Dikkatte alınan ZD yerel zemin sınıfı için Tasarım spektral ivme değerleri tablo 3.6' da açıklanmıştır. Tabloda görülen F_a ve F_v sırasıyla kısa periyod zemin katsayısı ve 1.0 saniye periyodu için zemin katsayısıdır.

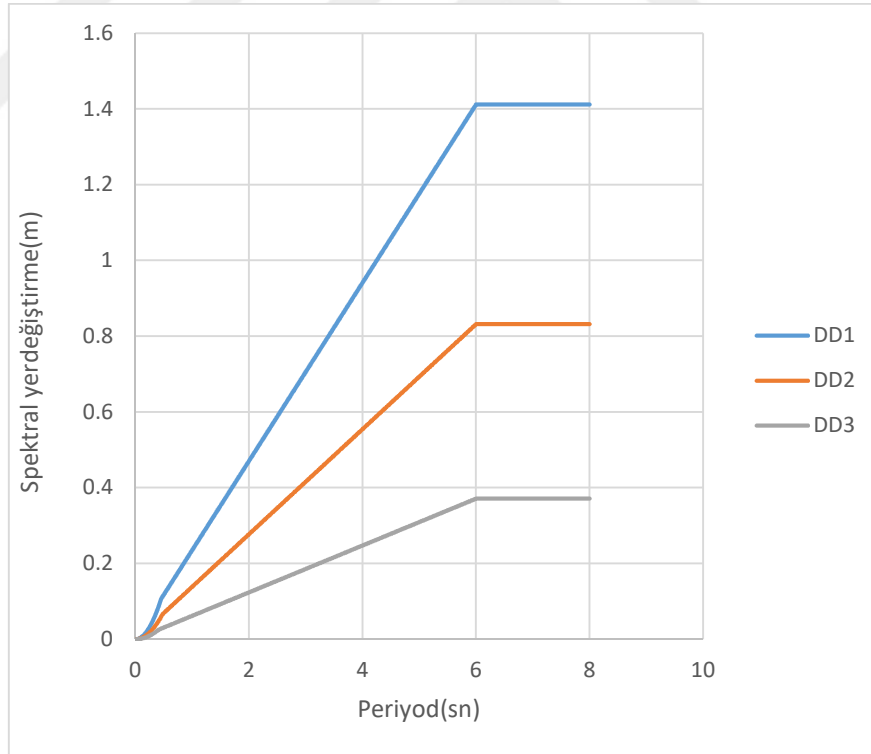
Tablo 3.6 Tasarım spektral ivme değerleri

Konum		Kısa Periyod için Spektral İvme (g) - $S_{MS}=F_a * S_{SS}$			1.0 sn Periyodu için Spektral İvme (g) - $S_{M1}=F_v * S_1$		
Boylan	Eylem	DD1	DD2	DD3	DD1	DD2	DD3
27,21	38,41	2,097	1,168	0,608	0,947	0,558	0,249

Yukarıda tanımlanan katsayıları kullanılarak elde edilen üç deprem düzeyleri çizilmiştir. Göz önünde bulundurulanan DD2 deprem düzeyi ve diğer deprem düzeylerin yatay ve düşey ivme spektrumları şekil 3.4' te verilmiştir. Yatay yer değiştirme spektrumları her 3 deprem için şekil 3.5' te verilmiştir.



Şekil 3.4 DD1, DD2 ve DD3 deprem düzeylerin ivme spektrumları



Şekil 3.5 DD1, DD2 ve DD3 deprem düzeylerin yer değiştirme spektrumları

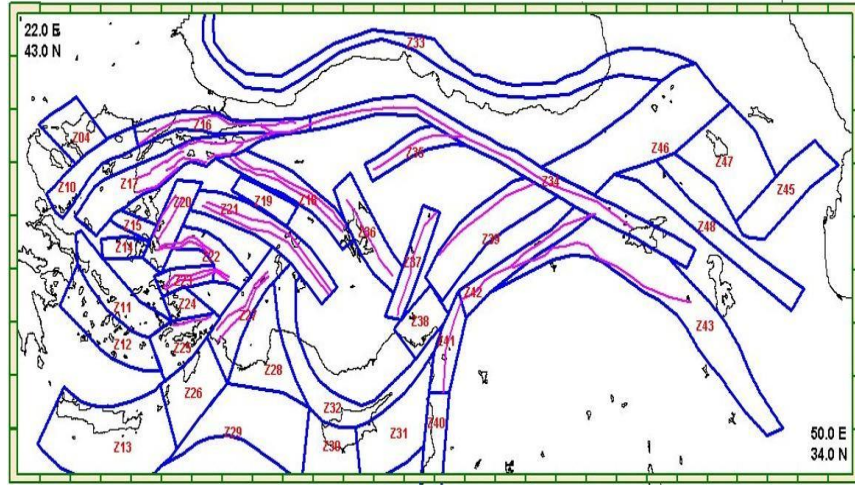
3.4 Tasarımda Kullanılan Deprem kayıtları

Bu tez kapsamında büyüklük, faylanma mekanizması ve zemin koşullarına bağlı olarak seçilen gerçek deprem kayıtları, tasarım ivme spektrumlarıyla uyumlu bir şekilde zaman tanım alanında ölçeklenmiştir. Kullanılan depremleri, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER,2015) kayıtlarından alınmıştır. Farklı kaynak bölgelerinden alınan katkı hesaba katılarak bu depremlerin özellikleri anlatılmıştır.

Analizlerde kullanılmak için seçilen 11 deprem, 1990 Manjil, 1984 Morgan Hill, 1992 Big Bear, 1992 Landers, 1999 Chi-Chi, 1999 Hector Mine, 1979 Imperial Valley, 1981 Trinidad, 1998 Tottori, 1982 Ferndale City Hall ve 1998 Amp chi depremlerine aittir. Bu depremlerin ilgili belirleyici özellikler Tablo 4.14’Te verilmiştir. Bu bölge için yapılacak deprem kaydı seçiminde, yukarıda bahsedilen metoduna uygun olarak, kaynak seçiminde, DLH (2008) tarafından verilen sismik tehlike haritaları esas alınmıştır. Türkiye genelinde kaynak bölgelendirme modeli Şekil 4.10’da verilmiştir. Bölgede bulunan kaynakların özellikleri Tablo 3.7’de verilmiştir. (Gülşah, 2017).

Tablo 3.7 Kaynak bölgelerinin özellikleri (DLH, 2008)

Kaynak Bölge Kodu	Mekanizma	$M_{min}-M_{max}$ (Büyüklik)
Z14		5,0-7,0
Z15		5,0-6,8
Z20 Dış Bölge	Sol yanal atımlı	5,0-6,6
Z20 İç Bölge		6,7-7,0
Z22 Dış Bölge	Normal	5,0-6,9
Z22 İç Bölge		7,0-7,3
Z23 Dış Bölge	Normal	5,0-6,8
Z23 İç Bölge		6,9-7,6



Şekil 3.6 Türkiye geneli kaynak bölgelendirmesi modeli (DLH, 2008)

3.4.1 Fay Hatları

Kaynak bölgelerinde yer alan fayları inceleyecek olursak;

Ege Denizi Fayları: Bu bölgede, önemli faylar olarak Karaburun Yarımadası ve Çandarlı Körfezi fayları, Sisam fayı, Sakız fayı Midilli fayı, gibi faylar bulunmaktadır. Bu fayların, Şekil 4.10'da verilen kaynak modelinde Z14 ve Z15 bölgelerinde bulunduğu söylenebilir.

Bergama-Foça Fay Zonu: RADIUS (1997) kapsamında sağlanan verilere göre, bu fay zonu Bergama kuzeyinden başlayarak Foça'ya kadar birbirine paralel KKD doğrultulu bir fay zonudur. Bu sistem özellikle Kütahya, Simav ve Gediz grabenlerinin batı uçlarını sınırlamaktadır. Güneybatıda ise bu fayın ucu İzmir körfezine kadar uzanmaktadır. Bu fay zonunun Şekil 4.10'da verilen kaynak bölgelendirme modelinde Z20 bölgesinde bulunduğu söylenebilir

Gediz Grabeni Fay Zonu: yapılan bir çalışma (Emre ve ark., 2005) kapsamında İzmir ve yakın çevresinin depremselliği ile ilgili rapora göre, batıda Manisa ve Kemalpaşa ile Gediz grabeni doğuda Sarıgöl arasında D-B genel uzanımında yaklaşık

150 km uzunluğundaki normal fay sistemine bağlı olarak şekillenmiştir. Gediz grabeni batı ucunda yer alan faylar grabenin Kemalpaşa ve Manisa kollarını oluşturur.

Tuzla Fayı: RADIUS (1997) çalışmada sağlanan verilere binaen, KD-GB uzanımlı fay Doğanbey Burn ile Cumaovası ile arasında bulunmaktadır. Buradan Ege Denizi'ne kadar uzanır. İzmir için önemli bir sismik riski oluşturan bu fay geçmişte oluşan depremlerin çoğu da bu fayda oluşmuştur.

Gümüldür Fayı: İzmir ve yakın bölgelerinde depremselliği ile ilişkin yapılan bir araştırmaya (Emre ve ark., 2005) göre oluşturulan rapora göre, İzmir'in güneybatısında Özdere ile Gümüldür beldeleri arasında uzanır. Normal fay özelliği göstermektedir.

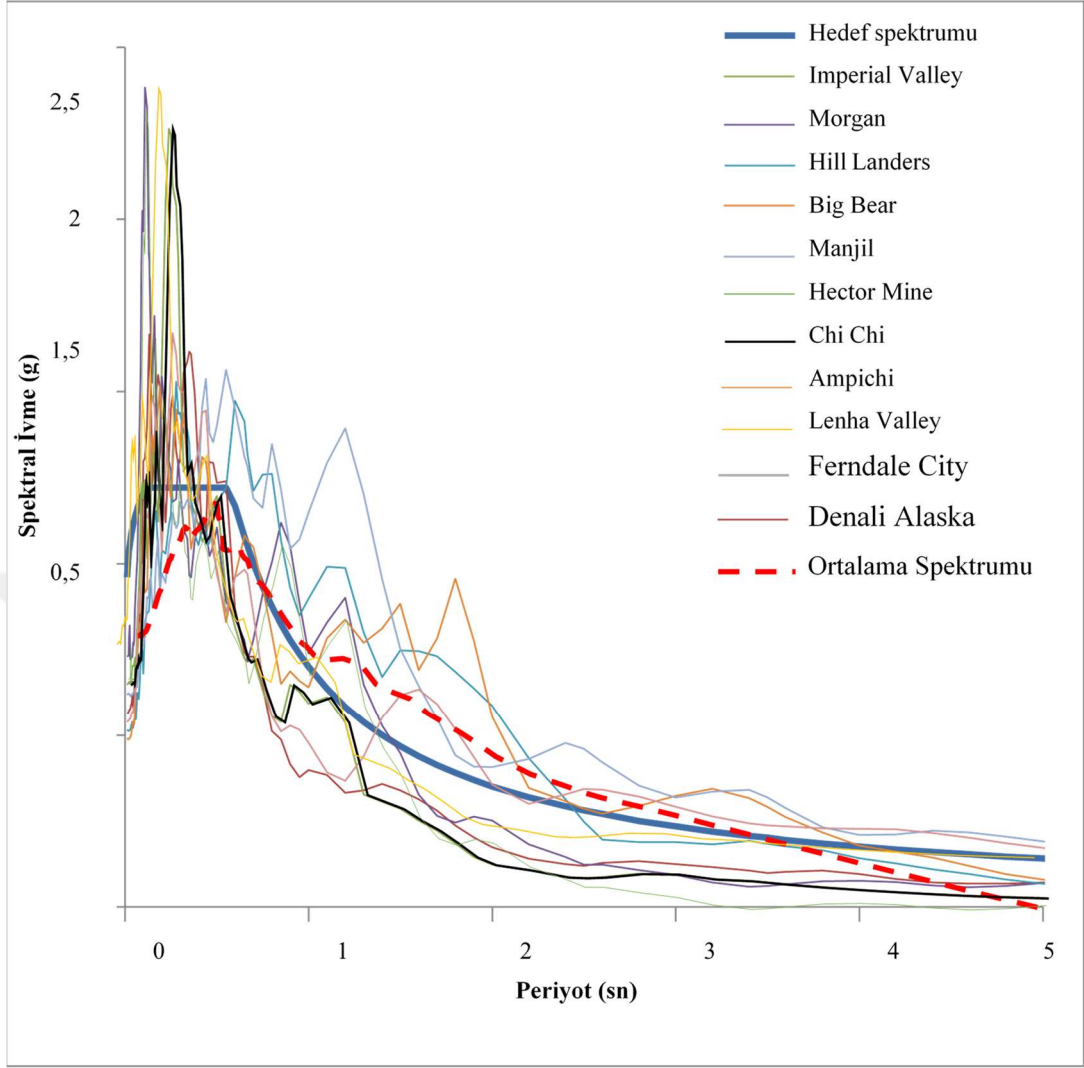
Küçük Menderes Fayı: RADIUS (1997) kapsamında yapılan çalışmaya göre, Sisam adası kuzeyinden gelen fay zonu ile birleşip Ege Denizi' ne kadar uzanmaktadır.

Bu çalışmada örnek olarak kullanılan deprem kayıtları seçerken, yukarıda verilen farklı kaynak bölgelerinden gelen katkı hesaba katılarak büyüklük ve mesafe dikkate alınmıştır. Tablo 3.8'de verilen özellikler Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER, 2016) tarafından sağlanan depremlerle ilgili belirleyici özellikler tablo verilmiştir.

Tablo 3.8 Seçilen deprem kayıtları ve bu kayıtlara ait belirleyici parametreleri

No	İstasyon	Yıl	Büyüklik (M)	Mekanizma	Mesafe (R)	V_{s30} (m/sn)
1	Imperial Valley	1979	6,53	Doğrultu atımlı	10,45	231,23
2	Manjil	1990	7,37	Doğrultu atımlı	63,96	348,69
3	Morgan Hill	1984	6,19	Doğrultu atımlı	11,53	221,78
4	Landers	1992	7,28	Doğrultu atımlı	68,66	328,09
5	Big Bear	1992	6,46	Doğrultu atımlı	34,98	296,97
6	Hector Mine	1999	7,13	Doğrultu atımlı	73,55	339,02
7	Chi-Chi	1999	6,20	Doğrultu atımlı	21,62	258,89
8	Denali Alaska	1998	6,5	Doğrultu atımlı	15,45	224,35
9	Ferndale City Hall	1982	7,5	Doğrultu atımlı	10,55	242,65
10	Lenah Valley-6	1989	7.1	Doğrultu atımlı	18,45	340.35
11	Amp chi	1998	6.5	Doğrultu atımlı	25,56	300.45

Hedef spektrum ile uyumlu olacak şekilde ölçeklenmiş deprem kayıtlarına ait spektrumlar ve ortalaması Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Hedef spektrum, seçilen deprem kayıtlarına ait spektrumlar ve ortalama spektrum

3.5 Ankastre Mesnetli Binanın Modal Analizi

Bu çalışmada deprem izolatörlerin yapıya sağladıkları avantajları incelemek için görelî kat ötelemesi, kat deplasmanları, kesme kuvvetleri ve momentleri kullanılmıştır. Bu sonuç değerleri bulmak için ise doğrusal ve doğrusal olmayan analiz çeşitleri kullanılmıştır. Bu analizler yöntemleri bu bölümün başında anlatılmıştır.

3.5.1 Modal Analizi

Tepki Spektrum yöntemi ile yapılan analizde, önce bina özellikleri programa tanımladıktan sonara model oluşturuldu. Modellerde döşemeler dijit diyafram davrandığını kabul edilerek oluşturulan ankastre mesnetli olarak dinamik çözümü gerçekleştirildi. Bu bina modeli Türkiye'nin 1.deprem bölgesinde inşaat edildiğini varsayarak bu bölgeye göre tasarım parametrelî seçilmiştir. Daha önceki bölümde anlatıldığı gibi konum olarak İzmir Bornova ilçesi seçildi ve koordinatları verilmiştir.

Yapının dinamik analiz sonucu hesaplanan doğal titreşim periyotları ve kütle katılım oranları tablo 3.9'da verilmiştir. 2018 deprem yönetmeliğinin 4.bölümün 4.8.1.2 maddesindeki “deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olamaz” kuralına göre analiz edilmiştir. Buna göre yeterli mod sayısı 45 çıkmıştır. Bu rakamı sağlayan kolon boyutları elde edilene kadar analiz tekrar edilmiştir. Analiz programın modal analiz yöntemi ile hesaplanan azaltılmış iç kuvvetleri büyütme için elle hesaplanmış eşdeğer deprem taban kesme kuvveti büyütme katsayısı γ ile çarpılmıştır. Binada düzensizlik olmamasından dolayı 2018 deprem yönetmeliğine göre denklem 3.1'den hesaplanmış ve γ yi 0.8 olarak belirlemiştir. Bu şekilde kolon boyutun 80/80 cm olduğunu tespit edilmiştir. Modal analiz sırasında yönetmeliğın sağlanmış olduğu denklem 3.2'de verilen kombinasyon kullanılmıştır. Kar yükü olmamasından denklemdeki 0.2S kısmını ihmal edilmiştir.

$$\gamma \frac{V_{te}}{V_{tx}} \geq 1 \quad (3.1)$$

V_{te} , elle hesaplanan eşdeğer deprem yükü, V_{tx} ise Mod Birleştirme yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvvetidir.

$$G + Q_e + 0.2S + E^{(H)}d + 0.3E^{(Z)}d \quad (3.2)$$

Burada:

G: sabit yük etkisi

S: kar yükü

$E^{(Z)}d$: düşey deprem etkisi

$E^{(H)}d$: yatay deprem etkisi

Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı n kullanılarak

$$Q_e = nQ \quad (3.3)$$

3.5.2 Ankastre Binanın Modal Analiz Sonuçları

Ankastre mesnetli durum için ilk yapılam modal analizin sonuçları olarak elde edilen doğal titreşim periyotları, mod ve kütle katılım oranları, kat deplasmanı, görelî kat öteleme oranları, kat kesme kuvvetleri ve kat momentleri tablo 3.9, 3.10...3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.9 Ankastre binanın x ve y yönündeki mod ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot	X Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı	Y Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı
1	1,436043	0,73027	2,806E-09
2	1,329085	0,73027	0,73677
3	1,181002	0,73027	0,7368
4	0,388216	0,86925	0,7368
5	0,367389	0,86925	0,87231
6	0,329961	0,86925	0,87232
7	0,244193	0,86925	0,87454
8	0,208675	0,86925	0,87708
9	0,207157	0,86925	0,87708
10	0,206256	0,86925	0,87708
11	0,205621	0,86925	0,87708

Tablo 3.10 Modal analizinde ankastre binanın kat deplasmanları

Kat	X(mm)	Y(mm)
7	280	258
6	247	229
5	206	193
4	159	150
3	108	103
2	58	55
1	17	17
Taban	0	0

Görelî kat ötelenmesi deprem yönetmeliğinin sınırlar içerisinde olmakla beraber tasarlanan kolon kesit boyutları ile uyumlu olduğunu görülmektedir. Görelî Kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılmasında 2018 TBDY yönetmeliğinin 4. Bölümünün 4.9.1.2 kısmında anlatılan denklem 4.34a esas alınarak sınırlandırılmıştır.

$$\lambda * \delta / h_i \leq 0.008k \quad (3.4)$$

λ Katsayısı, yönetmeliğe göre binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesi 'ne oranıdır. k katsayısı ise betonarme binalarda 1 alınır. δ etkin görelî kat ötelemesi ve davranış katsayısı ile bina önem katsayısına bağlı olarak denklem 3.5'te verilmiştir.

$$\delta = R / I * \Delta_i \quad (3.5)$$

Δ azaltılmış görelî kat ötelemesidir ve birbirlerine takıp eden katların yaptıkları deplasmanın farkı olarak elde edilir. Denklem 3.6'nin hesaplanmasında herhangi bir t anında spektral ivme değeri deprem düzeylerinden alınmış. Bu çalışmada t 'nin 1.2 olduğu DD3 ve DD2' nin spektral ivmelerinden λ alınmış değeri hesaplanmıştır ve denklem 3.6 elde edilmiştir.

$$\lambda = S(T)_{DD3} / S(T)_{DD2} = 0,2075 / 0,465 = 0,45 \quad (3.6)$$

$$\delta / h_i * 0,008k \leq 1 / 0,45 \quad (3.7)$$

$$\delta = R / I * \Delta_i \quad (3.8)$$

$$R = 8, I = 1,5, k = 1 \text{ ve } h = 3 \text{ m} \quad (3.9)$$

$$222,2\Delta \leq 2,22$$

(3.10)

Burada:

h: Kat yüksekliği

R: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

I: Bina önem katsayısı

Denklem 3.10'u sap2000 yapısal programında tanımlandıktan sonra elde edilen değerlerin her iki tarafı 2.22 ile bölerek denklemin sol tarafında 1' den küçük değerleri elde edilmiştir. Tablo 3.11'de sunulan bu değerler görelî kat öteleme oranlarıdır.

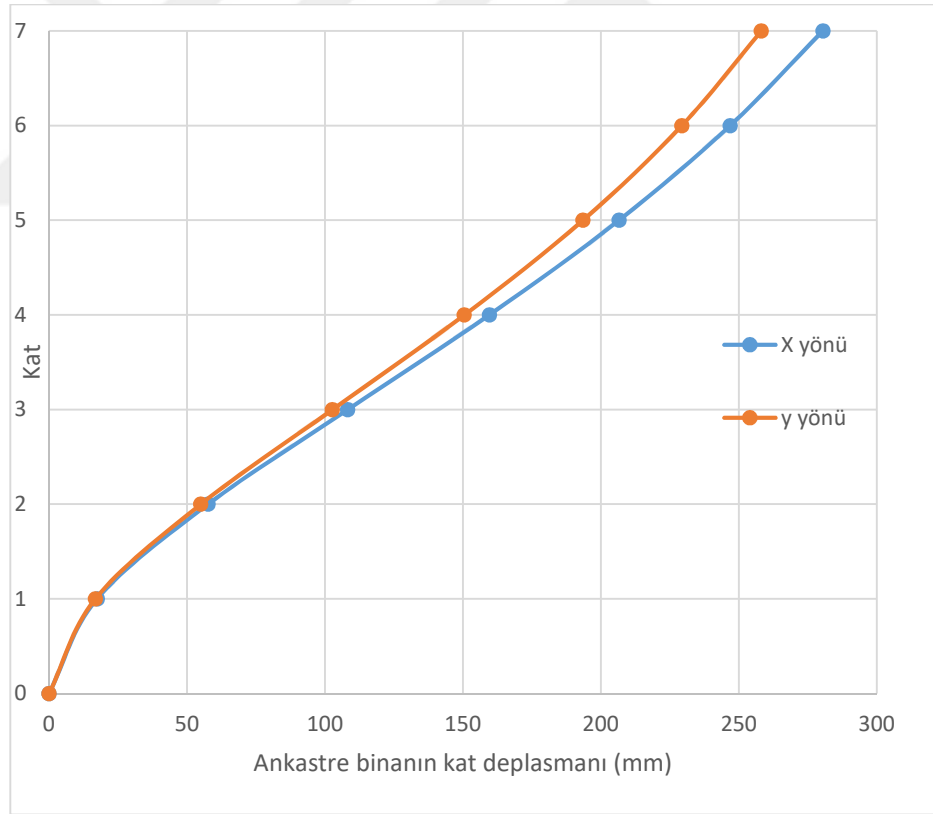
Tablo 3.11 Modal analizinde ankastre binanın görelî kat öteleme oranları

Kat	Görelî kat öteleme oranı x yönü	Görelî kat öteleme oranı y yönü
7	0,6935	0,5954
6	0,8200	0,7277
5	0,9295	0,8471
4	0,9889	0,9188
3	0,9578	0,9026
2	0,7553	0,7179
1	0,3269	0,3147

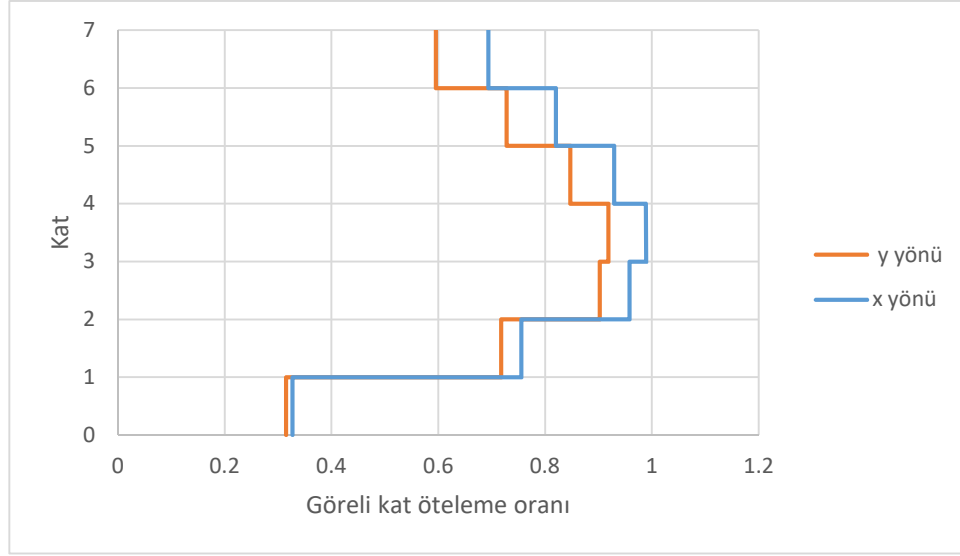
Tablo 3.12 Modal analizinde ankastre binanın kat kesme kuvvetleri ve momentleri

Kat	Tasarım F(KN)	Elastik F(KN)	Tasarım M(KN-m)	Elastik M(KN-m)
7	1025	8200	951	7608
6	2453	19621	3205	25641
5	3745	29961	6616	52930
4	4925	39400	11077	88620
3	6025	48199	16502	132015
2	7079	56633	22832	182659
1	7987	63896	29937	239496

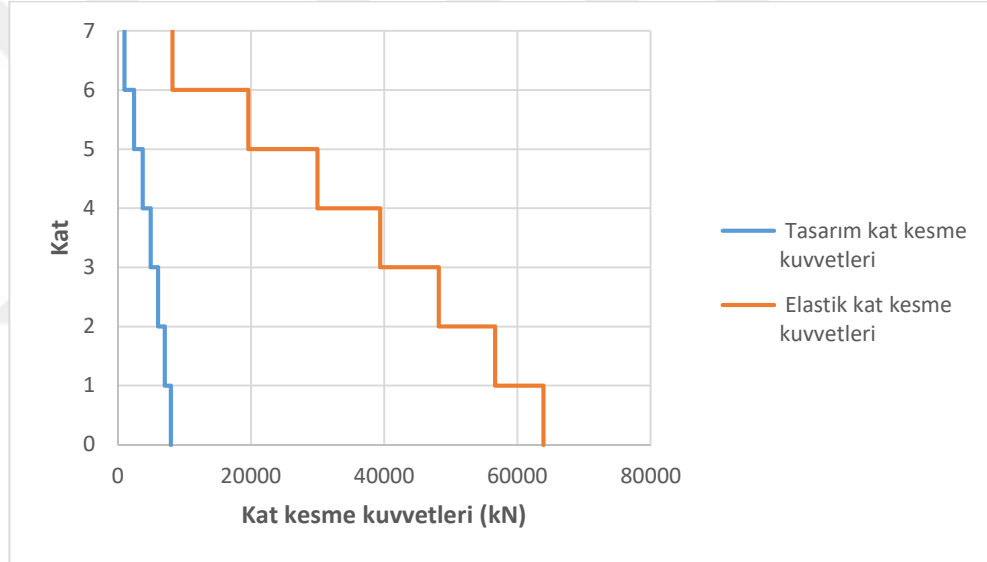
Modal analiz sonucunda elde edilen kat deplasmanları, göreceli kat öteleme oranları, kat kesme kuvvetleri ve momentleri şekil 3.8...3.'te verilmiştir.



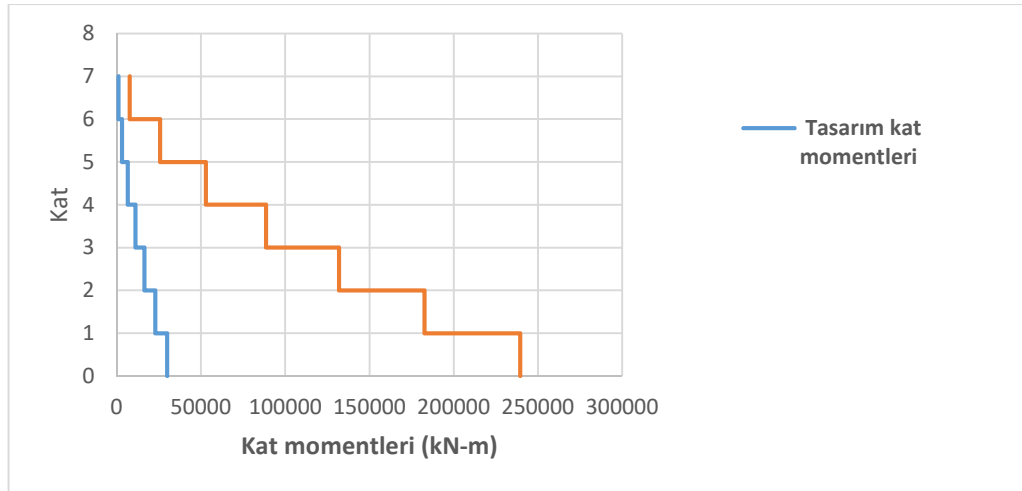
Şekil 3.8 Modal analizinde ankastre binanın kat deplasmanları



Şekil 3.9 Modal analizinde ankastre binanın görel kat öteleme oranları



Şekil 3.10 Modal analizinde ankastre binanın kat kesme kuvvetleri



Şekil 3.11 Modal analizinde ankastre binanın kat momentleri

3.6 Ankastre Mesnetli Binanın Zaman Tanım Alanında Analizi

Modal analizde kullanılan aynı model binayı zaman tanım alanında da analiz edilmiştir. DD2 deprem seviyesinde kontrollü hasar performans seviyesinde analiz gerçekleştirilmiş. Daha önce anlatılan deprem kayıtları altında elde edilen kat deplasmanları, göreceli kat öteleme oranları, kat ivmeleri, kat kesme kuvvetleri ve kat momentleri sırasıyla tablo 3.13,3.14...3.22’de ve şekil 3.12, 3.13...,3.16’da verilmiştir.

Tablo 3.13 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat deplasmanları

	Imperial Valley		Manjil		Morgan Hill		Landers	
Kat	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
7	196	201	172	245	241	186	365	183
6	173	182	150	223	215	163	325	161
5	144	158	123	194	183	134	275	134
4	111	127	92	156	143	102	214	103
3	75	89	63	110	101	70	146	71
2	40	50	35	61	56	38	79	39
1	12	16	11	19	18	12	24	12
Taban	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.14 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat deplasmanları

	Big Bear		Hector Mine		Chi-Chi		Denali Alaska	
Kat	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
7	177	180	362	231	580	328	355	444
6	156	158	321	208	510	291	309	398
5	132	133	271	179	426	249	262	338
4	103	104	212	143	327	197	209	265
3	70	72	147	100	220	137	146	182
2	37	40	81	56	118	75	80	99
1	11	13	25	18	36	23	25	31
Taban	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.15 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat deplasmanları

	Ferndale City Hall		Lenah Valley		Amp chi	
Kat	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
7	444	297	436	207	474	411
6	398	264	395	183	430	366
5	338	223	341	154	372	310
4	265	174	271	119	298	242
3	182	119	190	80	210	165
2	99	64	105	43	117	89
1	31	20	33	13	37	27
Taban	0	0	0	0	0	0

Tablo 3.16 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat deplasmanları

Kat	x(mm)	y(mm)
7	332	279
6	294	250
5	248	213
4	193	168
3	132	117
2	72	64
1	22	20
Taban	0	0

Tablo 3.17 Zaman tanım alanında ankastre binanın göreceli kat öteleme oranları

	Big Bear		Hector Mine		Chi-Chi		Denali Alaska	
Kat	x	y	x	y	x	y	x	y
7	0,1278	0,1458	0,3913	0,3098	0,3380	0,3204	0,5925	0,2804
6	0,1519	0,1798	0,4629	0,3838	0,4164	0,3988	0,7348	0,3290
5	0,1673	0,2068	0,5140	0,4657	0,4914	0,4790	0,8816	0,4131
4	0,1687	0,2338	0,5482	0,5253	0,5345	0,5464	0,9698	0,4739
3	0,1493	0,2382	0,5323	0,5373	0,5338	0,5588	0,9466	0,4770
2	0,1132	0,1956	0,4501	0,4585	0,4352	0,4661	0,7584	0,3913
1	0,0493	0,0880	0,2146	0,2141	0,1909	0,2099	0,3328	0,1742

3.18 Zaman tanım alanında ankastre binanın görelî kat öteleme oranları

	Imperial Valley		Manjil		Morgan Hill		Landers	
Kat	x	y	x	y	X	y	x	y
7	0,796	0,6266	0,2029	0,1570	0,2351	0,2084	0,1233	0,1677
6	0,965	0,7928	0,2467	0,1645	0,2766	0,2521	0,1446	0,2061
5	0,9139	0,9659	0,2969	0,1625	0,3055	0,2951	0,1566	0,2386
4	0,9305	1,0809	0,3340	0,1887	0,3001	0,3345	0,1510	0,2526
3	0,8947	1,0737	0,3347	0,1889	0,2636	0,3384	0,1315	0,2409
2	0,8126	0,8776	0,2721	0,1494	0,2339	0,2851	0,1070	0,1957
1	0,502	0,3902	0,1224	0,0654	0,1102	0,1342	0,0479	0,0889

Tablo 3.19 Zaman tanım alanında ankastre binanın görelî kat öteleme oranları

	Ferndale City Hall		Lenah Valley		Amp chi	
Kat	x	y	x	y	x	y
7	0,5135	0,5183	0,5599	0,1966	0,2041	0,2154
6	0,6373	0,6422	0,6797	0,2257	0,2246	0,2772
5	0,7693	0,7555	0,7925	0,2367	0,2483	0,3471
4	0,8629	0,8261	0,8790	0,2567	0,2791	0,4041
3	0,8726	0,8192	0,9041	0,2614	0,2818	0,4149
2	0,7253	0,6749	0,7537	0,2301	0,2346	0,3478
1	0,3236	0,3032	0,3354	0,1075	0,1052	0,1571

Tablo 3.20 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama görelî kat öteleme oranları

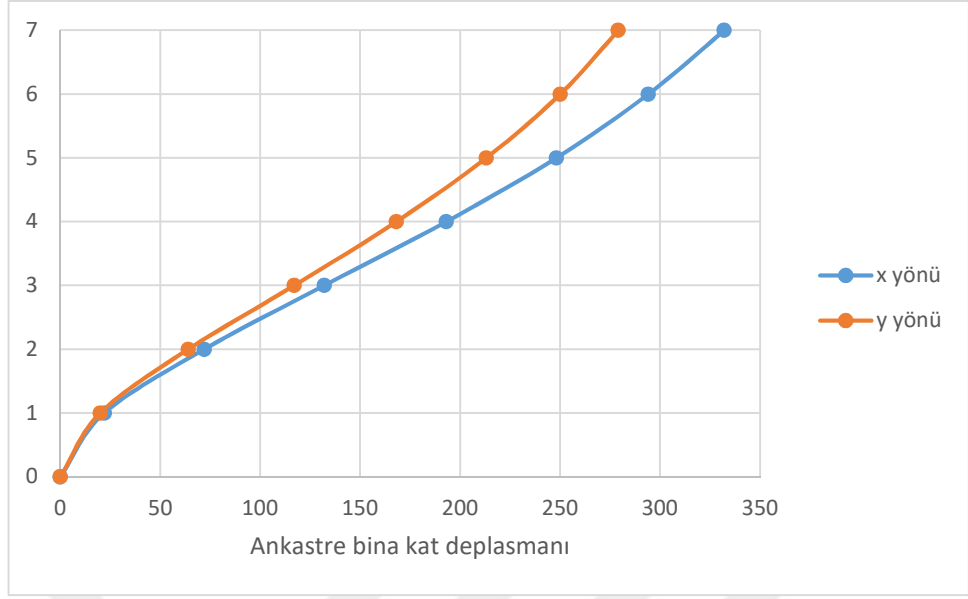
Kat	Görelî Kat Öteleme Oranı x yönü	Görelî Kat Öteleme Oranı y yönü
7	0,6529	0,5705
6	0,7969	0,6966
5	0,9330	0,8160
4	0,9034	0,8777
3	0,9675	0,8437
2	0,7786	0,6748
1	0,3403	0,2945

Tablo 3.21 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat ivmeleri

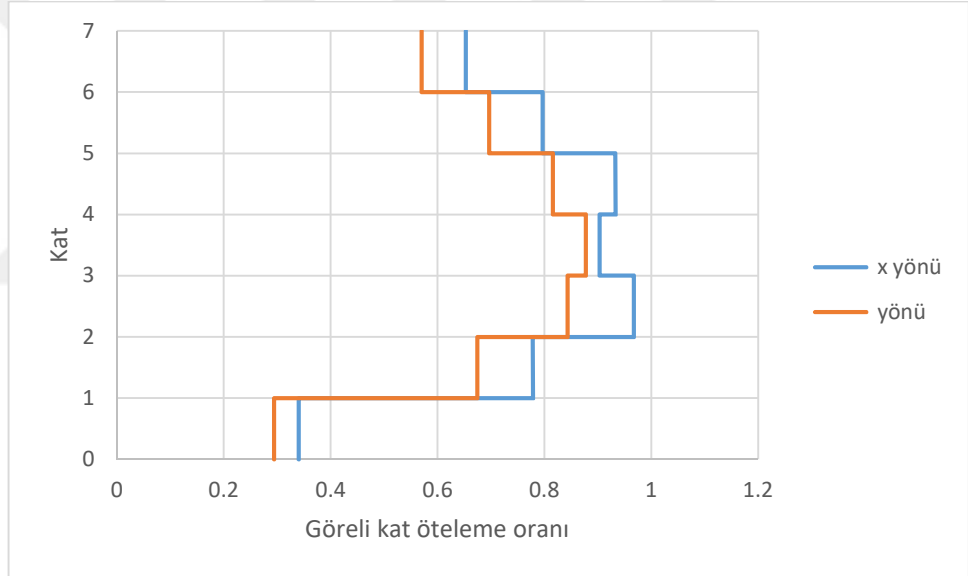
Kat	X(m/sn²)	y(m/sn²)
7	2,8244	2,9073
6	1,9511	2,0078
5	1,7520	1,8632
4	1,7188	1,8032
3	1,5400	1,6992
2	1,4685	1,5019
1	1,2804	1,1528
Taban	0	0

Tablo 3.22 Zaman tanım alanında ankastre binanın kat kesme kuvvetleri ve momentleri

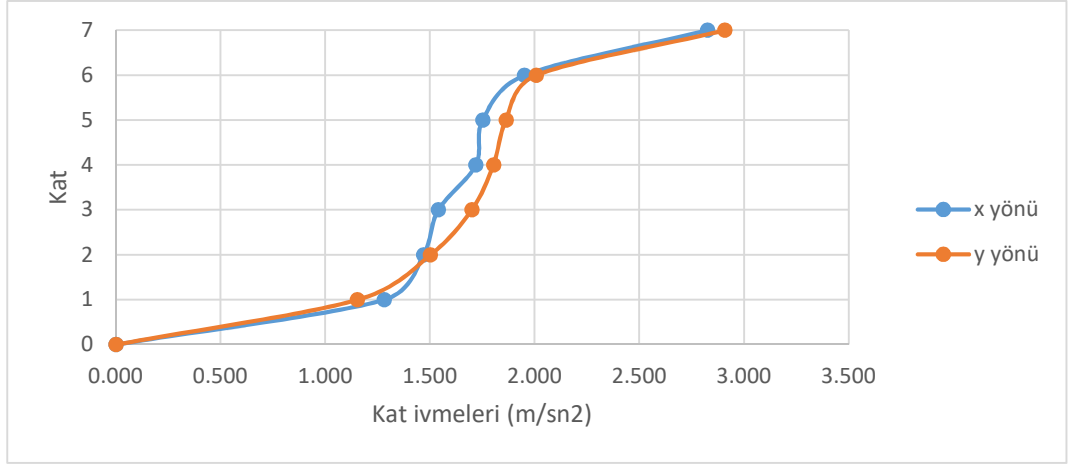
Kat	Tasarım F(KN)	Elastik F(KN)	Tasarım M(KN-m)	Elastik M(KN- m)
7	1225	9800	1065	8521
6	2024	16191	3398	27188
5	2990	23916	6654	53232
4	4033	32266	10513	84104
3	5179	41434	14730	117839
2	6418	51343	19096	152764
1	7692	61540	23545	188359



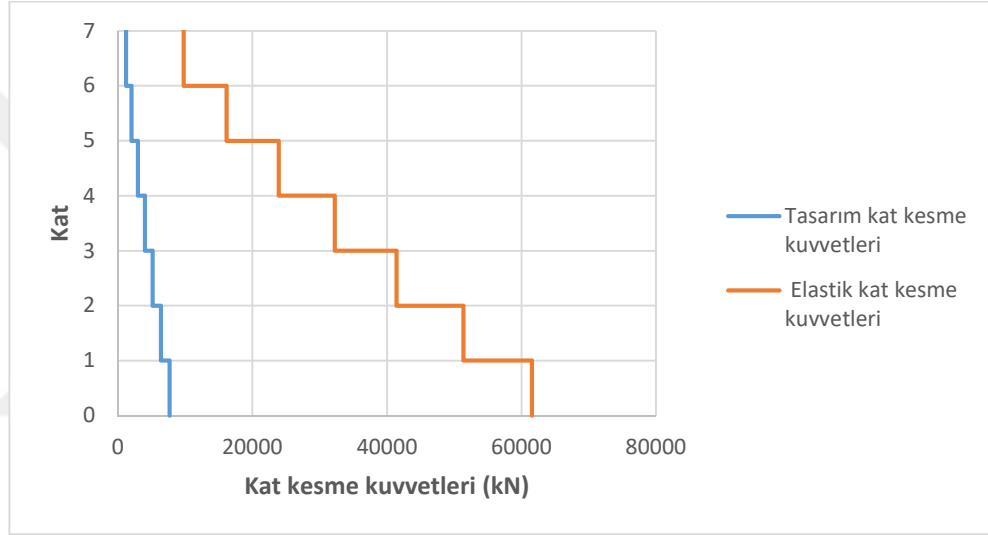
Şekil 3.12 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat deplasmanları



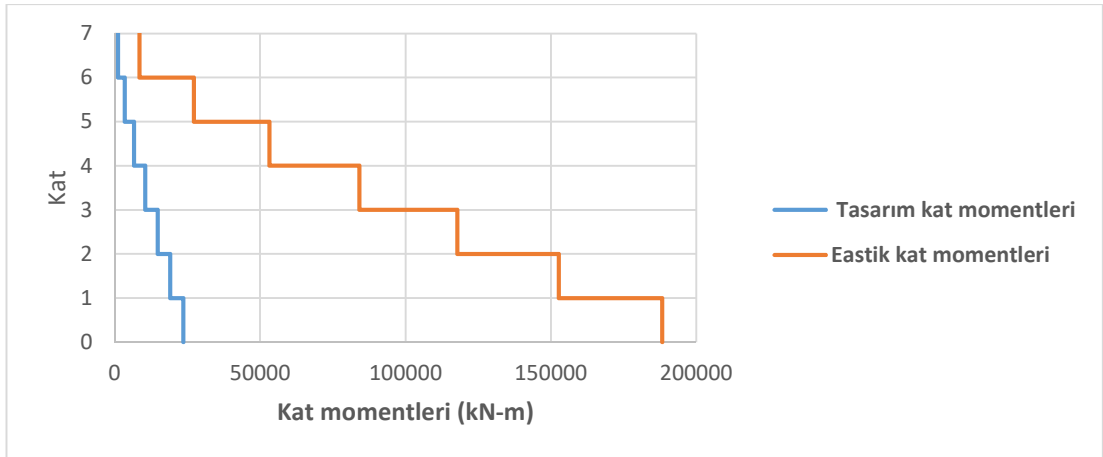
Şekil 3.13 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama görelî kat öteleme oranları



Şekil 3.14 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat ivmeleri



Şekil 3.15 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat kesme kuvvetleri



Şekil 3.16 Zaman tanım alanında ankastre binanın ortalama kat momentleri

3.7 İzolatörlü Binanın Modal Analizi

Bu tez çalışmasında İzolatörlü binanın yapısal özellikleri ankastre bina yapısal özellikleri ile aynı olduğunu kabul edilmiştir. Ancak 2018 deprem yönetmeliği, izolatörlü binanın tasarımında bazı parametrelerin farklı alınmasını zorunlu tutmuştur. Bu parametreler R, davranış katsayısı, I, bina önem katsayısı ve bina performans hedefi. Bu parametreleri dikkatte aldığımızda izolatörlü binanın R, I ve performans hedefi aşağıdaki gibidir. Bu üç parametreleri dışında diğer yapısal özellikleri aynı tutulmuştur,

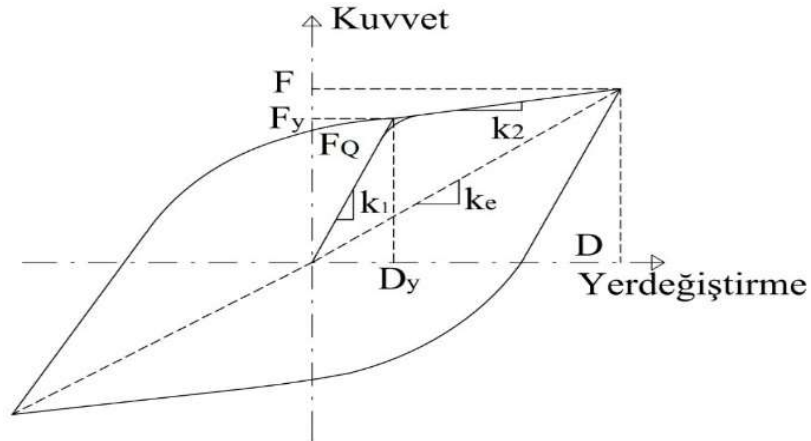
R:1,5

I:1

Performans hedefi: Sınırlı Hasar

3.7.1 İzolatörün özellikleri

Bu çalışmada Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün özellikleri “Dynamic Isolation Sistem” firmasının ürettiği izolatörlerin bir örneği ele alınmıştır. Bu özellikler tablo 3.23’te verilmiştir. Şekil 3.17’de 2018 deprem yönetmeliğinden alınan kuvvet yer değiştirme grafiği görülmektedir. F_Q , k_1 , k_2 , k_e , D , F_y ve D_y parametreleri bölüm 2’ de tanımlanmıştır.



Şekil 3.17 Kuvvet-yer değiştirme eğrisi

Tablo 3.23 İzolatör özellikleri

Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörü		Birim	
B=	550	mm	
B _L =	150	mm	
G _v =	0,7	N/mm ²	
k=	0,6		
N _{rubber} =	15		
t _{rubber} =	10	mm	
K=	2000	N/mm ²	
k ₁ /k ₂ =	10		
F _Q =	126000	N	
N _{isolator} =	24		
T _r =	150	mm	
A _r =	219911,5	mm ²	
Düşey rijitlikler			
E _o =	2,8	N/mm ²	
S=	12,72727		
E _c =	547,0645	N/mm ²	
E _v =	429,5647	N/mm ²	
k _v =	629774,7	N/mm	
Yatay rijitlikler			
k ₂ =	1026,254	N/mm	
k ₁ =	10262,54	N/mm	
F _Q =	126000	N	
dy=	12,27767	mm	
F=	334044,5	N	
k _e =	1553,695	N/mm	

Yukarıda gösterilen tabloya göre izolatörün maksimum deplasman 400 mm kabulü ile yatay rijitliği bulunmuştur ve analiz yapılmıştır. İlk analiz sonucunda izolatörün yapmış olduğu deplasmanı kullanılarak en 10 kere farklı rijitlik hesaplanarak analiz tekrarlanmıştır. Deplasmanın sabit olduğu yatay rijitlik, 215 mm, izolatörün gerçek

deplasmanı olarak belirlenmiş ve diğer parametreleri bu deplasmana göre hesaplanmıştır. Bu deplasmanı kullanılarak gerçek eşdeğer rijitliği de hesaplanmıştır.

$$A_r = \frac{\pi}{4}(B^2 - B_L^2)$$

$$A_r = \frac{\pi}{4}(550^2 - 150^2) = 219911,5$$

$$K_2 = G_v (A_r / T_r)$$

$$0,7 * 219911,5 / 150 = 1026,254$$

$$k_1 / k_2 = 10$$

$$k_1 = 10262,54$$

$$D_y = F_Q / k_1 = 126000 / 10262,54 = 12,27767 \text{ mm}$$

$$D_{\max} = D_y + (F_{\max} - F_Q) / k_2$$

$$215 \text{ mm} = 12,27767 + (F_{\max} - 126000) / 1026,254$$

$$F_{\max} = 334044,5 \text{ N}$$

$$K_e = F_{\max} / D_{\max} = 334044,5 / 215 = 1553,695$$

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

$$S = (550^2 - 150^2) / (4 * 550 * 10) = 12,72727$$

$$E_c = E_0 (1 + 2k^2)$$

$$E_0 = 4G_v = 4 * 0,7 = 2,8 \text{ N/mm}^2, k = 0,60$$

$$E_c = 2,8 \text{ N/mm}^2 * (1 + 2 * 0,6^2 * 12,722^2) = 547,06 \text{ N/mm}^2, K = 2000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} = \frac{1}{\frac{1}{547,06} + \frac{1}{2000}} = 429,5647 \text{ N/mm}^2$$

$$K_v = (E_v * A_r) / T_r = (429,5647 * 219911,5) / 150 = 6362 \text{ N/m}$$

Bölüm 3.5'te analiz edilen ankastre temelli binanın altına, yanı temel ile zemin arasına 24 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör konularak (Şekil 2,2) DD2 deprem seviyesinde, sınırlı hasar performans seviyesinde analiz gerçekleştirilmiş. 2018

deprem yönetmeliğine göre tanımlanan deprem yükleri altında (denklem 3,2) elde edilen periyotlar, kat deplasmanları, göreceli kat ötelemeleri, kesme kuvvetleri ve kat momentleri sırasıyla Tablo 3.24, 3.25,...3.27’de’ ve Şekil 3.18...3.21’de verilmiştir.

Tablo 3.24 İzolatörlü binanın X ve Y yönündeki mod ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot	X Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı	Y Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı
1	3,028378	0,99321	9,155E-09
2	2,992069	0,99321	0,99233
3	2,724351	0,99321	0,99428
4	0,573932	0,99955	0,99428
5	0,551257	0,99955	0,99964
6	0,491315	0,99955	0,99965
7	0,23981	0,99995	0,99965
8	0,225984	0,99995	0,99995
9	0,205468	0,99995	0,99995
10	0,177067	0,99995	0,99995
11	0,169262	0,99995	0,99995
12	0,162502	0,99995	0,99995
13	0,158428	0,99995	0,99995
14	0,1543	0,99995	0,99995
15	0,15073	0,99995	0,99995
16	0,149455	0,99995	0,99995
17	0,14885	0,99995	0,99995
18	0,148084	0,99995	0,99995
19	0,147952	0,99995	0,99995
20	0,144505	0,99995	0,99995
21	0,141581	0,99995	0,99995
22	0,140844	0,99995	0,99995
23	0,138619	0,99995	0,99995
24	0,137799	0,99995	0,99995
25	0,136574	0,99995	0,99995
26	0,135904	0,99995	0,99995
27	0,135352	0,99995	0,99995
28	0,134663	0,99995	0,99995

Tablo 3.25 Modal analizinde izolatörlü binanın kat deplasmanları

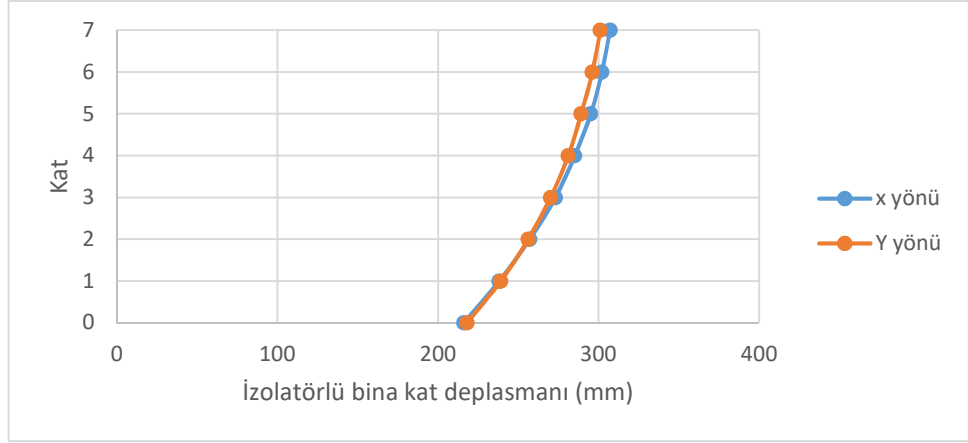
Kat	X(mm)	Y(mm)
7	307	301
6	302	296
5	295	289
4	285	281
3	273	270
2	257	256
1	238	239
Taban	216	218

Tablo 3.26 Modal analizinde izolatörlü binanın görel kat öteleme oranları

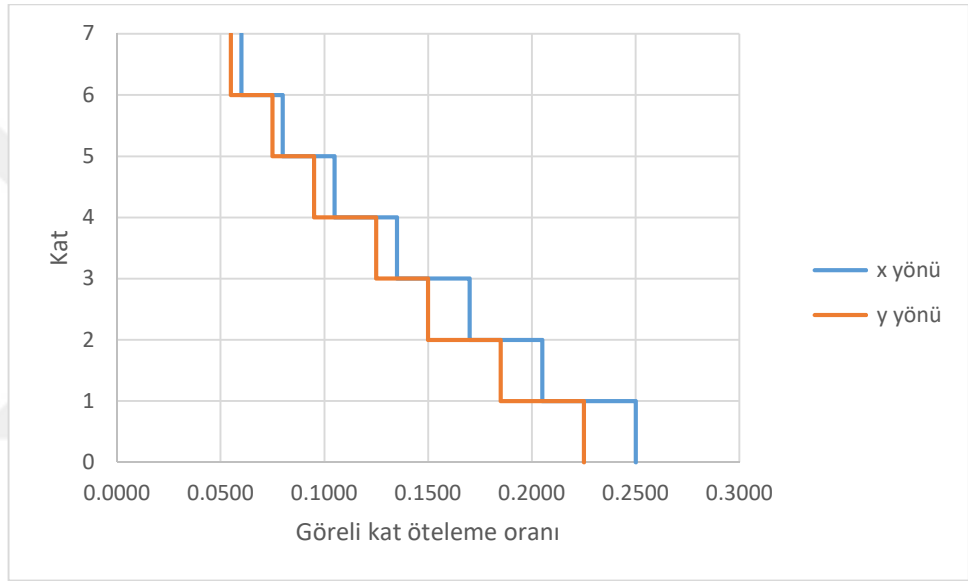
Kat	x	y
7	0,0440	0,0550
6	0,0565	0,0750
5	0,0720	0,0950
4	0,0895	0,1250
3	0,1075	0,1500
2	0,1265	0,1850
1	0,1480	0,2250

Tablo 3.27 Modal analizinde izolatörlü binanın kat kesme kuvvetleri ve momentleri

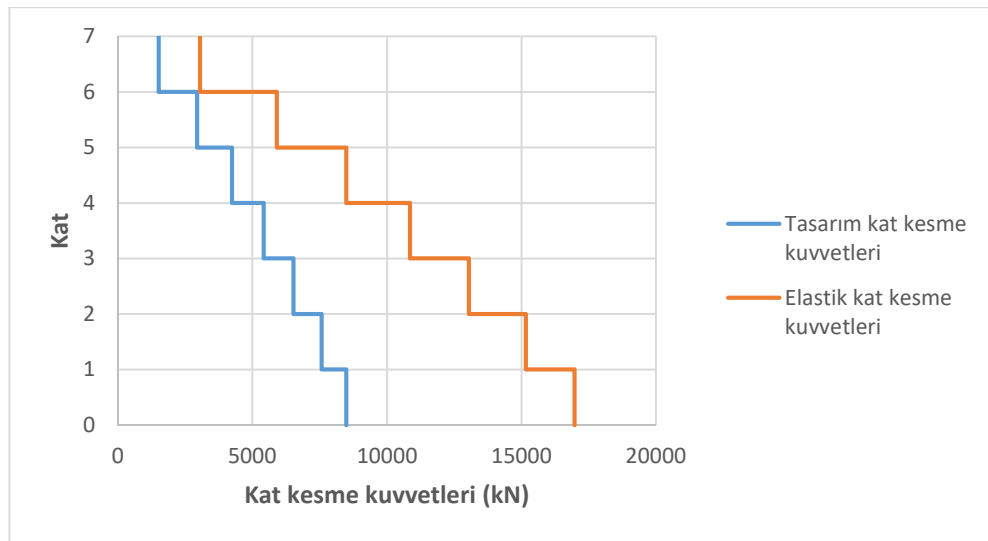
Kat	Tasarım F(kN)	Elastik F(kN)	Tasarım M(kN-m)	Elastik M(kN-m)
7	1525	3050	1691	3382
6	2953	5906	3945	7890
5	4245	8490	7356	14713
4	5425	10850	11817	23635
3	6525	13050	17242	34484
2	7579	15158	23572	47145
1	8487	16974	30677	61355



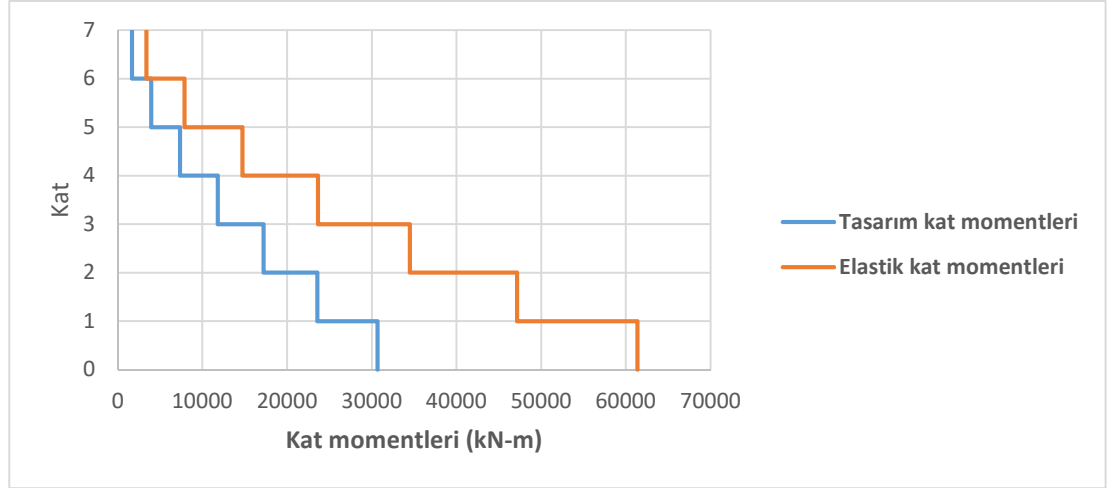
Şekil 3.18 Modal analizinde izolatörlü binanın kat deplasmanları



Şekil 3.19 Modal analizinde izolatörlü binanın göreceli kat öteleme oranları



Şekil 3.20 Modal analizinde izolatörlü binanın kat kesme kuvvetleri



Şekil 3.21 Modal analizinde izolatörlü binanın kat momentleri

3.8 İzolatörlü Binanın Zaman Tanım Alanında Analizi

Daha önceki bölümde (bölüm 3.6) kullanılan 11 deprem ivme kayıtları (Tablo 3.8) kullanılarak izolatörlü binayı zaman tanım alanında çözülmüş ve elde edilen kat deplasmanları, görel kat öteleme oranları, kat ivmeleri, kat kesme kuvvetleri ve kat momentleri tablo 3.28, 3.29... 3.37'de ve şekil 3.22...3.26'da verilmiştir.

Tablo 3.28 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın kat deplasmanları

	Imperial Valley		Manjil		Morgan Hill		Landers	
Kat	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
7	495	259	222	204	369	342	209	192
6	477	252	214	199	358	332	202	185
5	455	242	205	193	345	320	194	177
4	427	230	193	184	327	304	184	167
3	396	215	178	173	304	284	171	155
2	360	196	161	160	277	260	156	141
1	317	175	141	143	244	232	139	128
Taban	267	150	118	124	206	199	118	111

Tablo 3.29 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın kat deplasmanları

	Big Bear		Hector Mine		Chi-Chi	
Kat	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
7	82	96	429	334	273	370
6	79	91	416	325	264	361
5	74	86	399	314	252	348
4	69	80	377	300	237	332
3	62	73	350	282	218	311
2	55	66	317	259	196	286
1	47	58	278	232	172	256
Taban	38	49	234	200	144	220

Tablo 3.30 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın kat deplasmanları

	Denali Alaska		Ferndale City Hall		Lenah Valley		Amp chi	
Kat	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
7	206	548	216	269	404	260	689	160
6	200	533	209	261	392	253	669	155
5	192	514	201	251	376	245	643	148
4	182	489	190	238	356	233	609	140
3	169	457	176	222	331	219	566	131
2	153	419	159	204	300	201	514	119
1	135	374	139	181	264	180	452	106
Taban	114	321	116	155	222	154	381	91

Tablo 3.31 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın ortalama kat deplasmanları

	Ortalama deplasman	Ortalama deplasman
Kat	x(mm)	y(mm)
7	305	287
6	295	280
5	283	269
4	268	256
3	248	240
2	225	220
1	198	197
Taban	166	169

Tablo 3.32 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın göreceli kat öteleme oranları

	Imperial Valley		Manjil		Morgan Hill		Landers	
Kat	X	y	x	y	x	y	x	Y
7	0,0625	0,0855	0,0219	0,02265	0,05925	0,0482	0,01825	0,0185
6	0,14095	0,05975	0,03505	0,02755	0,07255	0,06175	0,02865	0,0218
5	0,177	0,07715	0,044	0,03425	0,09285	0,0791	0,0347	0,0273
4	0,21415	0,09605	0,05365	0,04245	0,1151	0,09805	0,0403	0,03285
3	0,2504	0,11545	0,0634	0,0509	0,13815	0,11805	0,04535	0,03805
2	0,28645	0,1357	0,07315	0,0603	0,16305	0,1394	0,0505	0,04305
1	0,32565	0,15845	0,08355	0,07115	0,1889	0,16315	0,05685	0,049

Tablo 3.33 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın göreceli kat öteleme oranları

	Big Bear		Hector Mine		Chi-Chi		Denali Alaska	
Kat	X	Y	x	y	x	y	x	Y
7	0,0175	0,0090	0,0956	0,0917	0,0594	0,0346	0,0492	0,0175
6	0,0145	0,0178	0,1252	0,0846	0,064	0,0644	0,1344	0,01455
5	0,0182	0,0213	0,1620	0,107	0,07825	0,0831	0,1711	0,01825
4	0,0217	0,0240	0,2031	0,13595	0,09335	0,1040	0,2122	0,02175
3	0,0246	0,0260	0,2456	0,16775	0,10895	0,1263	0,2554	0,02465
2	0,027	0,0281	0,2883	0,20165	0,12455	0,1500	0,2996	0,027
1	0,0296	0,0312	0,3323	0,2786	0,14145	0,1763	0,3453	0,0296

3.34 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın görelî kat öteleme oranları

Kat	Ferndale City Hall		Lenah Valley		Amp chi	
	x	Y	x	Y	x	y
7	0,244	0,0488	0,0433	0,0377	0,01895	0,0487
6	0,0607	0,13505	0,0484	0,0501	0,0761	0,04325
5	0,07665	0,1749	0,0593	0,06365	0,09855	0,05645
4	0,09365	0,219	0,071	0,07835	0,12385	0,07135
3	0,111	0,26515	0,08345	0,09325	0,1504	0,08735
2	0,12925	0,31375	0,0963	0,10845	0,1775	0,1044
1	0,14885	0,36785	0,1097	0,12555	0,2054	0,1231

Tablo 3.35 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın ortalama görelî kat öteleme oranları

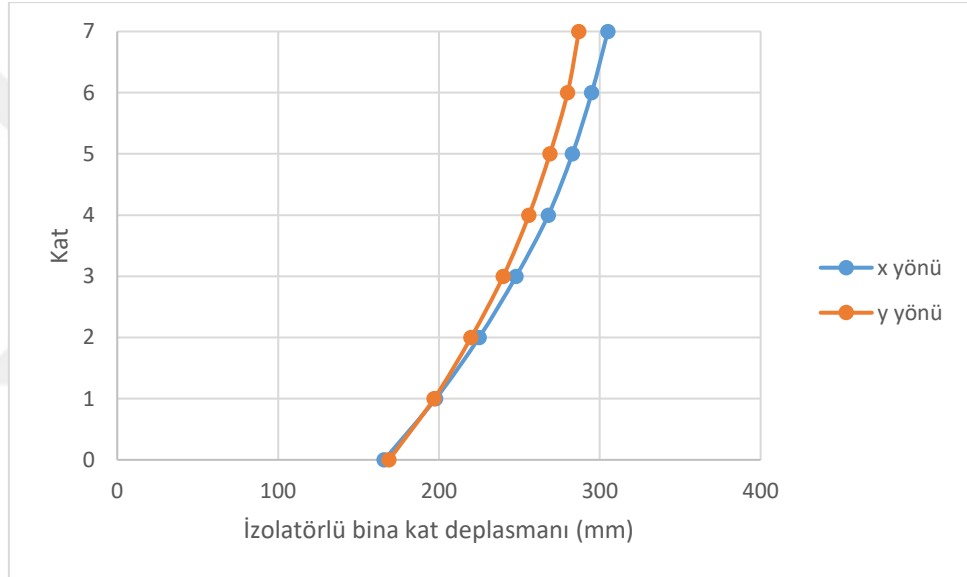
Kat	Görelî kat öteleme oranları (x)	Görelî kat öteleme oranları (y)
7	0,0540	0,0600
6	0,0684	0,0800
5	0,0867	0,1050
4	0,1065	0,1350
3	0,1269	0,1700
2	0,1479	0,2050
1	0,1699	0,2500

Tablo 3.36 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın kat ivmeleri

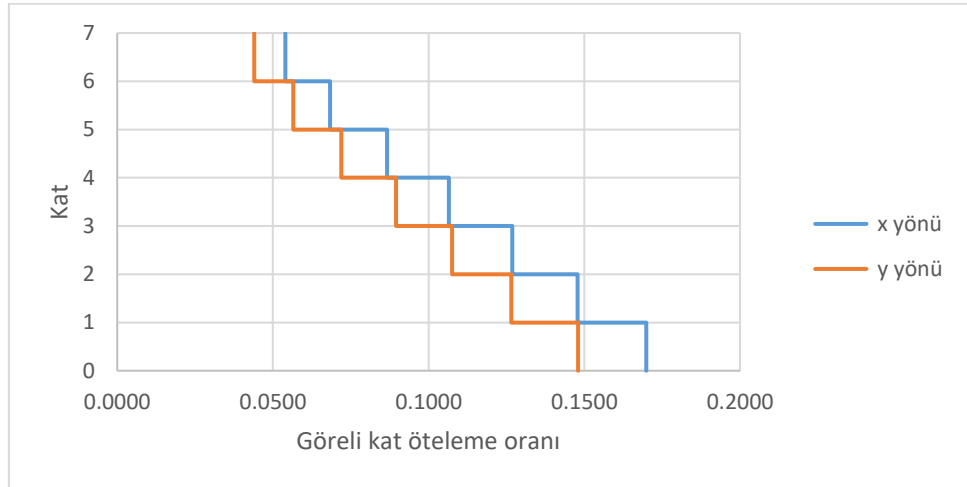
Kat	x(m/sn2)	y(m/sn2)
7	0,63460	0,72323
6	0,58770	0,62524
5	0,58594	0,61065
4	0,53075	0,54957
3	0,50048	0,54013
2	0,48225	0,50167
1	0,48186	0,48252
Taban	0,47923	0,49073

Tablo 3.37 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın kat kesme kuvvetleri ve momentleri

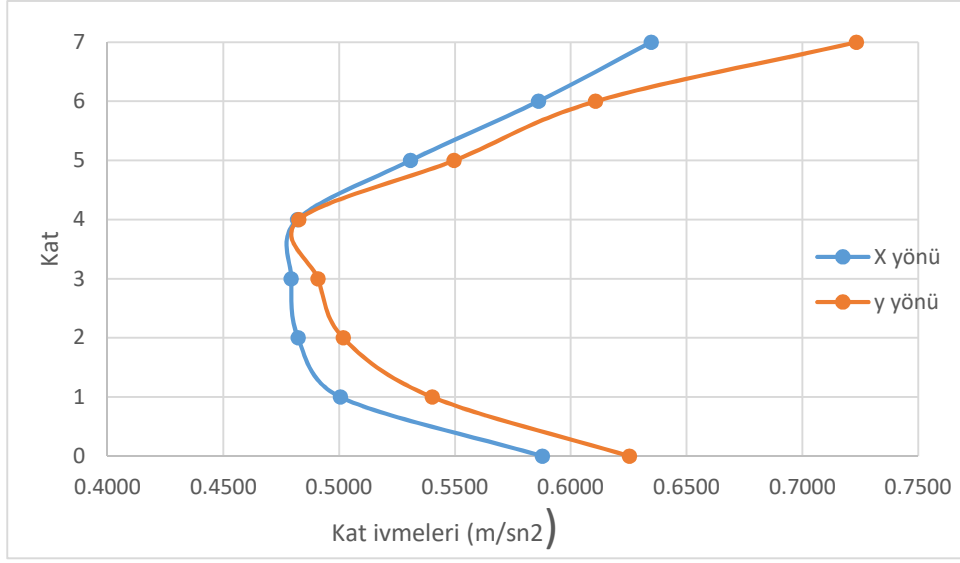
Kat	Tasarım F(KN)	Elastik F(KN)	Tasarım M(KN-m)	Elastik M(KN-m)
7	2060	4120	2144	4288
6	2859	5718	4477	8955
5	3825	7649	7733	15466
4	4868	9736	11592	23184
3	6014	12028	15809	31618
2	7253	14506	20175	40349
1	8527	17055	24624	49248



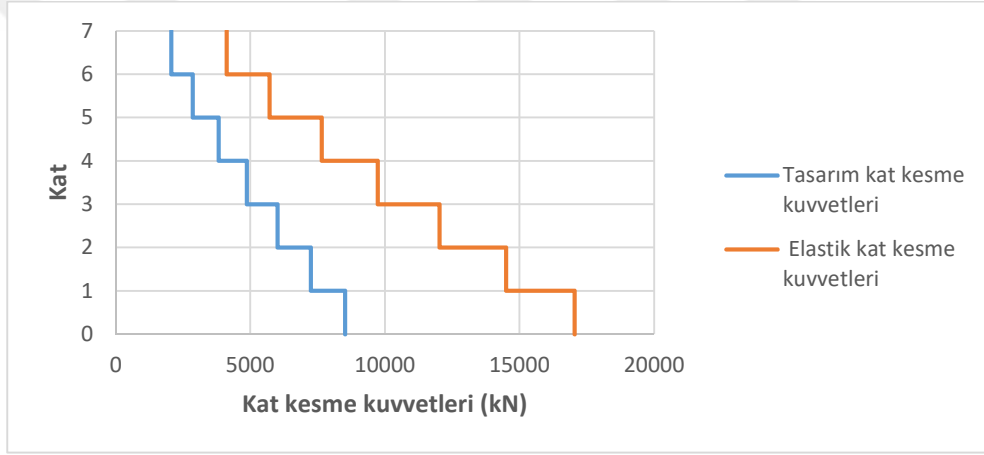
Şekil 3.22 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın ortalama kat deplasmanları



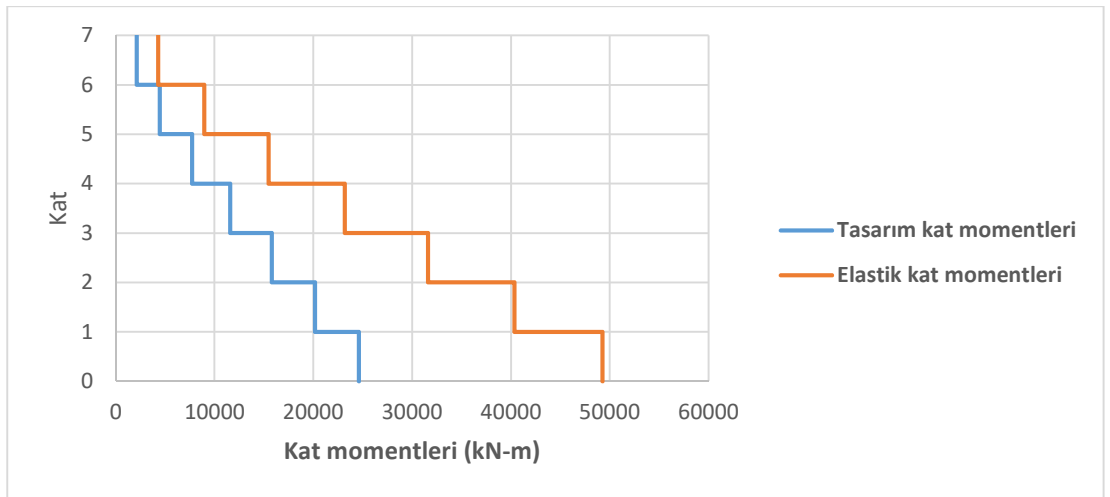
Şekil 3.23 Zaman tanım alanında izolatörlü binanın ortalama göreceli kat öteleme oranları



Şekil 3.24 İzolatörlü binanın ortalama kat ivmeleri



Şekil 3.25 İzolatörlü binanın ortalama kat kesme kuvvetleri



Şekil 3.26 İzolatörlü binanın ortalama kat momentleri

BÖLÜM DÖRT

ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Modal Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

İzolatörün özelliklerinden biri, binanın doğal titreşim periyodu uzatmaktır. Tablo 4.1’de izolatörlü binanın titreşim periyodu ankastre binanın titreşim periyodunun 2 kat büyük çıkmıştır. Ankastre binanın deprem periyodu deprem sırasında deprem ivmesi ile aynı sınır ilerisinde olabiliyor. Bu durum zemin ivmesinin büyümesine neden olur. Zemin ivmesinin büyümesi binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarına büyük zarar uğratabilir. İzolatörler, binanın periyodu zemin ivmesinden uzaklaştırmak suretiyle bu durumu önlemektedir.

Tablo 4.1 Modal analizler için ankastre ve izolatörlü binanın periyotları ve kütle katılım oranları

Ankastre Bina				İzolatörlü Bina		
Mod	Periyod	X Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı	Y Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı	Periyot	X Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı	Y Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı
1	1,436043	0,73027	2,806E-09	3,02838	0,99321	9,16E-09
2	1,329085	0,73027	0,73677	2,99207	0,99321	0,99233
3	1,181002	0,73027	0,7368	2,72435	0,99321	0,99428
4	0,388216	0,86925	0,7368	0,57393	0,99955	0,99428
5	0,367389	0,86925	0,87231	0,55126	0,99955	0,99964
6	0,329961	0,86925	0,87232	0,49132	0,99955	0,99965
7	0,244193	0,86925	0,87454	0,23981	0,99995	0,99965
8	0,208675	0,86925	0,87708	0,22598	0,99995	0,99995
9	0,207157	0,86925	0,87708	0,20547	0,99995	0,99995
10	0,206256	0,86925	0,87708	0,17707	0,99995	0,99995
11	0,205621	0,86925	0,87708	0,16926	0,99995	0,99995
12	0,204941	0,86925	0,87709	0,1625	0,99995	0,99995
13	0,204658	0,86925	0,8771	0,15843	0,99995	0,99995
14	0,187979	0,86925	0,8771	0,1543	0,99995	0,99995

Tablo 4.2 Kat deplasmanları -modal analiz sonuçları

Ortalama Kat Deplasmanları				
	Ankastre Bina		İzolatörlü Bina	
Kat	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
7	280	258	307	301
6	247	229	302	296
5	206	193	295	289
4	159	150	285	281
3	108	103	273	270
2	58	55	257	256
1	17	17	238	239
0	0	0	216	218

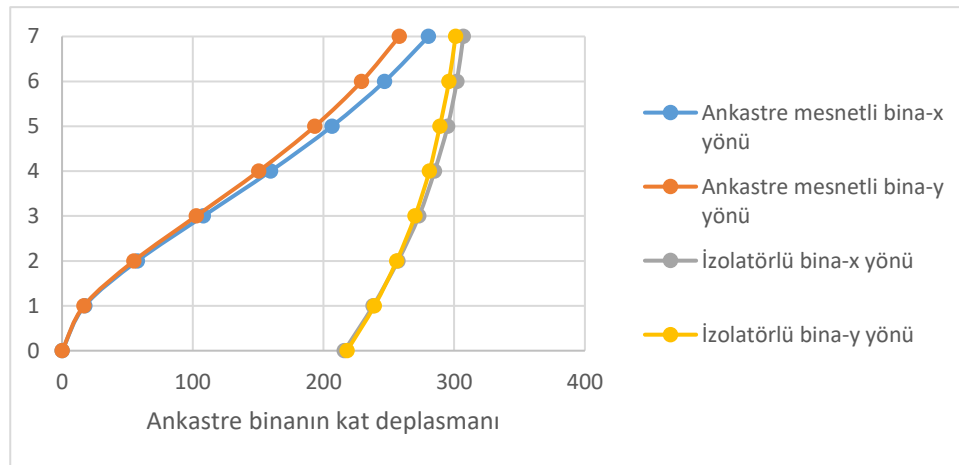
Ankastre binanın taban katında deplasmanın olmadığını görülmektedir. Bu binanın genel olarak izolatörlü binaya göre az deplasman yaptığı ve bu yüzden esneklik açısından dezavantaj durumunda olduğunu bilinmektedir. Her iki binada en büyük deplasmanların en üst katlarda meydana gelmesi deprem anında bu katlarda deprem etkisinin büyük olduğu anlaşılmaktadır. İzolatörler, binanın fazla yatay deplasman yapmalarına sağlamaktadır ve dolayısıyla esnek davranışı göstererek deprem kuvvetlerini sönümlemesine yardımcı olur. Bazı sönümleyici cihazlar kullanılarak bu deplasmanları sınırlandırılabilir

Tablo 4.3 Göreli kat öteleme oranlarını-modal analiz sonuçları

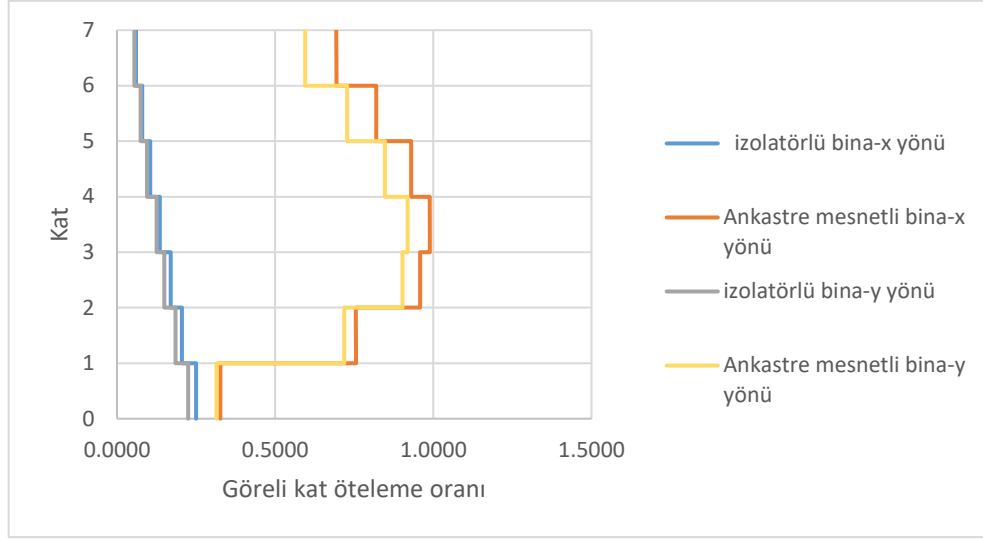
Kat	Ankastre bina		İzolatörlü bina	
	X	y	x	y
7	0,6935	0,5954	0,0440	0,0550
6	0,8200	0,7277	0,0565	0,0750
5	0,9295	0,8471	0,0720	0,0950
4	0,9889	0,9188	0,0895	0,1250
3	0,9578	0,9026	0,1075	0,1500
2	0,7553	0,7179	0,1265	0,1850
1	0,3269	0,3147	0,1480	0,2250

Tablo 4.4 Elastik kat kesme kuvvetleri ve momentleri-modal analiz sonuçları

Kat	Ankastre Bina		İzolatörlü Bina	
	F(KN)	M(KN-m)	F(KN)	M(KN-m)
7	8200	7610	3050	3382
6	19621	25641	5905	7890
5	29961	52930	8490	14713
4	39400	88620	10850	23635
3	48199	132015	13050	34484
2	56633	182659	15158	47145
1	63896	239499	16974	61355



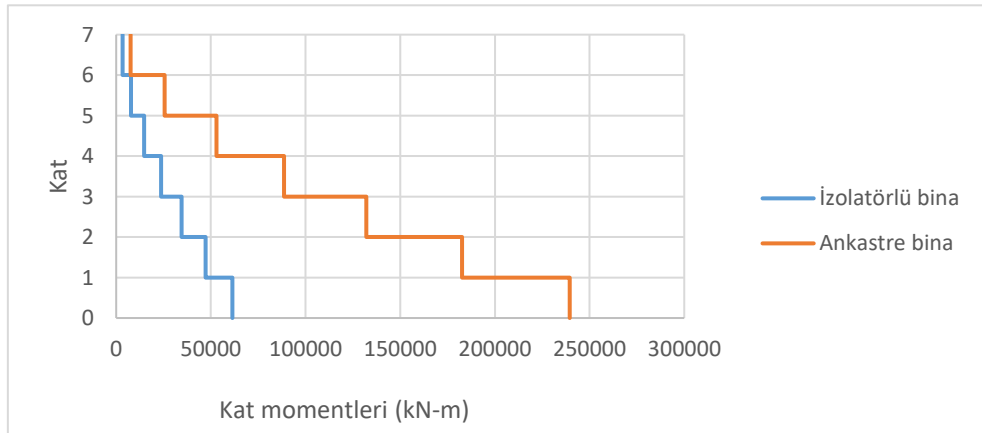
Şekil 4.1 Modal analizinde kat deplasmanlarının karşılaştırılması



Şekil 4.2 Modal analizinde görel kat öteleme oranlarının karşılaştırılması



Şekil 4.3 Modal analizinde kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.4 Modal analizinde kat momentlerinin karşılaştırılması

4.2 Zaman Tanım Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 4.5 Zaman tanım alanında kat deplasmanları

Kat	Ankastre Bina		İzolatörlü Bina	
	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
7	332	279	305	287
6	294	250	295	280
5	248	213	283	269
4	193	168	268	256
3	132	117	248	240
2	72	64	225	220
1	22	20	198	197
Taban	0	0	166	169

Tablo 4.6 Zaman tanım alanında görel kat öteleme oranları

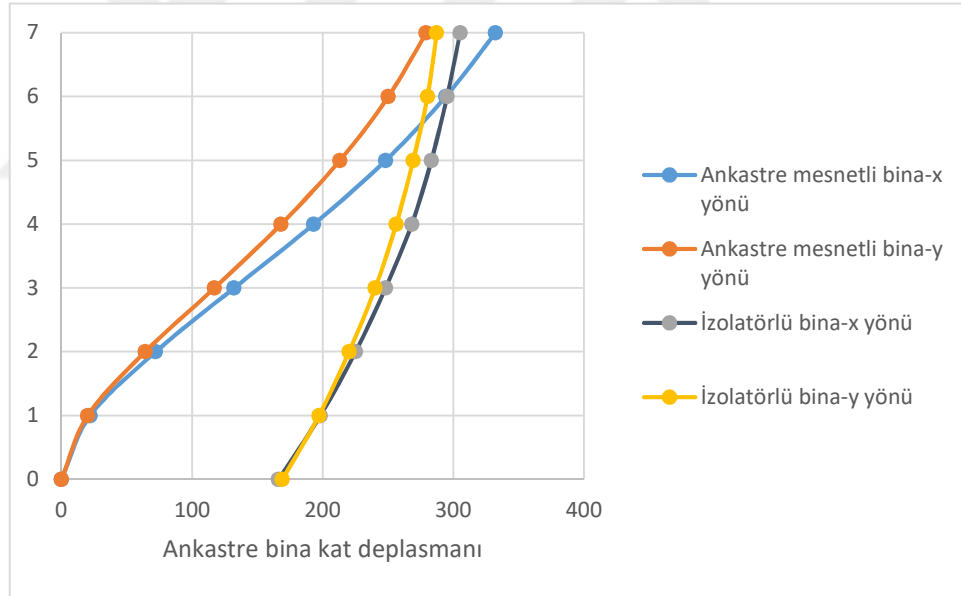
Kat	Ankastre Bina		İzolatörlü Bina	
	X	y	X	y
7	0,6529	0,6529	0,0540	0,0600
6	0,7969	0,7969	0,0684	0,0800
5	0,9330	0,9330	0,0867	0,1050
4	0,9034	0,9034	0,1065	0,1350
3	0,9675	0,9675	0,1269	0,1700
2	0,7786	0,7786	0,1479	0,2050
1	0,3403	0,3403	0,1699	0,2500

Tablo 4.7 Zaman tanım alanında kat ivmeleri

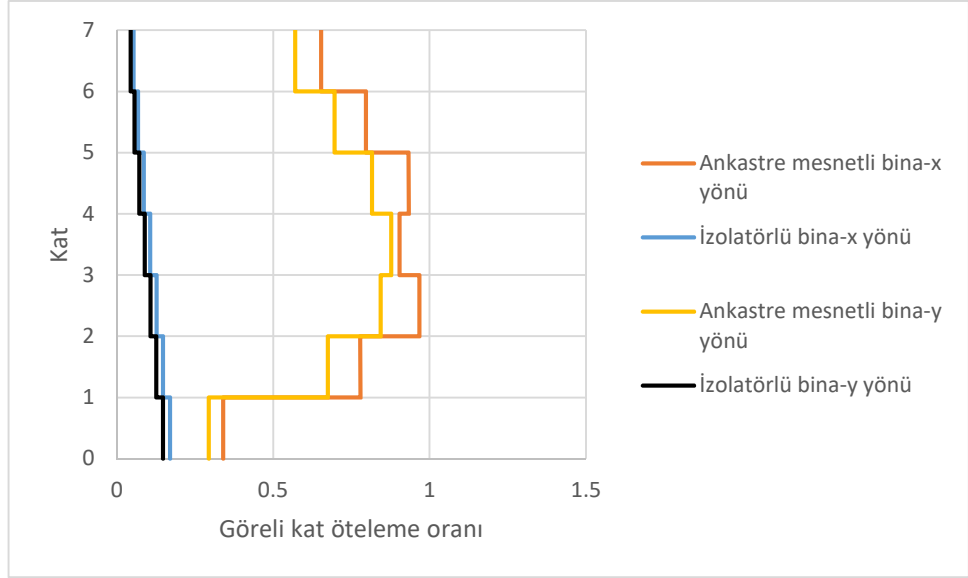
Kat	Ankastre(m/sn2)		İzolatörlü(m/sn2)	
	x yönü	y yönü	x yönü	y yönü
7	2,8244	2,9073	0,6346	0,7232
6	1,9511	2,0078	0,5877	0,6252
5	1,7520	1,8632	0,5859	0,6106
4	1,7188	1,8032	0,5307	0,5495
3	1,5400	1,6992	0,5004	0,5401
2	1,4685	1,5019	0,4822	0,5016
1	1,2804	1,1528	0,48186	0,4825
Taban	0	0	0,4792	0,4907

Tablo 4.8 Zaman tanım alanında elastik kat kuvvetleri ve momentleri

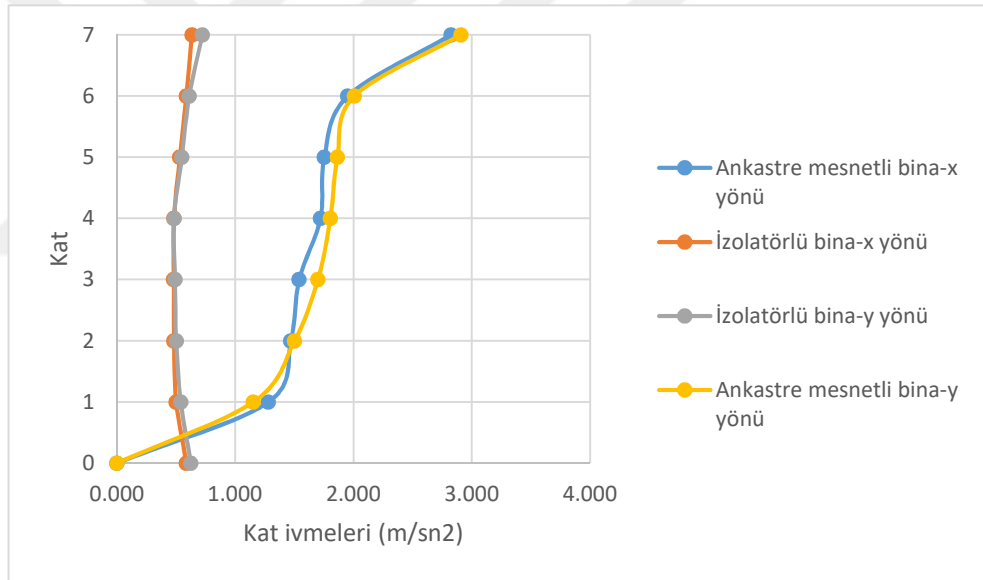
Kat	Ankastre bina		İzolatörlü bina	
	F(kN)	M(kN-m)	F(kN-m)	M(kN-m)
7	9800	8521	4120	4288
6	16191	27188	5718	8955
5	23916	53232	7649	15466
4	32266	84104	9736	23184
3	41434	117839	12028	31618
2	51343	152764	14506	40349
1	61540	188359	17055	49248



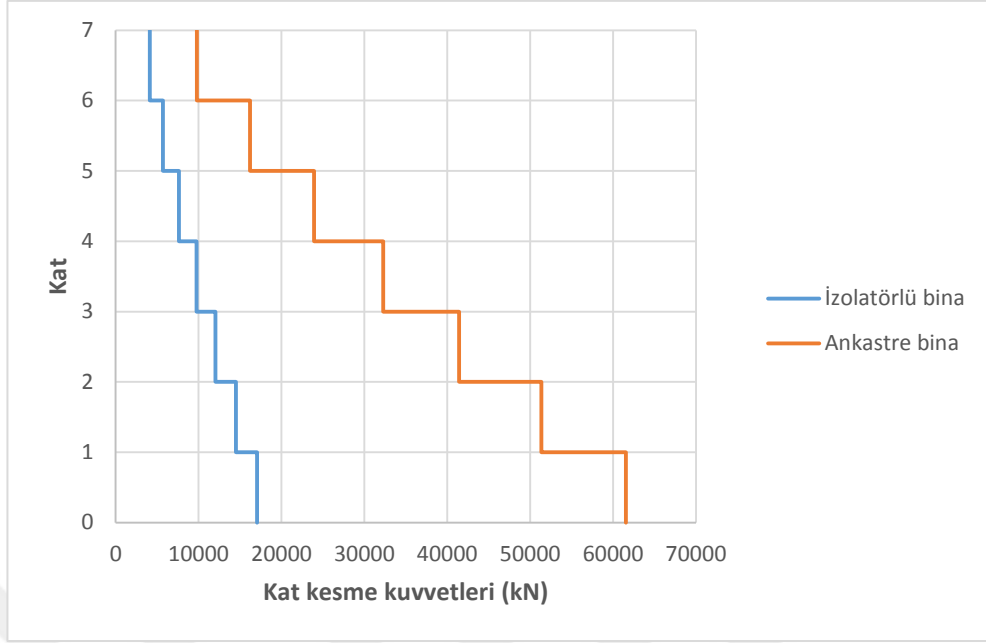
Şekil 4.5 Zaman tanım alanında kat deplasmanlarının karşılaştırılması



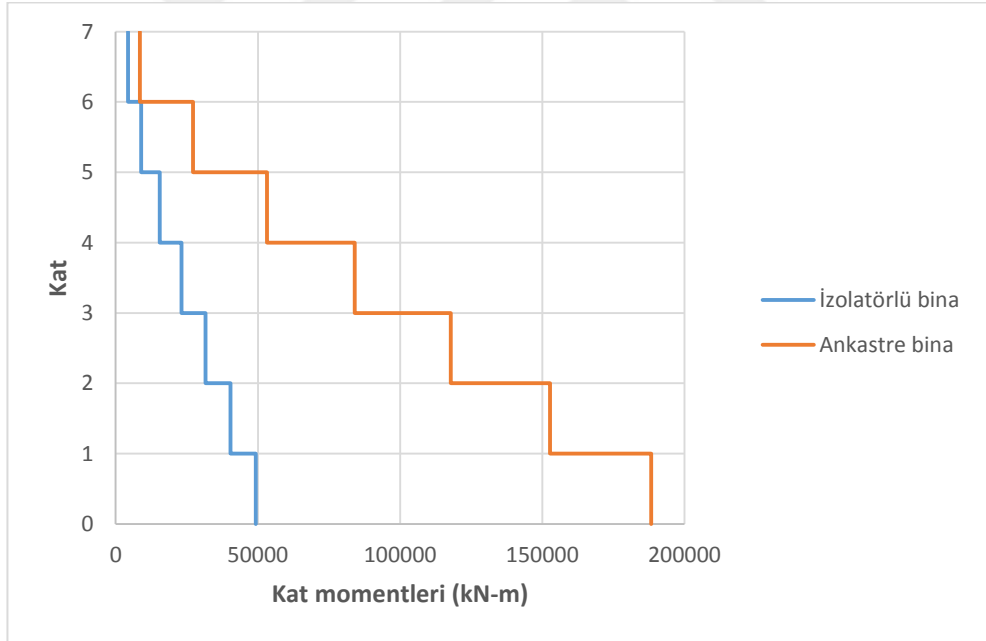
Şekil 4.6 Zaman tanım alanında görel kat öteleme oranlarının karşılaştırılması



Şekil 4.7 Zaman tanım alanında kat ivmelerinin karşılaştırılması

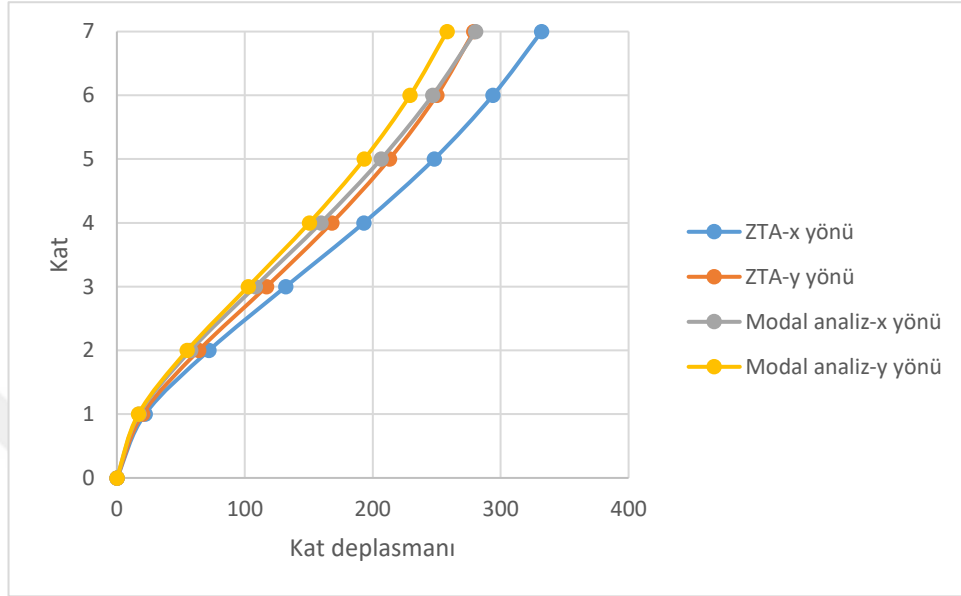


Şekil 4.8 Zaman tanım alanında kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

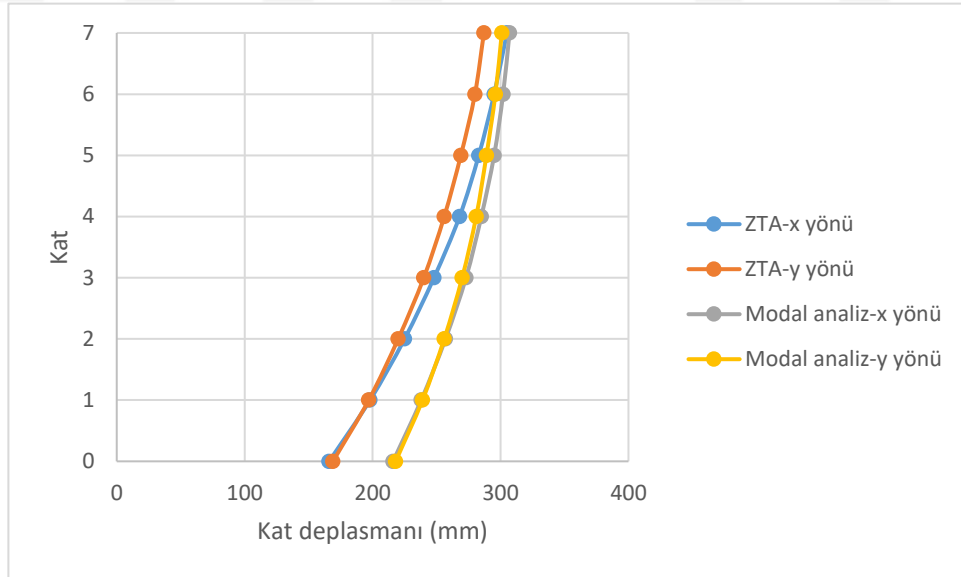


Şekil 4.9 Zaman tanım alanında kat momentlerinin karşılaştırılması

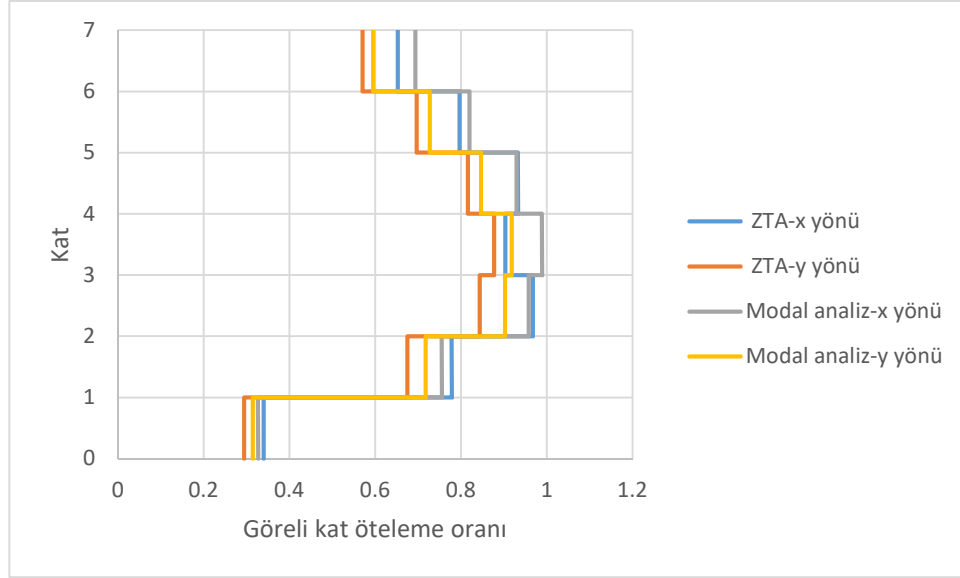
Zaman tanım alanı (ZTA) ve modal analizlerden elden edilen sonuçları özetlenmiş hali şekil 4.10, 4.11,...4.15'te verilmiştir. Ankastre durumu için her iki analiz yöntemin sonucu bir grafikte gösterilmiştir. İzolatörlü durumu için de ayrı grafikte gösterilmiştir.



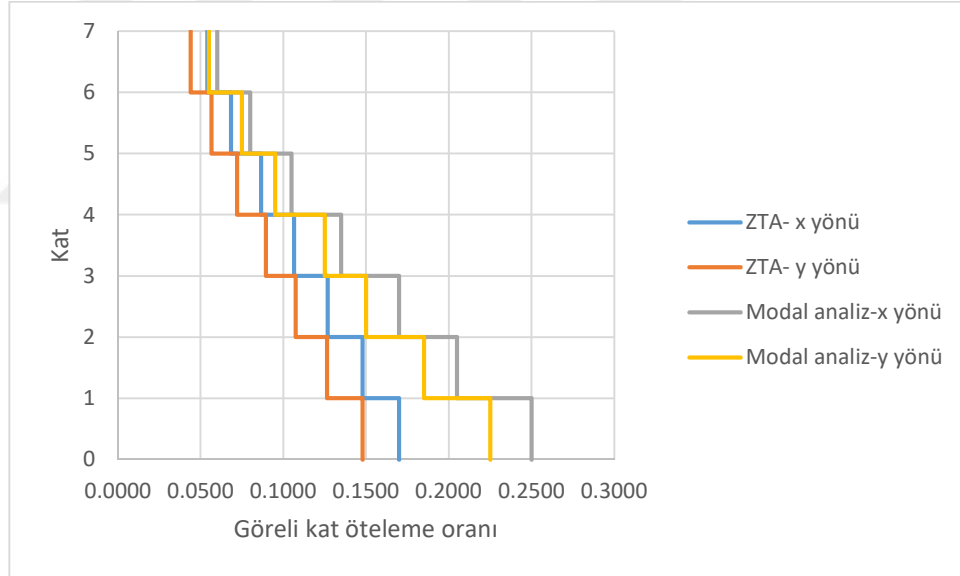
Şekil 4.10 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması (Ankastre bina)



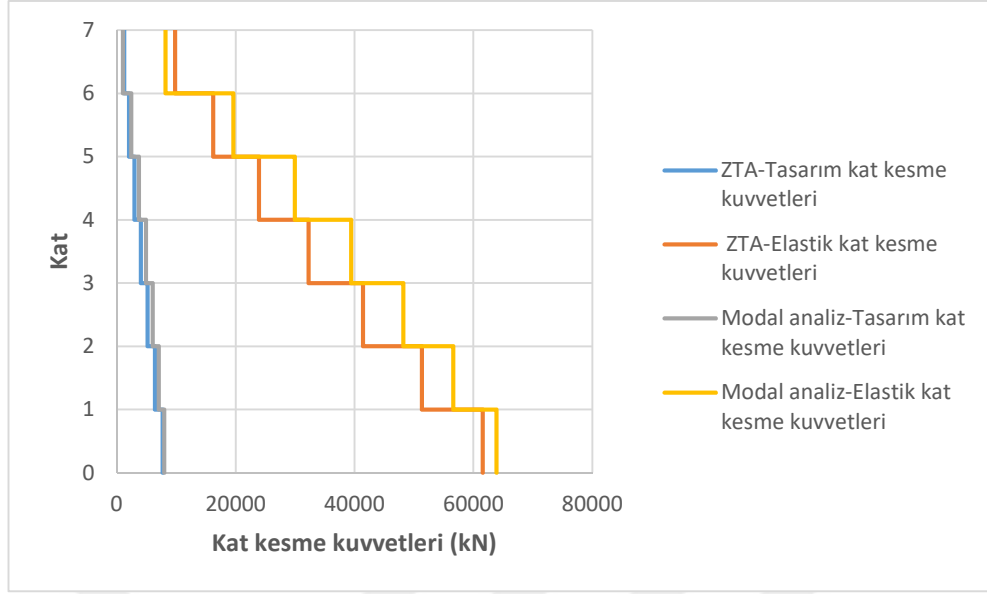
Şekil 4.11 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması (İzolatörlü bina)



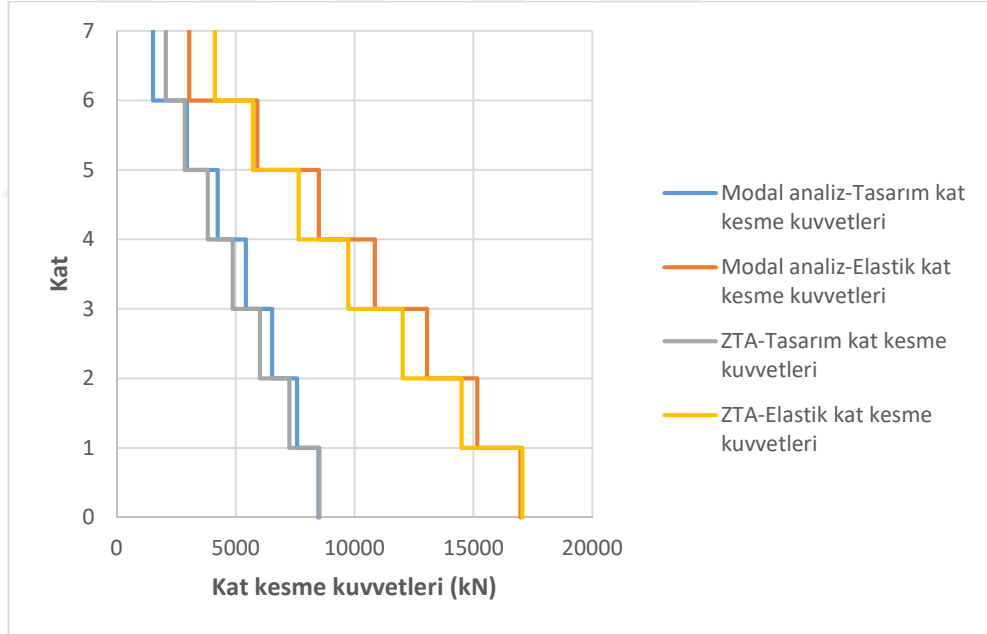
Şekil 4.12 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması (Ankastre bina)



Şekil 4.13 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması (İzolatörlü bina)



Şekil 4.14 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması (Ankastre bina)



Şekil 4.15 Zaman tanım alanı ve modal analizin karşılaştırılması (İzolatörlü bina)

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sismik izolasyon sistemleri ile, zaman tanım alanına ve modal analizlere göre yapılan analizlerde elde edilen periyotları, taban kesme kuvvetleri, kat ivmeleri, görelî kat ötelemeleri ve momentleri karşılaştırılarak değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme sonuçları aşağıda sunulmuştur:

Doğal titreşim periyotları karşılaştığımızda izolasyonlu binanın periyodu ankastre mesnetli binanın 2 katı çıkmıştır. Dolayısıyla izolasyon sistemi, yapıyı baskın periyot aralığından uzaklaştırarak deprem ivmelerinin etkisini azaltmaktadır. Böylece izolatörlü bina depremi çok az hissetmiş olacaktır.

İzolatörlü binada üst yapı bağımsız bir şekilde hareket ettiğinden deprem etkisinden az etkilenir. Üst yapının rijit hareketinden dolayı katlar arası deplasmanlar birbirlerine yakın ve en üst katta doğru deplasmanlarda önemli artış yoktur. Buna karşın ankastre binanın katlar arası deplasmanları birbirlerine yakın değildir ve üst katta doğru büyük artış göstermektedir. İzolatörlü binanın tabanında deplasman meydana gelirken ankastre bina tabanında deplasmanın olmadığı gözlemlenmiştir. İzolatörlü bina izolasyon seviyesinde deplasman yaparak deprem kuvvetleri sönmölemektedir. Her iki binada en büyük deplasman en üst katta meydana gelmiştir.

Görelî kat öteleme oranları baktığımızda, en üst katlarda izolatörlü binada ankastre binaya göre bu değerler çok düşük mertebelerdedir. Bundan dolayı olası büyük depremlerde izolatörlü binanın taşıyıcı elemanlarında hasarlar çok az olacaktır. Ankastre binada büyük görelî kat öteleme oranlarından dolayı taşıyıcı elemanlarında büyük hasarlar meydana gelecektir. İzolasyon sistemi binayı rijit davranmasına sağlanmış. Dolayısıyla görelî kat öteleme oranları bu binada çok az çıkmıştır.

Kat ivmeleri azaltmak, bina içindeki eşyaların ve kıymetli ekipmanların zarar görmeleri engellemek için önemlidir. Sonuçlardan görüldüğü gibi izolatörlü binanın kat ivmeleri ankastre mesnetli binaya göre çok düşüktür. İzolatörlü binada, en üst katın

ivme değeri ankastre mesnetli binaya göre x ve y yönde 4 kat düşük çıkmıştır. İzolatörlü binada zeminden aktarılan deprem ivmelerin etkileri az olacağı için bina içindeki cihazlar ve donanımlarda olabilecek zararlar önlenabilmektedir.

Sismik izolatörlü binada taban kesme kuvveti ankastre mesnetli binaya göre düşük çıkmıştır. Bu durumda izolatörlü binada taşıyıcı elemanlarının kesit boyutlarının küçülmesini beklenmektedir. 2018 TBDY sismik izolasyonlu binalarda taşıyıcı sistem davranış katsayısının ankastre mesnetli binalara göre daha düşük alınmasını zorunlu kılarak (Ankastre mesnetli bina 8, izolatörlü bina 2) sismik izolasyonlu binaların yatay kuvvet (tasarım kuvvetler) değerini arttırmıştır. Eğer her iki binayı aynı R katsayısı ile tasarlanmışsa, izolatörlü binada kolon kesit boyutlarının azaltılması mümkündür. Kat momentleri de her iki analiz yöntemlerde izolatörlü binada düşük çıkmıştır.

Hayati önem taşıyan, hastane gibi veya içinde değerli cihazların bulunduğu yapıları deprem bölgelerinde inşa edilirken sismik izolasyon sistemleri yapılması vazgeçilmez oluyor. Ancak bu sistemin bazı olumsuz yönleri de vardır:

Örneğin, Ankastre mesnetli yapılara nazaran bu sistemde üst yapıda tasarruf yapılırken buna karşılık izolatör maliyeti işe girdiğinden toplam bina maliyeti %5 gibi fark olduğu literatürdeki çalışmalardan görülmektedir. Bu ilk başta dezavantaj gibi görünüyor ancak binanın ömrü boyunca her oluşacak depremde ayakta kalacağı için gerçekte dezavantaj olmuyor.

Bu sistem, planda uzun ve düşeyde çok katlı binalarda tek başına kullanılması uygun değildir. Bina çok uzun olursa depremlerde yapacağı deplasmanın da çok olacağı için devrilme riski artmaktadır. Bu durumda izolatörün avantajı kalkar. Bu sistem, kolonlarında çekme kuvvetleri oluşacak binalarda kullanılması da uygun değildir.

Yumuşak dolgu zeminlerde sismik izolasyon sistemi uygun bir sistem değildir. Bu tür zeminlerde zemin hakim periyodu yüksek olduğu için üst yapının periyodunun

uzatılması bu iki periyotlarının birbirlerine yakın olmasına neden olur. Deprem sırasında yapının deprem kuvvetine tepkisi artar ve sistemin ankastre sisteminden farkı olmaz.



KAYNAKLAR

Aydın, A. (2005). *Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolasyon ve enerji sönümleyici sistemler*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı. (1997). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*. Ankara.

Celep, Z, ve Kumbasar, N, (1996). *Yapı dinamiği ve deprem mühendisliğine giriş*, üçüncü Baskı.

Cimilli S. ve Tezcan, S.S. (2002). *Seismic Base Isolation*. İstanbul. Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı.

Chopra, A. K, (1995). *Dynamics of structures, theory and applications to earthquake Engineering*. 4(12), 809-832.

Dinçer, E. A. (2013). *Temel izolasyonlu yapıların dinamik analizi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 30-37.

Düzgün, M., Bozdağ Ö. (2013). “Depreme Dayanıklı Taşıyıcı Sistem Tasarımı” Deprem Sonrası Hasar Tespit Eğitimi, TMMOB, *İzmir İnşaat Mühendisleri Odası Yayını*. 2013. İzmir.

Erkal A., Tezcan , S.S. (2011). *Seismic Base Isolation and Energy Absorbing Devices*. İstanbul Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı.

Kaya, M. (2013). “Yapılarda Sismik İzolasyon ve Deprem Enerjisi Sönümleme Teknolojileri” İMO İstanbul Şubesi. Seminer. 24 Haziran 2013. İstanbul.

Kelly, J. M. ve Naeim F. (1999). *Design of seismic isolated structures*. California.

Kösedag, B. (2002). *Yapılarda sismik izolasyon*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

Polat, Z., (2008). “Depreme Dayanıklı Betonarme Bina Tasarımında Etkin Yapı Parametreleri”. YTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Anabilim Dalı. Nisan 2008. İstanbul.

T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. (2011). *Deprem izolatör sistemleri*. Ankara. 7-21.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY). (2018). *Deprem etkisi altında yalıtımlı bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı*. 282-305.

Urgu, M.İ. (2006). *Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı*. İzmir. Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. 8-25.