T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR HASTANE YAPISININ FARKLI DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ KULLANILARAK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

GÖZDE ÇAKAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MEKANİK PROGRAMI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ZEYNEP FIRAT ALEMDAR

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR HASTANE YAPISININ FARKLI DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ KULLANILARAK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Gözde ÇAKAT tarafından hazırlanan tez çalışması 08.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT ALEMDAR

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı MOLLAMAHMUTOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Savaş ERDEM

İstanbul Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT ALEMDAR' a tez çalışmamda bana yardım ve katkılarından ötürü teşekkür ederim.

Tez çalışmamda ve meslek hayatımda bana büyük katkıları olan, hep bilgileri ışığında olmak isteyeceğim kıymetli abim İnş. Yük. Müh. Barış ŞAHİN' e gönülden teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi manevi her zaman yanımda olan aileme üzerimdeki emekleri ve kattıkları tüm değerler için sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak eşim Anıl ÇAKAT' a her anımda yanımda olduğu için teşekkür ederim.

Temmuz, 2019

Gözde ÇAKAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 3

BÖLÜM 2

BİR HASTANE YAPISININ FARKLI DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ KULLANILARAK PERFORMANSININ İNCELENMESİ 4

2.1 Deprem Yalıtımının Tanımı 4
2.2 Deprem Yalıtımının Uygulama Alanları 5
2.3 Deprem Yalıtımının Tarihsel Gelişimi 6
2.4 Deprem Yalıtımının Sağladığı Avantajlar 8
2.5 Deprem Yalıtımının Dezavantajları 9
2.6 Deprem Yalıtım Sistemlerinin Sınıflandırılması 9
2.6.1 Kauçuk Esaslı Sistemler 10
2.6.1.1 Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetli Sistemler (LDRB) 10
2.6.1.2 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemler (LRB) 11
2.6.1.3 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Yalıtım Birimleri (HDR) 14
2.6.2 Kayıcı Mesnetli Yalıtım Sistemler 14
2.6.2.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemi (FPS) 14

2.6.2.2 Çapraz Raylı Sistemler (CLB) 16
2.6.2.3 Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Birleşik Sistemi (EERC) 17
2.6.2.4 Elastik Sürtünmeli Taban Yalıtım Sistemi (RFBS) 17
2.6.2.5 Electricite – de France Sistemi (EDF) 17
2.6.2.6 TASS Sistemi (Taisei Shake Suspension System) 18
2.6.3 Helisel Yaylardan Oluşan Ayırıcı Sistemler 19

BÖLÜM 3

SAYISAL UYGULAMALAR 20

3.1 TBDY18' e Göre Hesap Yöntemleri 22
3.1.1 Depremsellik 22
3.1.2 Etkin Deprem Yükü Yöntemi 25
3.1.2.1 FPS Yalıtım Birimi Kullanılarak Etkin Deprem Yükü Yöntemi 26
3.1.2.2 LRB Yalıtım Birimi Kullanılarak Etkin Deprem Yükü Yöntemi 31
3.1.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi 39
3.1.3.1 FPS Yalıtım Birim Kullanılarak Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi 40
3.1.3.2 LRB Yalıtım Birim Kullanılarak Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi 43

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER 47

KAYNAKLAR 51

ÖZGEÇMİŞ 53

SİMGE LİSTESİ

A_L	Elastomer katmanı kenar yüzey alanı
A_P	Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinde kurşun çekirdeğin alanı
A_r	Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı
B	Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı
B_L	Kurşun çekirdek çapı
π_M	En büyük deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı
π_D	Tasarım depremi yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı
D	Yalıtım birimi için yer değiştirme değeri
G	Sabit yük
D_D	Tasarım depremi yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme
D_M	En büyük deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme
D_y	Elastomer katmanı kenar yüzey alanı
$E_d^{(H)}$	Tasarıma esas yatay deprem etkisi
E_d	Tasarıma esas toplam deprem etkisi
E_c	Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü
E'_c	Elastomer yalıtım biriminin sabit hacim kabulüne dayalı basınç modülü
ε_b	Elastomer malzemenin kopma birim şekil değiştime değeri
F	Yalıtım biriminde D yer değiştirmesine karşı gelen dayanım
F_i	i'nci kat seviyesinde göz önüne alınan deprem yönündeki yatay kuvvet
F_y	Etkin akma dayanımı
G_v	Elastomer malzemenin kayma modülü
g	Yer çekimi ivmesi
G_e	Etkin kayma modülü
H	Yalıtım birimi toplam yüksekliği
H_i	Yalıtım ara yüzü ile i'nci kat seviyesi arsındaki mesafe
h_i	i'nci kat ile (i-1)'nci kat arasındaki mesafe (kat yükseliği)
K_D	Tasarım deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım siteminin nominal etkin rijitliği
$K_{D,max}$	Tasarım deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım siteminin maksimum etkin rijitliği

$K_{D,min}$	Tasarım deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım siteminin minimum etkin rijitliği
K_M	En büyük deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım siteminin nominal etkin rijitliği
$K_{M,max}$	En büyük deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım siteminin maksimum etkin rijitliği
$K_{M,min}$	En büyük deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım siteminin minimum etkin rijitliği
K_v	Yalıtım sisteminin toplam düşey rijitliği
k_v	Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği
k_1	Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (elastik rijitlik)
k_2	Elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği
k_e	D yer değiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik
Q	TS 498' e göre azaltılmış hareketli yük
n	Hareketli yük katılım katsayısı
P	Düşey yük ve deprem yükünün ortak etkisi altında meydana gelen en büyük düşey yük
P_{cr}	Yatay yer değiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
P'_{cr}	Yatay yer değiştirme olduğu durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
F_Q	Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı (kuvvet-yerdeğiştirme çevriminde sıfır yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvvet)
R_c	Yalıtım birimi kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapı
R	Deprem yükü azaltma katsayısı
S	Şekil katsayısı
	$S_{ae}^{(DD-2)}$Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme [g]
$S_{ae}^{(DD-2)}(T_d)$	Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde T_D periyodundaki spektral ivme [g]
$S_{ae}^{(DD-1)}$	En büyük deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme [g]
$S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)$	En büyük deprem yer hareketi seviyesinde T_M periyodundaki spektral ivme [g]
T	Periyot [s]
t	Elastomer katman kalınlığı
T_D	Deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu
T_P	Yalıtım uygulanmamış binanın brüt kesit rijitliği uygulanarak hesaplanmış hakim mod titreşim periyodu
T_L	Uzun periyot bölgesine geçiş periyodu
T_M	En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu
T_A	Deprem spektrumu birinci köşe periyodu
T_r	Toplam elastomer kalınlığı
T_B	Deprem spektrumu ikinci köşe periyodu

T_v	Elastomer yalıtım birimleri ile yalıtılmış yapının düşey doğrultudaki titreşim periyodu
V_b	Tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminde oluşacak kesme kuvveti
V_{s30}	Zemin ortamının üst 30 metresi için hesaplanan ortalama kayma dalgası yayılma hızı
W	Binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığı
W_d	Tüketilen enerji (Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin içinde kalan alan)
τ_{yp}	Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi
λ_{ae}	Yaşlanma ve çevresel etkilerden etkilerinden kaynaklanan özellik düzeltme katsayısı
λ_{deney}	Yükleme hızı ve ısınma gibi etkilerinden kaynaklanan özellik düzeltme katsayısı
λ_{spek}	Üretimdeki değişikliklerden kaynaklanan özellik düzeltme katsayısı
Υ_c	Düşey yüklerden kaynaklanan açısal şekildeğiştime
Υ_s	Toplam deprem tasarım yerdeğiştirmesinden kaynaklanan açısal şekildeğiştirme
μ	Etkin sürtünme katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

BKS	Bina Kullanım Sınıfı
DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
ETABS	Yapısal Analiz Programı
FPS	Friction Pendulum System
KH	Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
KK	Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
LRB	Lead Rubber Bearings
SH	Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Ankastre mesnetli yapı ile deprem yalıtımlı yapının deprem esnasında hareketi [6] 5
Şekil 2. 2 Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali [10] 8
Şekil 2. 3 Düşük sönümlü doğal kauçuk yalıtım birimi detayı [6] 10
Şekil 2. 4 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti (LRB) [10] 11
Şekil 2. 5 LRB'lerin Histeretik Eğrilerine Bir Örnek [9] 12
Şekil 2. 6 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi detayları (LRB) [5] 13
Şekil 2. 7 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi uygulaması [6] 13
Şekil 2. 8 Yüksek sönümlü doğal kauçuk yalıtım birimi [6] 14
Şekil 2. 9 Sürtünmeli sarkaç yalıtım biriminin kesiti [13] 15
Şekil 2. 10 Sürtünmeli sarkaç yalıtım biriminin çalışma sistemi [12] 15
Şekil 2. 11 FPS' nin tipik histeretik eğrilerine bir örnek [15] 16
Şekil 2. 12 Çapraz doğrusal hareket sistemi (CLB) [10] 16
Şekil 2. 13 Electricité-de-France sistemi detayı [17] 18
Şekil 2. 14 Spiral yaylı yalıtım birimi [12] 19
Şekil 3. 1 Yapı kalıp planının bir kısmı 21
Şekil 3. 2 Yapının boy kesiti 21
Şekil 3. 3 TBDY18' e göre deprem yalıtımlı bina elemanlarının isimlendirilmesi 22
Şekil 3. 4 %5 Sönümlü maksimum doğrultu ivme spektrumları 23
Şekil 3. 5 DD1 deprem seviyesi ve ZC Zemin sınıfı için Geo-Mean olarak seçilen 11 deprem çiftine ait yatay ivme spektrumu ortalamaları 24
Şekil 3. 6 1.3xDD1 deprem seviyesi ve ZC Zemin sınıfı için Geo-Mean olarak seçilen 11 deprem çiftlerinin karelerinin karekökünün (SRSS) yatay ivme spektrumu ortalamaları 24
Şekil 3. 7 TBDY18 Şekil 14B.2' de eğri yüzeyli yalıtım birimleri kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi 27
Şekil 3. 8 TBDY18 Şekil 14A.1' de verilen eğri yüzeyli yalıtım birimlerinin kesit görünümü 32
Şekil 3. 9 TBDY18 Şekil 14A.2' de verilen eğri yüzeyli yalıtım birimleri kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi 32
Şekil 3. 10 Link U1 (Z) kuvvet-deplasman özelliği 40
Şekil 3. 11 Link U2, U3 (X ve Y) kuvvet-deplasman ilişkisi 41
Şekil 3. 12 Link U1 (Z) kuvvet-deplasman özelliği 44
Şekil 3. 13 Link U2, U3 (X ve Y) kuvvet-deplasman ilişkisi 44
Şekil 3. 14 LRB, FPS ve ankastre mesnetli durum için göreli kat ötelemeleri 48

Şekil 3. 15 LRB, FPS ve ankastre mesnetli durum için kat kesme kuvvetleri 48

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3. 1 TBDY'e göre zemin sınıfına bağlı yerel zemin etki katsayısı F_s 23
Çizelge 3. 2 TBDY'e göre zemin sınıfına bağlı yerel zemin etki katsayısı F_1 23
Çizelge 3. 3 DD-1 deprem seviyesi ve ZC zemin sınıfı için GeoMean olarak seçilen 11 deprem çiftine ait çarpım faktörleri ve diğer parametreler 25
Çizelge 3. 4 FPS yalıtım birimi için tasarım parametreleri 26
Çizelge 3. 5 TBDY18 Tablo 14.3' te verilen eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için alt ve üst sınır öneri değerleri 27
Çizelge 3. 6 TBDY18 Tablo 14.1' e göre deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları 30
Çizelge 3. 7 DD-1 İçin Alt Sınır Hesabı (FPS) 31
Çizelge 3. 8 DD-2 İçin Üst Sınır Hesabı (FPS) 31
Çizelge 3. 9 LRB yalıtım birimi için tasarım parametreleri 33
Çizelge 3. 10 LRB yalıtım biriminin özellikleri 33
Çizelge 3. 11 LRB yalıtım birimine üst yapıdan gelen yükler 34
Çizelge 3. 12 TBDY18 Tablo 14.2' ye göre elastomer yalıtım birimleri dayanım ve rijitlik parametreleri alt ve üst sınır öneri değerleri 34
Çizelge 3. 13 DD-1 Deprem Düzeyi ve Statik Durum İçin Birim Şekildeğiştirme Kontrolleri 38
Çizelge 3. 14 DD- 1 Deprem Düzeyi İçin Burulma Kontrolleri 38
Çizelge 3. 15 DD-1 İçin Alt Sınır Hesabı (LRB) 39
Çizelge 3. 16 DD-2 İçin Üst Sınır Hesabı (LRB) 39
Çizelge 3. 17 K5 numaralı köşe FPS yalıtım biriminin deplasmanları 42
Çizelge 3. 18 K304 numaralı köşe FPS yalıtım biriminin deplasmanları 42
Çizelge 3. 19 Taban kesme kuvveti değerleri (FPS) 43
Çizelge 3. 20 K5 numaralı köşe LRB yalıtım biriminin deplasmanları 45
Çizelge 3. 21 K304 numaralı köşe LRB yalıtım biriminin deplasmanları 45
Çizelge 3. 22 Taban kesme kuvveti değerleri (LRB) 46
Çizelge 3. 23 Yalıtım Birimi Alt Sınır Özellikleri ile DD-1 Deprem Düzeyi için Etkin Deprem Yükü Yöntemi 47
Çizelge 3. 24 Yalıtım Birimi Üst Sınır Özellikleri ile DD-2 Deprem Düzeyi için Etkin Deprem Yükü Yöntemi 47
Çizelge 3. 25 Yalıtım Birimi Alt Sınır Özellikleri ile DD-1 Deprem Düzeyi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi 48

ÖZET

BİR HASTANE YAPISININ FARKLI DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ KULLANILARAK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Gözde ÇAKAT

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT ALEMDAR

Geçmişten bugüne inşa edilen yapılar için en büyük tehditlerden biri depremdir. İnşaat mühendisliğinin bugünkü geldiği noktada, depremin etkilerine karşı yapıların güvende kalabilmesi için deprem yalıtımı kavramı gelişmiştir.

Bu tez çalışmasında deprem yalıtımının geçmişten bugüne gelişimi, avantajları, dezavantajları, uygulama alanları ve yalıtım birimleri hakkında bilgi verilmiştir. Esas amaç olarak en çok uygulanan deprem yalıtım birimleri olan; kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi (LRB) ve eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç yalıtım birimi (FPS), örnek bir hastane yapısına ayrı ayrı uygulanarak incelenmiş ve deprem performansları karşılaştırılmıştır. Ulaşılan sonuçlarda FPS yalıtım biriminin, LRB yalıtım birimine göre periyodunun daha uzun olduğu ve dolayısıyla deplasman talebinin daha fazla olduğu görülmüştür. Üst yapıya aktarılan taban kesme kuvveti LRB yalıtım biriminde, FPS yalıtım birimine göre daha yüksektir. Sayısal sonuçlara ek olarak LRB yalıtım birimi için birim fiyatı, FPS yalıtım birimine göre daha yüksektir. Sağlık Bakanlığı' nın deprem yalıtımlı hastane yapıları için hazırlanan güncel genelgesine göre FPS yalıtım biriminin uygulamasında %30 deney koşulu aranırken, LRB yalıtım biriminde %100 deney koşulu aranmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deprem Yalıtımı, Deprem Yalıtım Birimleri, Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtım Birimi, Sürtümeli Sarkaç Yalıtım Birimi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY18)

ABSTRACT

INVESTIGATION OF PERFORMANCE OF A HOSPITAL STRUCTURE USING DIFFERENT EARTHQUAKE ISOLATION SYSTEMS

Gözde ÇAKAT

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Zeynep FIRAT ALEMDAR

One of the biggest threats for structures which built from past to nowadays is the earthquake. At the point where civil engineering is today, the concept of earthquake isolation has been developed in order to keep the structures safe from the effects of the earthquake.

In this thesis, the development of earthquake isolation from past to present, advantages, disadvantages, application areas and the information about of isolation units are given. The main purpose is the most applied earthquake isolation units; lead core rubber isolator unit (LRB) and friction pendulum isolator unit with curved surface (FPS) are examined by applying them to a sample hospital structure and earthquake performances are compared. The results showed that the FPS isolation unit had a longer period than the LRB isolation unit and therefore the demand for displacement was higher. The base shear force transferred to the superstructure is higher in the LRB isolation unit than in the FPS isolation unit. In addition to the numerical results, the unit price for the LRB isolation unit is higher than the FPS isolation unit. According to the current regulation of the Ministry of Health prepared for earthquake-isolated hospital buildings, a 30% test condition is required in the application of the FPS isolation unit while 100% test condition is required in the LRB isolation unit.

Key Words: Earthquake İsolation, Earthquake İsolators, Lead Rubber Bearing, Friction Pendulum System, Turkey Earthquake Building Code 2018

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Deprem yalıtımı, yapının depreme karşı koyma kapasitesini arttırmak yerine yapıya gelen deprem etkisini azaltan basit bir yaklaşımdır. Ancak klasik yapı tipi ile karşılaştırıldığında uygulanması daha teknik ve nispeten pahalı bir sistemdir. Deprem yalıtım sistemleri, zeminle birlikte hareket etmek zorunda olan yapı temellerini, geri kalan taşıyıcı yapısından ayıran sistemlerdir. Deprem enerjisini önemli ölçüde sönümleyen bu enerji yalıtım sistemleri, zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerini ve hasarı azaltır. Bu sistemler sayesinde yapıların gerek deprem sırasında, gerekse hemen sonrasında faaliyetlerine devam edebilmesi sağlanmış olmaktadır. Deprem yalıtım sistemleri, bu tekniğe uygun şekilde tasarlanmış yeni yapı inşaatlarında kullanılabildiği gibi yalıtımsız olarak inşa edilmiş binalara sonradan da yerleştirilebilmektedir [1].

Deprem sebebiyle yapıya etkiyen enerji ya ısıya dönüşerek kaybolur ya da potansiyel ve kinetik enerji olmak üzere iki çeşit enerjiye dönüşür. Deprem yalıtım sistemleri gibi yapıya eklenen bazı yalıtım birimleri ile yapıya giren enerjinin bir kısmı sönümlenerek yapının deprem performansı arttırılmaktadır. Bu yöntemle yapıya etki eden enerji miktarının yalıtım birimleri tarafından azaltılarak yapıya aktarılması sağlanmış olduğundan yapının karşılaşacağı deprem enerjisi azalmakta ve yapının depreme karşı dayanımı artmaktadır [2]. Deprem etkisine karşı dayanımlı geleneksel tasarım yöntemlerinde yapıların yüksek şiddetteki deprem hareketlerine karşı direnci ya yüksek dayanım ve rijitlik ya da yüksek süneklik ile sağlanabilmektedir. Bu yöntemlere ek olarak geliştirilen "deprem yalıtımı" yönteminde amaç, yapının tabanına enerji

sönümleyebilen elemanlar konularak yapının periyodunu arttırıp zeminden yapıya aktarılan deprem etkilerinin azaltılmasıdır [3]. Deprem yalıtım yöntemi, yapı ve zemin arasındaki etkileşimi azaltarak yapının tabanında, düşeyde rijit ancak yatayda esnek olan, belli ölçülerde deplasman yapabilecek yalıtım birimleri konularak üst yapıyı yer hareketinden ayırma işlemidir [4].

Birçok ülkedeki depreme karşı dayanıklı yapı şartnamelerinde geleneksel tasarım anlayışının ortaya çıkışı aşağıdaki gibidir:

i. Hafif şiddetteki depremlerde, yapıda hiç hasar oluşmamalıdır.

ii. Orta şiddetteki depremlerde, yapısal elemanlarda oluşabilecek hasar, hafif ve onarılabilecek düzeyde olmalıdır.

iii. Yüksek şiddetteki depremlerde yapısal elemanlarda oluşabilecek hasarın ciddi ve onarılamayacak düzeyde olması kabul edilebilir. Bina kullanılamaz halde olsa bile tamamen göçme durumu olmamalıdır [5].

Yeni yapılacak deprem yalıtımlı yapılarda ise TBDY18' e göre minumum performans hedefleri şu şekildedir:

i. DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 olan) deprem yer hareketi düzeyi için üst yapıda; bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği "Hemen Kullanım" performans seviyesi sağlanmalıdır.

ii. DD-1 (50 yılda aşılma olasılığı %2 olan) deprem yer hareketi düzeyi için altyapı ve yalıtım sisteminde; bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği "Kesintisiz Kullanım" performans seviyesi sağlanmalıdır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezde en çok tercih edilen iki farklı deprem yalıtım birimi türünün (LRB, FPS), bir hastane yapısına uygulanması sonucunda etkilerinin incelenmesi ve performanslarının karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Deprem yalıtımı amacıyla kullanılan yalıtım birimlerinin yapıda uygulanması ve etkilerinin incelenmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma yararlı olması amacıyla en çok kullanılan iki yalıtım birimi tipi olan LRB ve FPS yalıtım birimi tipleri için yapılmıştır. Sayısal sonuçların ışığında örnek hastane yapısı için her iki deprem yalıtım biriminin olumlu ve olumsuz özelliklerinin belirlenmesi ve karşılaştırılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

BİR HASTANE YAPISININ FARKLI DEPREM YALITIM SİSTEMLERİ KULLANILARAK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

2.1 Deprem Yalıtımının Tanımı

Deprem yalıtımı; bina ile zemin arasına düşeyde yüksek, yatayda düşük rijitliğe sahip elemanlar ekleyerek, yapının gelecek yüksek frekanslı deprem hareketlerine karşı korunması amacıyla oluşturulan sistemdir.

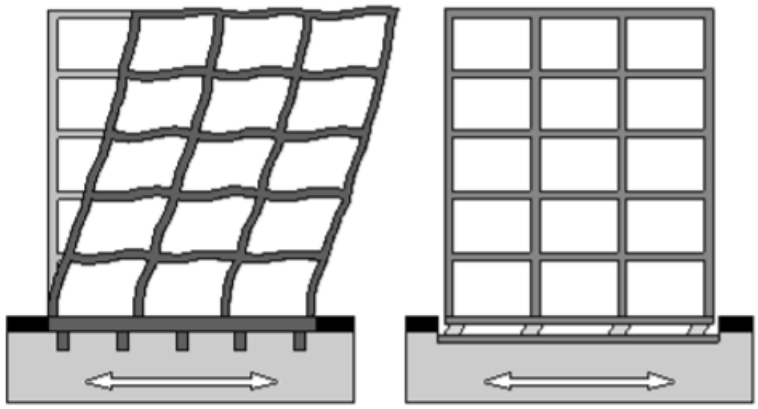
Deprem yalıtımı, yapıları deprem etkilerinden korumak amacıyla geliştirilen bir yalıtım sistemidir. Bu yalıtım sisteminin amacı, yapıya etki eden deprem yüklerinin azaltılmasıdır. Deprem yalıtımı yapının depreme karşı dayanım kapasitesini arttırmak yerine, yapıların periyodunu uzatarak yapıya gelecek deprem kuvvetini azaltmak amacına dayanan depreme karşı dayanıklı bir tasarım yaklaşımıdır.

Deprem yalıtımı, yapıya zeminden aktarılabilecek deprem kuvvetlerini azaltmak veya yapının depreme karşı dayanım kapasitesini arttırmak esasına dayanan, depreme karşı dayanıklı bir yapı tasarımı yaklaşımı olarak da ifade edilebilir. Deprem yalıtım birimleri; deprem sırasında binaların periyodunu uzatarak, binaya gelen sismik enerjiyi azaltır. Böylece bina depreme karşı daha güvenli bir duruma gelir.

Deprem yalıtım sistemi, klasik olan güçlü ve sünek bir bina yapımı mantığına karşın, yapıya gelen deprem etkisini azaltmayı amaçlayan bir yöntemdir. Şiddetli bir depremde insanların hayatta kalabilmelerinin dışında, sosyal ve ekonomik faaliyetlerin devam edebilmesi amacıyla, yapıların işlevlerinin duraksamadan devam etmesi gerekliliği veya talebi söz konusu olduğunda, mevcut deprem yönetmeliklerinden daha gelişmiş bir

tasarım yaklaşımının gerekli olduğu çok nettir. Bu bağlamda en güvenilir, çağdaş ve güncel yöntem deprem yalıtım yöntemidir. Sismik temel yalıtımı veya sismik yalıtım olarak da bilinir.

Şekil 2.1' de gösterildiği üzere, deprem yalıtımlı bir yapı, hem bir deprem yer hareketinde neredeyse rijit bir şekilde hareket edebilen üst yapısıyla göreli kat ötelemelerinin azaltılması için gereken "rijitliğe" sahiptir; hem de büyük yerdeğiştirmelerin odaklandığı yalıtım sistemiyle kat ivmelerinin azaltılması için gereken "esnekliğe" sahiptir [2].



Şekil 2. 1 Ankastre mesnetli yapı ile deprem yalıtımlı yapının deprem esnasında hareketi [6]

2.2 Deprem Yalıtımının Uygulama Alanları

Deprem yalıtım uygulaması; oldukça maliyetli olması sebebiyle, öncelikli olarak daha çok aşağıda belirtilen yapılarda uygulanmaktadır.

i. Deprem performansının yüksek olması istenen tüm yapılar
ii. Sağlık merkezleri, hastaneler ve dispanserler
iii. Stratejik konum ve öneme sahip binalar (askeri, sivil savunma vb. binalar)
iv. İtfaiye binaları ve tesisleri
v. PTT ve diğer iletişim tesisleri
vi. Ulaşım istasyonları, hava alanları ve terminaller, viyadük ve köprü gibi sanat yapıları

vii. Enerji üretim ve dağıtım tesisleri

viii. İlk yardım, afet planlama ve kriz merkezleri

ix. Toksik, patlayıcı vb. özelliklerde olan maddelerin depolandığı veya bulunduğu tesisler

x. Bilgi işlem merkezleri

xi. Tarihi yapılar, müzeler (Var olan yapılarda da kullanılabilme özelliği)

2.3 Deprem Yalıtımının Tarihsel Gelişimi

Deprem yalıtım birimlerini binaların altına yerleştirme düşüncesi ilk olarak Tokyo Üniversitesi profesörlerinden sismolog Dr. John Milne tarafından ortaya atılmıştır. 1876-1895 yılları arasında Dr. Milne konuyla alakalı çeşitli çalışmalarda bulunmuştur. Dr. Milne ilk olarak yalıtım birimi olarak 25 cm çapında dökme demir bilyeler kullanmıştır. Bu tasarım ile yapılmış bina hafif deprem yükleri altında iyi bir performans göstermiş olsa da rüzgâr yükleri karşısında iyi bir performans gösterememiştir. Dr. Milne daha sonraki çalışmalarında, bilyelerin çapını 2,5 cm' ye düşürerek hem deprem yükleri hem de rüzgar karşısında stabilitesini koruyabilen bir bina tasarlamayı başarmıştır [7].

Jacob Bechtold (Münih), bina altına yerleştirilmiş rijit bir taban plakasının sert kürelerin üzerinde kaydığı sistem önerisi hakkında ABD patent ofisine 1906 yılında başvuruda bulunmuştur.

1908 yılında Messimo-Reggio depreminin ardından deprem yalıtımı fikri, depreme dayanıklı bir yapı tasarımı yaklaşımı olarak ilk kez İtalyan Hükümeti tarafından tartışmaya açılmıştır [8].

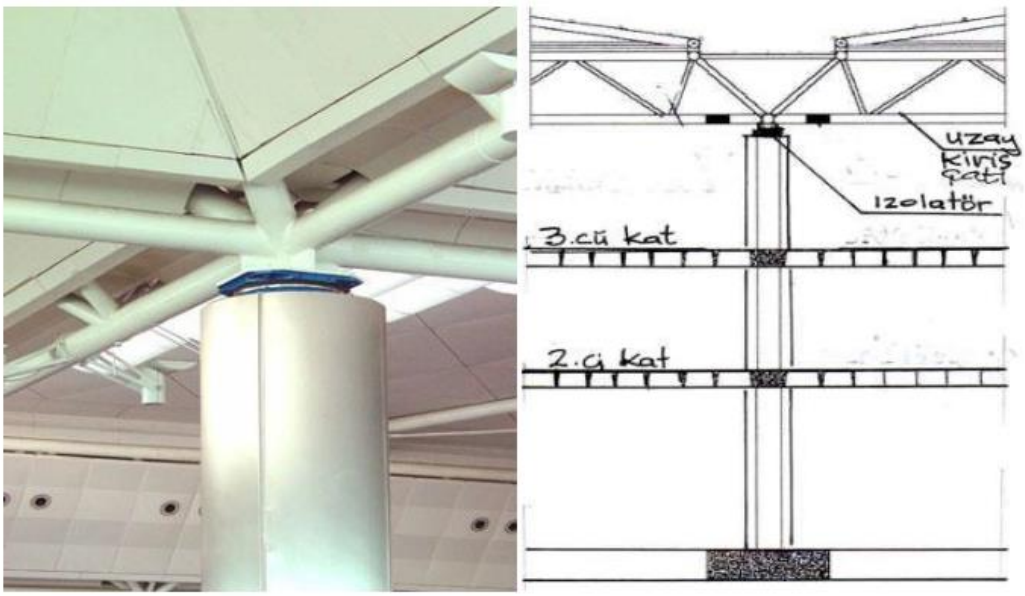
1909 yılında aslında bir tıp doktoru olan Johannes Avetican Calantarients (Scarborough, İngilere) talktan (bir nevi kaygan mineral) oluşan bir tabakayla yapıyı temelden ayırma fikri ile ilgili bir patent başvurusu yapmıştır [6].

Frank Lloyd Wright 1921 senesinde Tokyo' daki Imperial Hotel binasını deprem yalıtımı kavramıyla tasarlamıştır. Wright binanın oturacağı zemin profilinin 2,5 m kalınlığında sağlam bir zemin tabakası ile onun altındaki yaklaşık 20 m kalınlığında yumuşak çamur

tabakasından oluştuğunu gözlemlemiştir. Wright binayı deprem etkilerinden korumak amacıyla, yakın aralıklarla sağlam zemin tabakasına kazıklar çakarak sağlam zemin tabakası ile binayı birleştirmiş ve böylece çamur tabakası üzerinde yüzen bir sistem oluşturmaya çalışmıştır. Imperial Hotel binası 1923 yılında meydana gelen yıkıcı Tokyo depremini hasarsız atlatmayı başarmıştır [6]. Bu sonuç Wright' in ortaya koyduğu yaklaşım açısından doğru bir noktada olduğunu göstermektedir.

1974 yılında William Robinson kurşun çekirdekli yalıtım birimini icat etmiştir (Yeni Zelanda). 1981 yılında Yeni Zelanda' nın Wellington şehrinde inşaası tamamlanan "William Clayton Building" adlı yapı, kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinin kullanıdığı ilk yapıdır [9]. 1982 yılında bir İngiliz Kurumu olan "Malaysian Rubber Producers Research Association (MRPRA)" tarafından yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimleri geliştirilmiştir [8]. Sürtünmeli sarkaç yalıtım birimi 1985 yılında Victor Zayas tarafından icat edilmiştir (Kaliforniya, ABD).

Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali' nin Sismik Modernizasyonu Projesi kapsamında yapılan uygulama, Türkiye' de deprem yalıtımının uygulandığı ilk yapıdır. 250x225 m^2' lik alana kurulmuş olan bu yapıda deprem yalıtımı, 7 m yüksekliğindeki beton kolonlar ile uzay kafesten yapılmış çatı arasına 130 adet sürtünmeli sarkaç yalıtım birimlerinin (FPS) yerleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.2). Proje "Amerikan Mühendislik Şirketleri Konseyi (American Council of Engineering Companies - ACEC)" tarafından ödüle layık görülmüştür [6].



Şekil 2. 2 Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali [10]

2.4 Deprem Yalıtımının Sağladığı Avantajlar

Deprem yalıtımı sayesinde aşağıda belirtilen yararlar sağlanmaktadır:

a. Şiddetli depremlerden sonra bile hemen kullanım,

b. Yüksek oranda can güvenliği

c. Yapının taşıyıcı elemanlarında minimum düzeyde deprem hasarı,

d. Hemen kullanım sayesinde iş kaybının önlenmesi,

e. Yeniden inşaat ya da onarım maliyetlerine gerek kalmaması,

f. Ulaşım yapılarında sürekli kullanım,

g. Köprü ve viyadüklerin kullanımında süreklilik,

h. Tarihi binalar, müzeler gibi değerlerin korunması,

i. Yapı içerisindeki değerli cihazların korunumu,

j. Bakım gereksiniminin minimum düzeyde olması,

k. ARGE projelerinin korunması.

2.5 Deprem Yalıtımının Dezavantajları

i. Bina çevresindeki sismik boşluk alan kaybına sebep olduğu için üstü kapatılmalıdır.

ii. Esnek bağlantılar (elektrik kablosu, su boruları, v.b.) kullanılmalıdır.

iii. Yalıtım arayüzüyle kesişen asansör sistemi varsa, detaylandırılmalıdır.

iv. Yalıtım sistemini birbirine bağlayan ek döşeme ve kiriş sistemi olmalıdır.

v. Bina çevresinde istinat duvarlarına ihtiyaç duyulabilmektedir.

vi. İleri seviyede mühendislik analizi ve mimari detaylandırma gerektirir.

vii. Maaliyet açısından daha pahalıdır.

2.6 Deprem Yalıtım Sistemlerinin Sınıflandırılması

Deprem yalıtım sistemleri 3 temel başlıkta incelenebilir [11]:

i. Kauçuk esaslı sistemler:

- Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetli sistemler (LDRB),
- Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemler (LRB),
- Yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetli sistemler (HDNR).

ii. Kayıcı mesnetli yalıtım sistemleri:

- Sürtünmeli sarkaç sistemi (FPS),
- Çapraz raylı sistemler (CLB),
- Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Birleşik Sistemi (EERC),
- Elastik sürtünmeli taban yalıtım sistemi (RFBS),
- Electricite – de France sistemi (EDF),
- TASS Sistemi (Taisei Shake Suspension System)

iii. Helisel yaylardan oluşan ayırıcı sistemler:

- Gerb Heliselik Yay Sistemleri

Bu sistemlerden günümüzde en çok, kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi ve sürtünmeli sarkaç yalıtım birimi kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında bu iki deprem

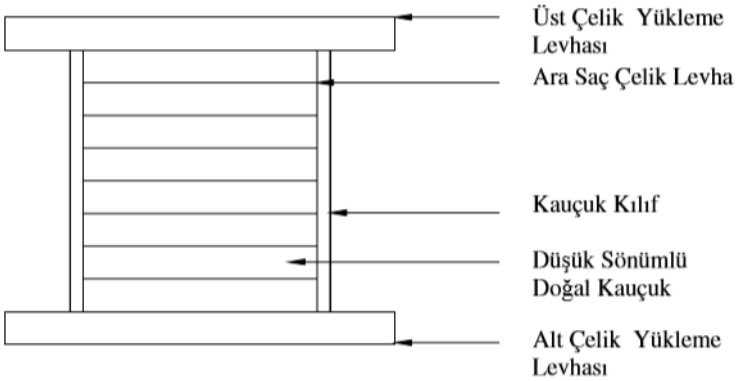
yalıtım sistemi kullanılacağından; kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi (LRB) ve sürtünmeli sarkaç yalıtım birimi (FPS) hakkında daha detaylı açıklama yapılacaktır.

2.6.1 Kauçuk Esaslı Sistemler

2.6.1.1 Düşük Sönümlü Doğal Kauçuk Mesnetli Sistemler (LDRB)

Düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetli sistemler, Şekil 2.3' te görüldüğü gibi üstte ve altta olmak üzere iki adet çelik yükleme (montaj) levhasının arasına, şeritler halinde ve birden çok sayıda düşük sönümlü doğal kauçuk malzeme ve ara saç levhalarının koyulmasıyla oluşur. Vulkanizasyon işlemine tabi tutulan kauçuk, bir kalıp içinde uygulanan yüksek sıcaklık ve basınç altında tek bir işlemde çelik malzemeyle bağlanır. Çelik yükleme levhaları düşey kuvvetlerin homojen bir şekilde yalıtım birimlerine aktarılmasını sağlar. Çelik ara saç levhalar ise doğal kauçuk malzemenin iki yana şişmesini yani yanal deformasyon yapmasını engellemek amacıyla kullanılırlar. Bu çelik ara saç levhalarının, yalıtım biriminin yatay rijitliği üzerinde etkisi olmadığı için sistemin yatay yükler altındaki davranışını da etkilemezler. Genellikle istenilen rijitlik, tabaka kalınlığı değiştirilmeksizin kauçuk tabaka sayısında değişiklik yapılmasıyla sağlanır [6].

Japonya' da bu tipteki kauçuk yalıtım birimleri genel olarak ilave sönüm cihazları ile beraber kullanılmıştır. Fransa' da, Japonya' da kullanılan doğal kauçuk yerine neopren kullanımı tercih edilmiştir. Yeni Zelanda' da ise 1970' li yıllarda kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinin geliştirilmesi sonucunda düşük sönümlü kauçuk yalıtım birimleri önemini yitirmeye başlamıştır [8].

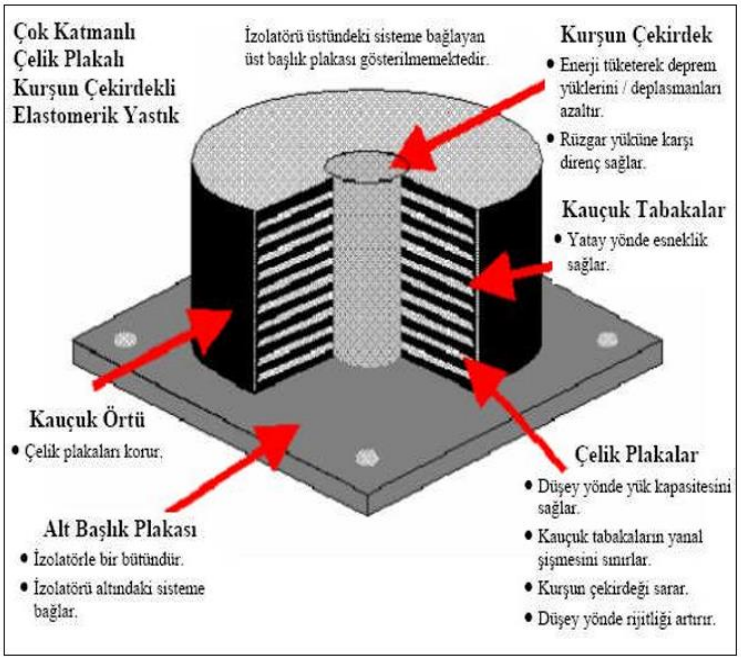


Şekil 2. 3 Düşük sönümlü doğal kauçuk yalıtım birimi detayı [6]

2.6.1.2 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Sistemler (LRB)

Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler, düşük sönümlü kauçuk mesnetli sistemlerin benzeridir. Aradaki fark; kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemlerde, ilave rijitlik sağlanması amacıyla kurşun çekirdek kullanılmış olmasıdır. Şekil 2.4' te kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesit örneği gösterilmiştir.

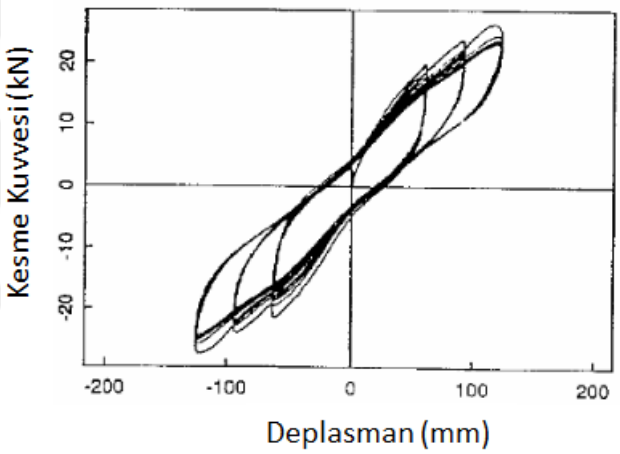
Yaygın olarak Amerika, Japonya, Yeni Zelanda gibi ülkelerde kullanılan kurşun çekirdekli yalıtım birimi, kauçuk ve çelik levhaların preslenmesi şeklinde imal edilen yalıtım birimleridir. Düşük sönümlü kauçuk mesnetli sistemlerden farklı olarak, kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli sistemlerin ortasında kurşun çekirdek bulunmaktadır. Bu çekirdek, yalıtım biriminin enerji sönümleme kapasitesinin sağlamasında önemli rol oynar. Kauçuk yalıtım birimleri, depremin yarattığı dinamik yükleri emerek yapının periyodunu arttırırlar. Bir yapının etkin periyodunun 0.1 ile 1 saniye arasında olduğu düşünülürse kauçuk yalıtım birimlerinin uygulandığı yapıda bu salınım periyodu 2 - 3 saniyeye uzar [10].



Şekil 2. 4 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti (LRB) [10]

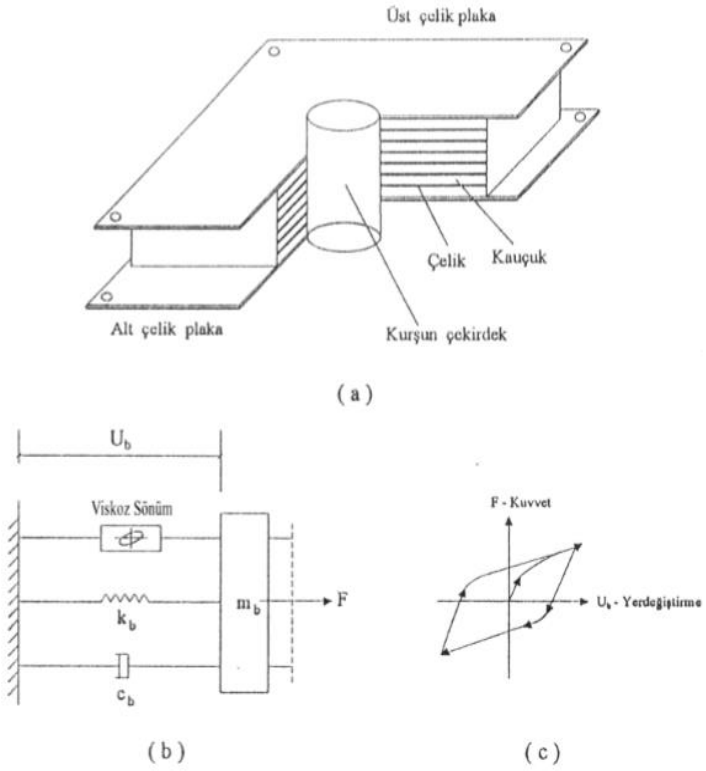
Yalıtım biriminin içinde bulunan çelik levhalar, kayma sırasında kurşun çekirdeği şekildeğiştirmeye zorlamaktadır. Yalıtım biriminin içindeki kurşun, 10 MPa civarındaki bir kesme gerilmesinde fiziksel olarak şekildeğiştirmektedir. Böylece yalıtım biriminin

davranışının bilineer olması sağlanmaktadır. Bu tipteki mesnetlerde sönüm değeri %15 ile %30 arasında olabilmektedir. Kurşun çekirdeğin enerji sönümleme kapasitesi yalıtım biriminin yatay yerdeğiştirmesinin azalmasının sağlamaktadır. Bu yalıtım sistemi prensip olarak histeretik sönümleyici aletler gibi davranmaktadır. Bu sebeple kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinin kuvvet-yerdeğiştirme özelliği, lineer olmayan diferansiyel denklemlerin kurulmasıyla modellenebilmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım biriminin histeretik eğrilerine bir örnek Şekil 2.5' te verilmiştir. Bu yalıtım birimi sisteminin en önemli sakıncası; şiddetli bir yer hareketinden sonra kurşun çekirdekte hasar meydana gelip gelmediğinin dışarıdan görülememesidir. 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinde, bu yalıtım birimleri ile yapılan deprem yalıtımlı binalar iyi bir performans sergilemişlerdir [5].

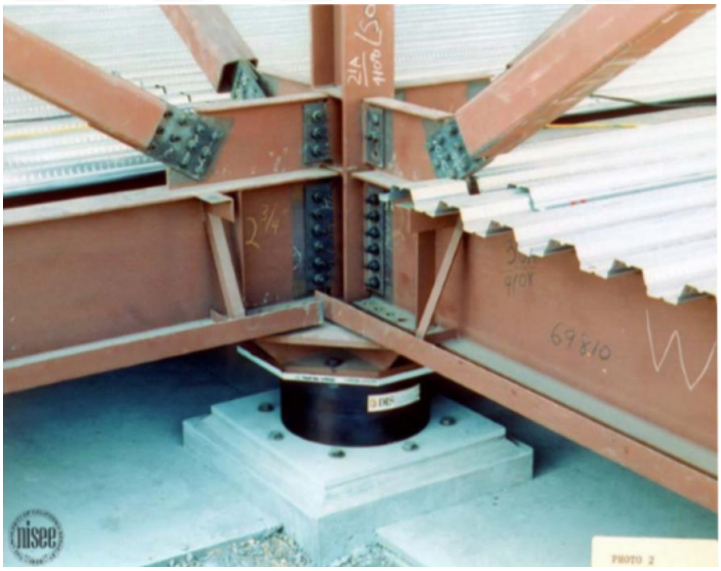


Şekil 2. 5 LRB'lerin Histeretik Eğrilerine Bir Örnek [9]

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi kesiti Şekil 2.6.a' da, şematik modeli Şekil 2.6.b' de ve nonlineer kuvvet-yerdeğiştirme davranışı Şekil 2.6.c' de verilmiştir. Şekil 2.7' de ise bu yalıtım biriminin uygulamasıyla ilgili bir örnek verilmiştir.



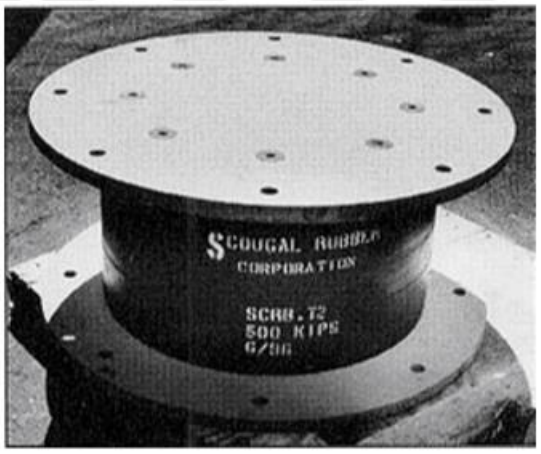
Şekil 2. 6 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi detayları (LRB) [5]



Şekil 2. 7 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi uygulaması [6]

2.6.1.3 Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk Yalıtım Birimleri (HDR)

Yüksek sönümlü doğal kauçuk yalıtım birimleri, 1982 yılında "Malezya Kauçuk Üreticileri Birliği (MRPRA)" tarafından düşük sönümlü kauçuk yalıtım birimlerinin ek sönümleyici ihtiyacını ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir. Sönüm, ilave edilen karbon bloklar, reçineler veya yağlar ve diğer dolgu maddeleriyle arttırılmıştır. Bu sönüm %100 kayma deformasyonları altında %10-20 oranındadır. Yalıtım birimlerindeki sönüm, ne çevrimsel ne de viskozdur. Bu sönüm, her ikisi arasında bir davranıştadır. Deney sonuçlarında görülmüştür ki bu elemanların davranışı elastoplastik ve lineer viskoz elemanların davranışının birleşimidir. Bu yalıtım birimlerinin iyi bir yönü de, yüksek frekanstaki trafik veya yeraltı demiryollarından kaynaklanan titreşimlerin yapıya ulaşmadan sönümlenebilmesidir [8]. Tipik bir yüksek sönümlü doğal kauçuk yalıtım biriminin görünümü Şekil 2.8' de verilmiştir.



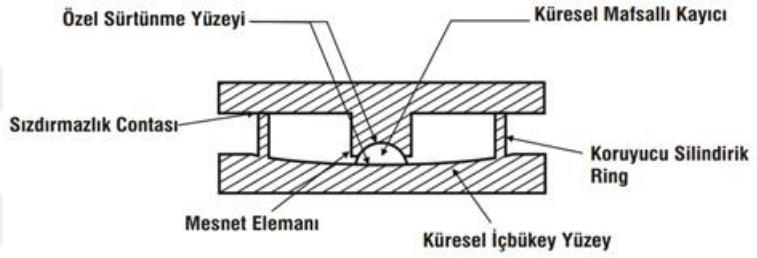
Şekil 2. 8 Yüksek sönümlü doğal kauçuk yalıtım birimi [6]

2.6.2 Kayıcı Mesnetli Yalıtım Sistemler

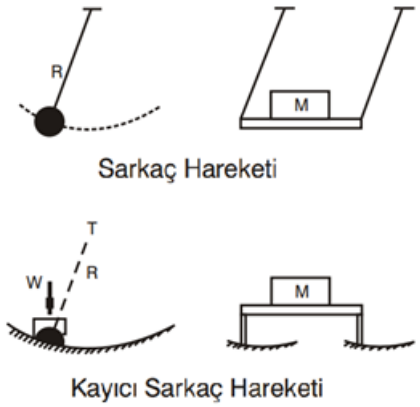
2.6.2.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemi (FPS)

Mesnet elemanı, sürtünmeli sarkaç sisteminde içbükey küresel yüzey üzerinde yatayda kayma hareketi yapabilmektedir. Bu yatay hareket esnasında, aynı zamanda binayı yükselten düşey bir hareket özelliğine de sahip olması sebebiyle, hem yapının başlangıç konumuna dönebilmesini sağlamakta hem de üzerine gelen deprem enerjisini mafsallı kayıcı ile küresel yüzey arasındaki sürtünmeden dolayı %80 oranında sönümleyebilmektedir [12]. Şekil 2.9' da sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım biriminin kesiti

verilmiştir. Deprem enerjisi, içbükey kısmın sarkaç prensibine dayanarak yapı ağırlığının kullanılması sayesinde sönümlenebilmektedir. Sürtünme kuvveti yalıtım yüzeyinin eğrilik yarıçapına ve mesnetteki normal kuvvete bağlı olup, depremde oluşabilecek taban kesme kuvvetinin üst sınır değerini oluşturmaktadır. Şekil 2.10' da sürtünmeli sarkaç yalıtım biriminin ağırlık altındaki çalışma sistemi verilmiştir. Sürtünmeli sarkaç sistemleri için sistemin geometrisi ve taşıdığı ağırlık önemli parametrelerdir. Çünkü sistemin davranışı basit bir sarkaç hareketinin temel prensiplerine dayanır ve sürtünmeli sarkaçla mesnetlenen yapı deprem hareketine küçük genlikli sarkaç hareketleriyle tepki vermektedir [12].



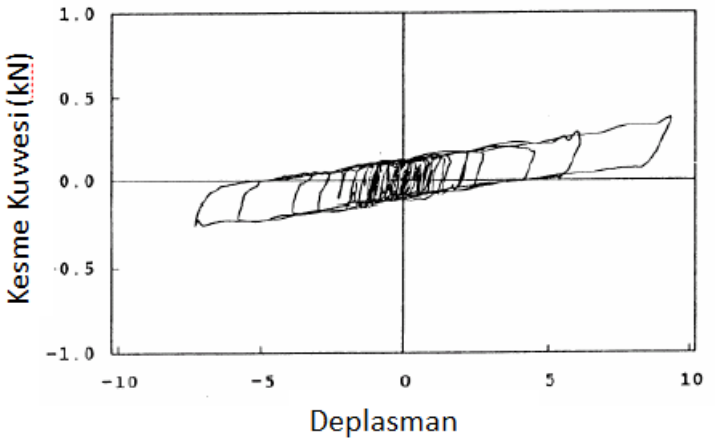
Şekil 2. 9 Sürtünmeli sarkaç yalıtım biriminin kesiti [13]



Şekil 2. 10 Sürtünmeli sarkaç yalıtım biriminin çalışma sistemi [12]

Şekil 2.11' de, FPS' lerin tipik histeretik eğrileri için bir örnek gösterilmiştir. Bu tip yalıtım birimleri ile mesnetlenmiş binalar sürtünme kuvvetinin altındaki deprem yüklerinde ankastre mesnetli yapı gibi davranış gösterir. Deprem kuvvetleri bu sınır değeri geçtiğinde kayma hareketi başlar ve sistemin periyodu yükselir. Böylece binada deprem yalıtımı sağlanmış olur. FPS' lerin başka bir özelliği ise yatay rijitliklerinin taşınan ağırlık ile orantılı olmasıdır. Bu sebeple mesnetlerin rijitlik merkezi ile yapının

kütle merkezi kendiliğinden çakışır ve asimetrik yapılarda burulma momentleri oldukça düşük olur [14].



Şekil 2. 11 FPS' nin tipik histeretik eğrilerine bir örnek [15]

2.6.2.2 Çapraz Raylı Sistemler (CLB)

Çapraz doğrusal hareket sistemi (CLB), iki adet düşük sürtünmeli ve doğrusal hareket eden bloğun, birbirine dik olarak konumlandırılmış iki adet doğrusal raya monte edilmesi ile oluşmaktadır (Şekil 2.12). CLB ünitesinin üstünde bulunan tampon bloklar çok düşük bir sürtünme katsayısına sahip olmakla birlikte çok az bir kesme kuvveti karşılamaktadır. Diğer bir ifadeyle çok küçük yanal etkilerde dahi sistem harekete geçebilmektedir. CLB' lerin bir yararı da; basınç kuvvetlerinin dışında çekme kuvvetlerine karşı da çalışabilmesidir. CLB tipi yalıtım birimleri, kurşun çekirdekli yalıtım birimleri ve diğer soğurucu elemanlarla beraber kullanılabilmektedir [10].



Şekil 2. 12 Çapraz doğrusal hareket sistemi (CLB) [10]

2.6.2.3 Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Birleşik Sistemi (EERC)

Bu yöntem kayıcı ve elastomerik sistemlerin birleşimi olarak EERC tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde yapıdaki dış kolonlar düşük sönümlü doğal kauçuk mesnetlerle, iç kolonlar ise kayıcı mesnetlerle taşıtılmıştır. Sürtünmeli yüzeyler, iç kısımda olan kolonların altındaki teflon yüzeyler ve altında paslanmaz çelik elemanlar ile oluşturulmuştur.

Yapının burulmasını kontrol eden elastomerik yalıtım birimleri bir yandan dengeleyici görev yaparken; kayıcı sistem sönüme çalışmaktadır [8].

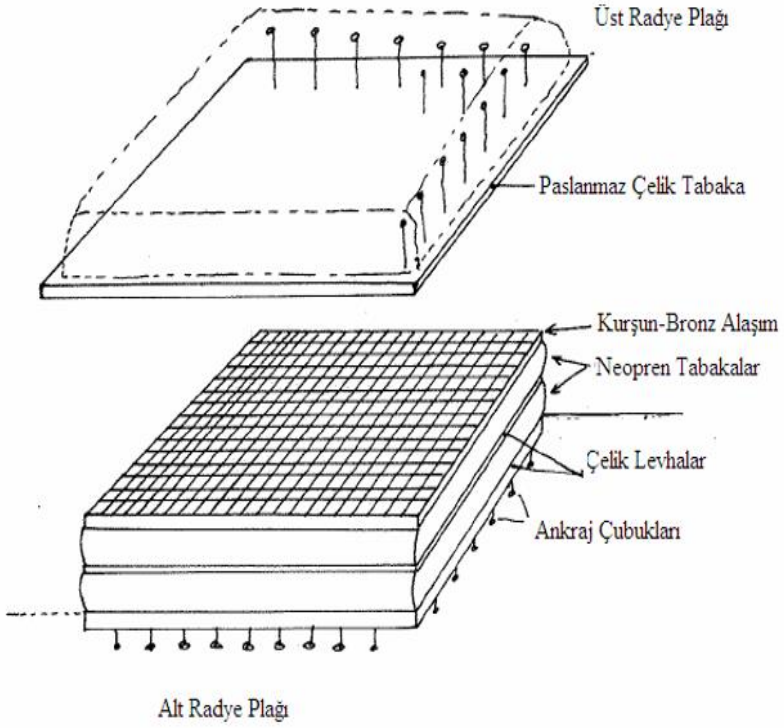
2.6.2.4 Elastik Sürtünmeli Taban Yalıtım Sistemi (RFBS)

Naser Mostaghel tarafından geliştirilmiştir. Elastik sürtünmeli taban yalıtım sisteminin ortasında kauçuk bir çekirdek bulunmaktadır. Bu kauçuk çekirdeğin merkezinde çelik bir silindir bulunmakta olup, kauçuk çekirdek teflon ve kayıcı halka tabakalarıyla çevrelenmiştir. Sistemde fazla sayıda tabaka olmasının sebebi her yüzdeki hız değerini düşürmek suretiyle sürtünme katsayısının düşük olmasının amaçlanmasıdır. Kauçuk çekirdek sistemin geri dönüş kuvvetini sağlamaktadır. Kauçuk çekirdeğin içine çelik bir çubuk yerleşirilmesiyle yerdeğiştirmenin tek bir düzlemde toplanması önlenmiştir [16].

2.6.2.5 Electricite – de France Sistemi (EDF)

Electricite-de France sistemi 1970’ li yılların başında nükleer enerji santrali tesislerinde uygulanmak amacıyla geliştirilmiştir (Şekil 2.13). Bu yalıtım sisteminde enerji santrali, arasında yalıtım mesnetlerinin de bulunduğu iki adet radye plağının üzerine inşaa edilir. Yalıtım mesnetleri paslanmaz çelikle temasta olan kurşun-bronz alaşım ile çelikle güçlendirilmiş neopren tabakalardan oluşur. Kurşun-bronz alaşımı vulkanizasyon işlemiyle neopren tabakasının üst kısmıyla birleştirilir. Paslanmaz çelik tabakalar da ankraj çubukları ile üstteki radye plağa sabitlenir. Böylece kurşun-bronz alaşımı ile paslanmaz çelik tabakaların arasında bir kayma oluşturulur. Kayma yüzeyinin sürtünme katsayısı 0,2 olarak tanımlanmıştır. Neopren tabakanın yerdeğiştirme kapasitesi çok düşük (+5 cm) olup, bu değer aşıldığında kayıcı elemanlar gereken hareketi sağlar. Bu sistem mesneti merkeze geri döndüren bir mekanizmaya sahip değildir. Bu sebeple

kalıcı yer değiştirmeler oluşabilir. Bu yalıtım sistemi bir tek Güney Afrika' daki bir enerji santralinde kullanılmıştır [8].



Şekil 2. 13 Electricité-de-France sistemi detayı [17]

2.6.2.6 TASS Sistemi (Taisei Shake Suspension System)

TASS, Japonya' da "TAISEI" şirketi tarafından geliştirilmiş bir sistemdir. Bu sistemde paslanmaz teflon-çelik elemanlar tarafından tüm düşey yükler taşınmaktadır ve buna ilaveten yük taşımayan, tek görevi merkezleyici olan neopren mesnetler kullanılmaktadır. Teflon kayıcı yüzey 10 MPa değerinde bir basınca sahip olup, sürtünme katsayısı düşük kayma hızlarında 0,05 ile yüksek kayma hızlarında 0,15 aralığında değerler almaktadır. Sistemin dezavantajları; elastomer mesnetler düşey yük almadıklarından yatay yükler karşısında gerilmeye maruz kalırlar ve kalıcı yüzeylerde sürtünme hızları çok hassas şekilde ayarlandığından sistem genelinde model kurmak diğer sistemlere göre daha zordur [8].

2.6.3 Helisel Yaylardan Oluşan Ayırıcı Sistemler

Helisel yaylardan oluşan ayırıcı sistemler olarak, gerb heliselik yay sistemleri olarak adlandırılan yalıtım sistemi mevcuttur. İlk olarak elektrik santralı türbinine ait üretim cihazlarının titreşim yalıtımı amacıyla geliştirilmiştir. Bu sistemde, hem düşey hem de yatay olarak esnek davranan, büyük helezonik çelik yaylar kullanılmıştır. Düşey frekansı, yatay frekansının yaklaşık 3-5 katıdır. Çelik yaylar bütünüyle sönümsüzdür ve sistem her zaman Gerb visko sönümleyicileriyle kullanılmaktadır. Tüm üç boyutlu sistemlerde olduğu gibi, sistemin sallanma hareketi ile yatay hareketi arasında çok kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Çünkü taban yalıtımlı yapının ağırlık merkezi, yalıtım sisteminin rijitlik merkezinin üstündedir. Bu tipte olan bir sistem, yapının ağırlık merkezi ile yalıtım sisteminin rijitlik merkezinin aynı seviyede olduğu durumlarda pratik olmaktadır.

Bu sistem, Üsküp' te, sarsma deneyiyle test edilmiştir. Gerb sistemi Kaliforniya eyaletine bağlı olan Santa Monica'daki iki tane çelik çerçeveli binada kullanılmıştır. Bu evlerin depremlerdeki davranışı, şiddetli sarsıntı hareketini gözleyen cihazlar sayesinde izlenmiştir. Yapılan gözlemler, yalıtım sisteminin sallanma hareketi nedeniyle binalarda ortaya çıkan ivmeleri azaltmakta etki sağlayamadığını göstermiştir [12]. Şekil 2.14' de tipik bir spiral yaylı yalıtım birimi örneklenmiştir.



Şekil 2. 14 Spiral yaylı yalıtım birimi [12]

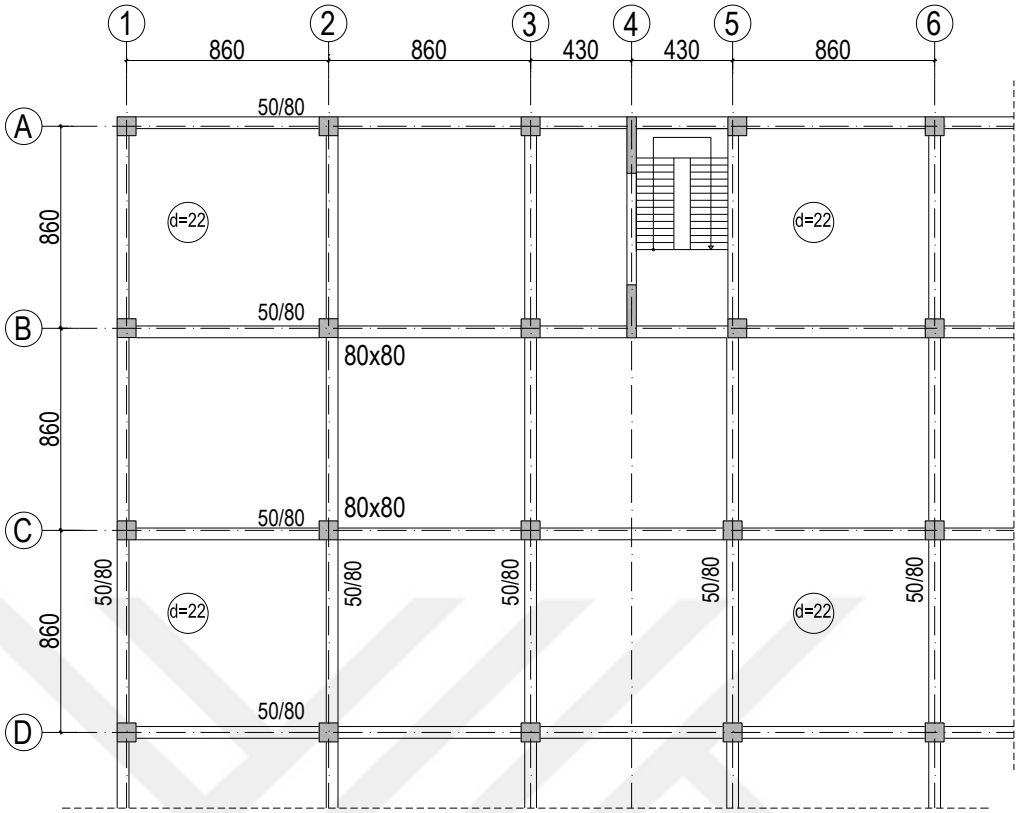
BÖLÜM 3

SAYISAL UYGULAMALAR

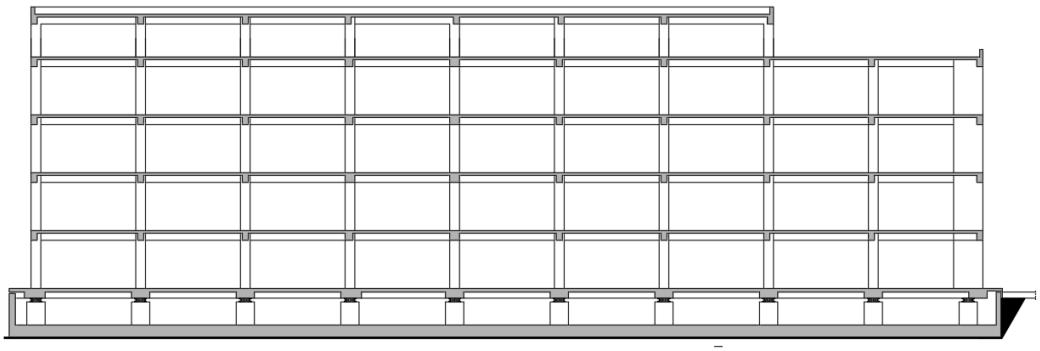
Sayısal uygulama kısmında; 5 katlı betonarme bir hastane yapısı örnek olarak seçilmiştir. Seçilen betonarme yapının, aks aralıkları her iki yönde 8.60 m, plan boyutları 111.80x77.40 m ve kat yüksekliği 4.75 m' dir. Yapının inşaa edileceği sahanın zemini ZC sınıfındadır ve aktif faylara uzaklığı yaklaşık 20 km' dir. Yalıtım birimi ara yüzünün altında 150x150 cm kaideler kullanılmış olup, yalıtım birimi tabliye planı kirişli olarak seçilmiştir. Şekil 3.1' de yapının kalıp planının bir kısmı, Şekil 3.2' de ise yapı boy kesiti verilmiştir. Tipik kolon boyutları 100x100 cm, tipik kiriş boyutları ise 50x80 cm' dir. Çerçeve taşıyıcı sistemine sahip hastanede, yalıtım birimleri üzerindeki yalıtım birimi tabliyesi için güçlü bir rijit diyafram oluşturmak amacıyla 30 cm kalın döşeme ile 80 cm yüksekliğinde geniş kirişler oluşturulmuştur.

Üst yapı taşıyıcı sistemi TBDY18' e göre uygun olarak tasarlanmıştır. Deprem yaltım sistemi olarak düşünülen her iki tip yalıtım birimi çözümleri Bölüm 14' teki hesap adımları dikkate alınarak "Etkin Deprem Yükü Yöntemi" ve "Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi" ile Etabs sonlu elemanlar programı yardımıyla çözümü yapılmıştır.

Ayrıca yapının ankastre mesnetli durumu incelenerek, göreli kat ötelemeleri ve kat kesme kuvvetleri açısından sonuçları yalıtımlı sistemler ile karşılaştırılmıştır.

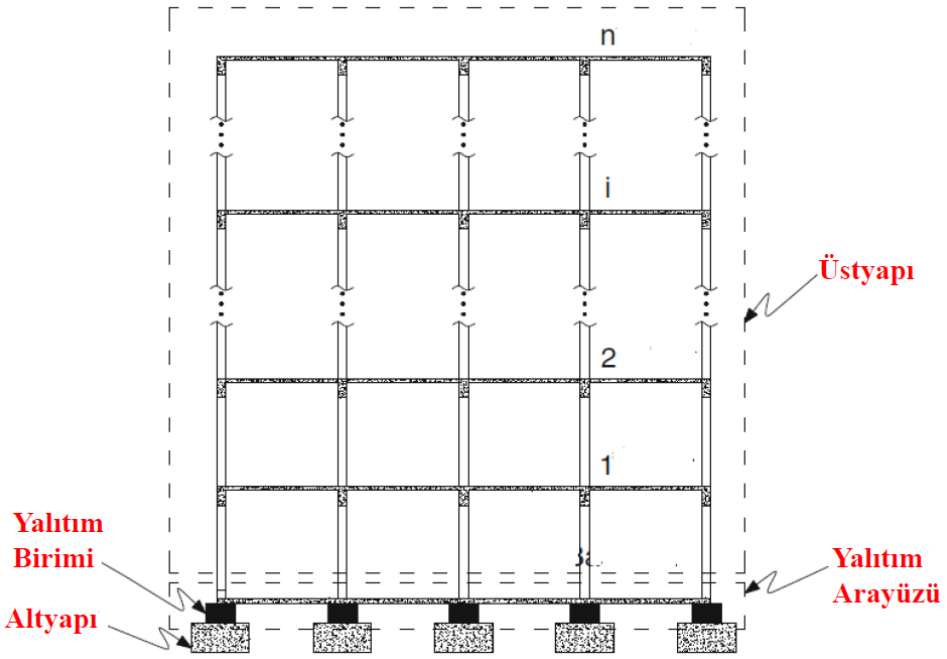


Şekil 3. 1 Yapı kalıp planının bir kısmı



Şekil 3. 2 Yapının boy kesiti

Deprem yalıtımlı yapı tasarımında; yalıtım arayüzünün üstünde kalan bölüm üst yapı olarak, altında kalan bölüm ise alt yapı olarak adlandırılır (Şekil 3.3). Hem üst yapı hem de alt yapı elemanları için ayrı ayrı hesaplar yapılacaktır. Üst yapı için yapılacak hesaplarda deprem yalıtım biriminin üst değer özellikleri ile üst yapıya gelecek kesme kuvvetleri ve yapı deplasmanları hesaplanacaktır. Alt yapı için yapılacak hesaplarda, deprem yalıtım biriminin alt değer özellikleri ile yalıtım biriminin deplasmanı hesaplanacaktır.



Şekil 3. 3 TBDY18' e göre deprem yalıtımlı bina elemanlarının isimlendirilmesi

3.1 TBDY18' e Göre Hesap Yöntemleri

3.1.1 Depremsellik

İncelenecek olan yapı için esas alınacak deprem yer hareketi düzeylerinin belirlenmesi için https://tdth.afad.gov.tr sitesinde yer alan "Deprem Tehlike Haritaları" kullanılmıştır. Örnek hastane yapısı için, yerel zemin sınıfı ZC olacak şekilde, faya uzaklığı 20km olan DD1 ve DD2 harita spektral ivmeleri hesaplanmıştır.

Tanımlanan harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1, aşağıdaki şekilde tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1}'e dönüştürülür.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD1 için;

$S_{DS}= S_S \times F_S = 1.443 \times 1.200= 1.732$

$S_{D1}= S_1 \times F_1 = 0.393 \times 1.500= 0.590$

Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD2 için;

$S_{DS}= S_S \times F_S = 0.726 \times 1.200= 0.871$

$S_{D1}= S_1 \times F_1 = 0.198 \times 1.500= 0.297$

Zemin profiline bağlı olarak değişken verilmiş olan F_S ve F_1 katsayıları Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2' den alınabilir.

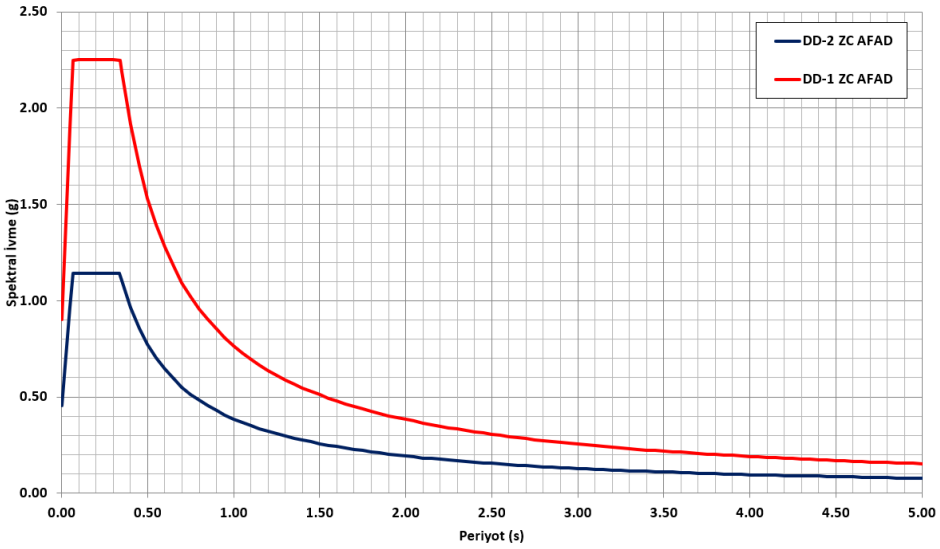
Çizelge 3. 1 TBDY'e göre zemin sınıfına bağlı yerel zemin etki katsayısı F_s

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Çizelge 3. 2 TBDY'e göre zemin sınıfına bağlı yerel zemin etki katsayısı F_1

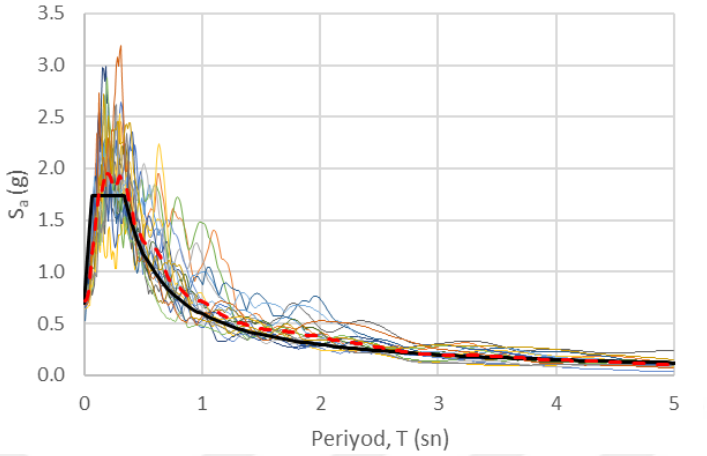
Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için *Yerel Zemin Etki Katsayısı* F_1					
	$S_1 \leq 010$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	*Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır* (**Bkz.16.5**).					

Haritadan koordinatlara bağlı olarak hesaplanan S_{DS} ve S_{D1} değerlerine göre oluşturulan tasarım DD-1 ve DD-2 tasarım spektrumları, TBDY18' e uygun olarak 1.30 katsayısı ile çarpılarak maksimum doğrultulu ivme spektrumları haline getirilmiştir (Şekil 3.4).

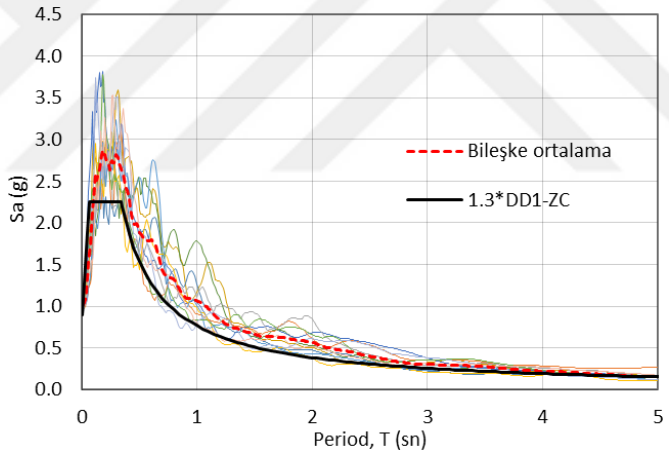


Şekil 3. 4 %5 Sönümlü maksimum doğrultu ivme spektrumları

Deprem tehlike analizleri sonucunda oluşturulan DD-1 deprem düzeyi için 11 çift ivme kaydı kullanılarak ETABS v17.01 yazılımı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilecektir.



Şekil 3. 5 DD1 deprem seviyesi ve ZC Zemin sınıfı için Geo-Mean olarak seçilen 11 deprem çiftine ait yatay ivme spektrumu ortalamaları



Şekil 3. 6 1.3xDD1 deprem seviyesi ve ZC Zemin sınıfı için Geo-Mean olarak seçilen 11 deprem çiftlerinin karelerinin karekökünün (SRSS) yatay ivme spektrumu ortalamaları

Çizelge 3. 3 DD-1 deprem seviyesi ve ZC zemin sınıfı için GeoMean olarak seçilen 11 deprem çiftine ait çarpım faktörleri ve diğer parametreler

Kayıt No	Ölçek	Deprem Adı	İstasyon	Büyüklük	Mekanizma	Fay (km)
164	2.26	Imp. Val.-06	Cerro Prieto	6.53	strike slip	15.19
755	1.71	Loma Pr.	Coyote Lake Dam	6.93	Reverse	20.34
1083	2.88	North.-01	Sunland - Mt Gleason	6.69	Reverse	13.35
1633	0.85	Manjil_ Iran	Abbar	7.37	strike slip	12.55
3750	1.35	Cape Men.	Loleta Fire Station	7.01	Reverse	25.91
3757	2.81	Landers	North Palm Springs #36	7.28	strike slip	26.95
3759	4.13	Landers	Whitewater Trout Farm	7.28	strike slip	27.05
4843	2.40	Chuetsu	Matsushiro Tokamachi	6.8	Reverse	25.03
4848	1.76	Chuetsu	Joetsu Ogataku	6.8	Reverse	17.93
5815	2.27	Iwate	Yuzawa	6.9	Reverse	25.56
5818	0.81	Iwate	Kurihara City	6.9	Reverse	12.85

3.1.2 Etkin Deprem Yükü Yöntemi

TBDY18 Bölüm 14.14.1.1' de yazılan koşulların sağlanması durumunda, üst yapının ve alt yapının hesabı bölüm 14.14.2' de verilen "Etkin Deprem Yükü Yöntemi" ile yapılabilir. Bu koşullar:

a. Bina ZA, ZB, ZC veya ZD türü zeminde bulunmaktadır.

b. Yalıtımlı binanın DD-1 deprem yer hareketi etkisi altındaki etkin periyodu 4 saniyeden küçüktür.

c. Yalıtım üzerindeki binanın kat adedi en fazla 4, yalıtım arayüzü üzerindeki toplam yüksekliği en fazla 20 metredir.

d. Yalıtım birimlerinde çekme veya kalkma oluşmamaktadır.

e. Etkin sönüm oranı %30 değerinin altındadır.

f. Yalıtım sistemi üzerindeki binanın her katında burulma düzensizliği katsayısı $\eta bi < 2$ koşulu sağlanmaktadır ve binada B2 türü düzensizlik yoktur.

g. Binanın düşey doğrultudaki titreşim periyodu $Tv \leq 0.1$ sn' dir.

TBDY18 bölüm 14.14.1.1' e göre ise, üst yapı ve alt yapı her durumda "Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi" ile hesaplanabilir.

Örnek yapının sadece "Etkin Deprem Yükü Yöntemi" ile çözümlerinin yapılması için gerekli koşulları sağlayamadığı için "Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi" ile çözümlerinin de yapılması gerekmektedir. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile çözüm yapılmasına rağmen Etkin Deprem Yükü Yöntemi ile çözüm yapılarak, TBDY18 14.14.4.6 maddesine göre "Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap sonucunda yalıtım arayüzünde hesaplanan yerdeğiştirmeler Etkin Deprem Yükü Yöntemi ile hesaplanan değerlerin %80'inden az olmayacaktır" koşulunun doğrulanması gerekmektedir.

Yalıtım birimi ve alt yapının hesabında DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için verilen maksimum doğrultulu spektrum kullanılacaktır. Etkin Deprem Yükü Yöntemi ile hesaplanacak yalıtım birimi deplasman hesapları, Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile doğrulanacaktır.

3.1.2.1 FPS Yalıtım Birimi Kullanılarak Etkin Deprem Yükü Yöntemi

FPS yalıtım birimi için yapılan hesaplamalar için kullanılacak parametreler Çizelge 3.4' te verilmiştir.

Çizelge 3. 4 FPS yalıtım birimi için tasarım parametreleri

Yönetmelik	TBDY'18
Etkin Eğrilik Yarıçapı, R_c	4500 mm
Dinamik Sürtünme Kts., μ_e	0.045
Üst Sınır Değer, $\lambda_{üst}$	1.719
Alt Sınır Değer, λ_{alt}	0.595
Yalıtım Periyodu, T_i	4.26 s
Bina Ağırlığı, W	740205 kN
Yalıtım Birimi Adeti	156

Çizelge 3.4' te tasarım parametreleri gösterilmiştir. Bu parametrelerden görüleceği üzere yalıtım biriminin R_c=4500 mm, μ_e=0.045 değerlerinde olduğu verilmiştir.

Hesaplarda kullanılacak olan yalıtım birimlerinin üst sınır ve alt sınır değerleri, yalıtım birimi parametreleri nominal değerlerinin sırasıyla $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} değerleri Denklem 3.1 ve Denklem 3.2' de verilen bağıntılar ile hesaplanır. Sınır değerler Çizelge 3.5' ten alınır.

Çizelge 3. 5 TBDY18 Tablo 14.3' te verilen eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için alt ve üst sınır öneri değerleri

	μ	
	alt	üst
λ_{ae}	1.00	1.20
λ_{deney}	0.70	1.30
λ_{spek}	0.85	1.15

$$\lambda_{üst} = \left[1 + 0.75\left(\lambda_{ae,üst} - 1\right)\right]\lambda_{deney,üst}\,\lambda_{spek,üst} \tag{3.1}$$

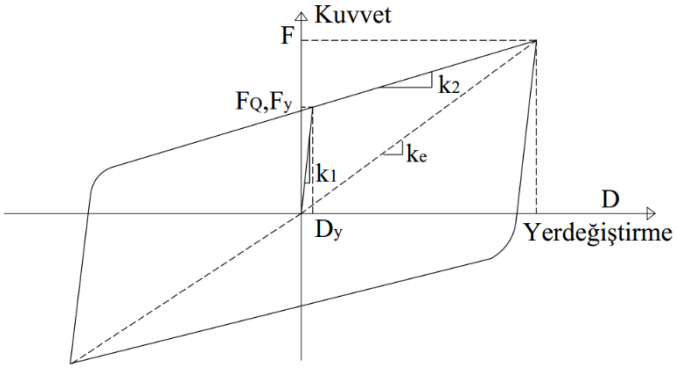
$$\lambda_{üst} = \left[1 + 0.75(1.20 - 1)\right]1.30 \times 1.15 = 1.719$$

$$\lambda_{alt} = \left[1 - 0.75\left(\lambda_{ae,alt} - 1\right)\right]\lambda_{deney,alt}\,\lambda_{spek,alt} \tag{3.2}$$

$$\lambda_{alt} = \left[1 - 0.75(1 - 1)\right]0.70 \times 0.85 = 0.595$$

$$T_i = 2\pi\sqrt{\frac{R_c}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{4.5}{9.81}} = 4.26sn \tag{3.3}$$

Yalıtım periyodu Denklem 3.3' te hesaplanmıştır. Bina ağırlığı (W), TBDY Tablo 4.3' teki hareketli yük katılım katsayısına uygun olarak, G+0.3Q kombinasyonundan 740205 kN olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. 7 TBDY18 Şekil 14B.2' de eğri yüzeyli yalıtım birimleri kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

Şekil 3.7’ de “Eğri Yüzeyli Yalıtım Birimleri” için kuvvet-yerdeğiştime eğrisi verilmiştir. Bu grafik üzerinden oluşturulan denklemler ve Çizelge 3.4’ te verilen tasarım parametreleri dikkate alınarak, aşağıda verilen hesap adımları ile yalıtım birimi ve üst yapı için Excel programında hesaplar hazırlanmıştır. Yalıtım birimi hesapları, yalıtım biriminin alt sınır koşulları ile DD-1 düzeyi depreme göre hesaplanmıştır. Üst yapının hesapları ise yalıtım birimi üst sınır koşulları ile DD-2 tasarım deprem düzeyine göre hesaplanmıştır.

TBDY18’e göre hesap adımları şu şekildedir;

i. Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı Denklem 3.4’ te belirtildiği gibi etkin sürtünme katsayısı μ_e ile yalıtım birimi üzerine etkiyen düşey kuvvetin *(P)* çarpımına eşittir.

$$F_Q = F_y = \mu_e P \tag{3.4}$$

ii. Başlangıç rijitliği, hesaplarda çok yüksek bir değer olan sanal bir rijitliktir. İkincil rijitlik Denklem 3.5’ de belirtildiği gibi düşey kuvvetin *(P)* eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi kayma yüzeylerinin etkin eğrilik yarıçapına *(R_c)* bölünmesi ile belirlenecektir.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \tag{3.5}$$

iii. Verilen bir yükleme döngüsündeki etkin rijitlik k_e, Denklem 3.6’ da belirtildiği gibi söz konusu döngüde uygulanan maksimum yatay kuvvetin *(F)* ulaşılan maksimum yatay yerdeğiştirmeye *(D)* bölünmesi ile elde edilecektir.

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \tag{3.6}$$

iv. Etkin sönüm oranı β_e Denklem 3.7’ de belirtildiği gibi bir yerdeğiştirme döngüsünde tüketilen enerjinin W_d, $2\pi FD$ değerine bölünmesi ile elde edilecektir.

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{W_d}{FD}\right] = \frac{2}{\pi}\left[\frac{\mu_e}{\mu_e + \frac{D}{R_c}}\right] \tag{3.7}$$

v. Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için yalıtım birimi yer değiştirmesi D_D Denklem 3.8 ile hesaplanacaktır.

$$D_D = 1.3\left(\frac{g}{4\pi^2}\right)T_D^2\eta_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \tag{3.8}$$

vi. Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için bina etkin periyodu T_D Denklem 3.9 ile hesaplanacaktır.

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{W}{g K_D}} \tag{3.9}$$

vii. En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için yalıtım birimi yer değiştirmesi D_M Denklem 3.10 ile hesaplanacaktır.

$$D_M = 1.3\left(\frac{g}{4\pi^2}\right)T_M^2\eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) \tag{3.10}$$

viii. En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için bina etkin periyodu T_M Denklem 3.11 ile hesaplanacaktır.

$$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{W}{g K_M}} \tag{3.11}$$

ix. Sönüm ölçeklendirme katsayıları η_D ve η_M Denklem 3.12 ile hesaplanacaktır.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \tag{3.12}$$

Burada sönüm oranı (ξ), DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki yalıtım birimi yer değiştirmeleri için hesaplanan etkin sönüm yüzdesidir.

x. DD-2 ve DD-1 deprem yer hareketi düzeylerindeki yalıtım arayüzü toplam yer değiştirmesi, hesaplanan D_D ve D_M yer değiştirmelerine, üst yapı ve yalıtım burulmasından gelen ilave yer değiştirmelerin eklenmesi ile hesaplanacaktır. Düzgün bir dağılım olması durumunda toplam yerdeğiştirmeler Denklem 3.13 ve 3.14' te hesaplanan değerlerden daha az olamaz.

$$D_{TD} = D_D\left[1 + y\frac{12e}{b^2 + d^2}\right] \quad (3.13)$$

$$D_{MD} = D_M\left[1 + y\frac{12e}{b^2 + d^2}\right] \quad (3.14)$$

Burada, yapı planının x-x deprem doğrultusundaki uzunluğu b=111.80 m, y-y deprem doğrultusundaki uzunluğu ise d=77.40 m 'dir. y=b/2= 56 m ve e=%5xb=5.6 m olarak bulunur. Denklem 3.13 ve 3.14'e göre ilgili çarpan değeri 1.20 olarak hesaplanmıştır.

xi. Üst yapıya etkiyen kuvvet, tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için Denklem 3.15 ile hesaplanacaktır.

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_M)W\eta_D}{R} \quad (3.15)$$

xii. Üst yapıya etkiyen kuvvet, en büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için Denklem 3.16 ile hesaplanacaktır.

$$V_M = \frac{S_{ae}^{(DD-1)}(T_D)W\eta_M}{R} \quad (3.16)$$

xiii. Üst yapıya etkiyen kuvvet, katlara Denklem 3.17 ile dağıtılacaktır.

$$F_S = \frac{V_D w_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i} \quad (3.17)$$

xiv. Üst yapıya etkiyen kuvvet DD-2 ve DD-1 için Denklem 3.15 ve 3.16 ile hesaplanacak olup, R değeri TBDY Tablo 3.5'teki performans hedeflerine göre TBDY Tablo 14.1'den alınacaktır (Çizelge 3.6). Alt yapıya etkiyen kuvvet R=1 alınarak Denklem 3.16 ile hesaplanacaktır.

Çizelge 3. 6 TBDY18 Tablo 14.1' e göre deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları

Performans Hedefi	**R**	**D**
KK	1,2	1,2
HK	1,5	1,5

Verilen hesap adımları ile ulaşılan sonuçlar Çizelge 3.7 ve 3.8 üzerinde gösterilmiştir. Ulaşılan bu sonuçlar ve LRB tipi yalıtım birimi ile çözüm sonucunda ulaşılacak sonuçlarla birlikte sonuç bölümünde karşılaştırmalı olarak değerlendirmesi yapılacaktır.

Çizelge 3. 7 DD-1 İçin Alt Sınır Hesabı (FPS)

Alt Sınır Sürtünme Kts., μ_{alt}	0,027
Taban Kesme Kuv. Oranı, V/W	15.70%
Taban Kesme Kuvveti, F	116210 kN
Etkin Rijitlik Oranı, K_M/W	26.80%
Etkin Rijitlik, K_M	198311 kN/m
Yalıtım Birimi Etkin Rijitliği, K_i	1271 kN/m
Etkin Periyot, T_M	3.88 s
Etkin Sönüm Oranı, β_e	10.90%
Yalıtım Birimi Yerdeğiştirmesi, D_M	586 mm
Yalıtım Birimi Toplam Yerdeğiştirmesi, D_{MD}	703.2 mm

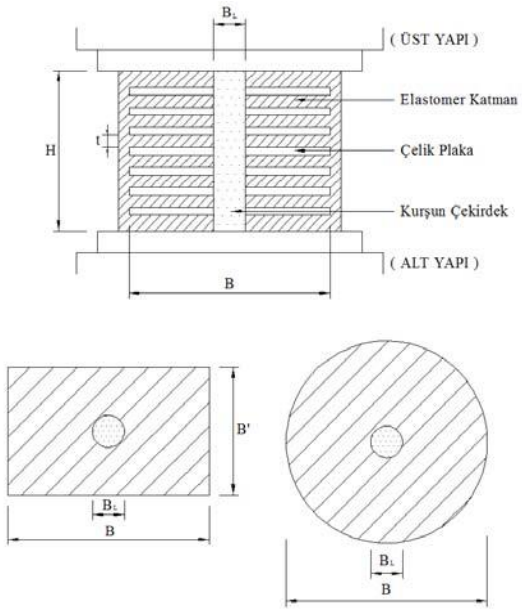
Çizelge 3. 8 DD-2 İçin Üst Sınır Hesabı (FPS)

Üst Sınır Sürtünme Kts., $\mu_{üst}$	0.077
Taban Kesme Kuv. Oranı, V/W	10.1%
Taban Kesme Kuvveti, F	74538 kN
Etkin Rijitlik Oranı, K_D/W	95.9%
Etkin Rijitlik, K_D	709889 kN/m
Yalıtım Birimi Etkin Rijitliği, K_i	4551 kN/m
Etkin Periyot, T_D	2.05 s
Etkin Sönüm Oranı, β_e	30.0%
Yalıtım Birimi Yerdeğiştirmesi, D_D	105 mm

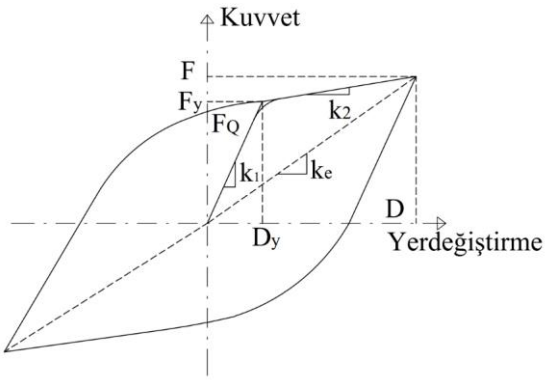
3.1.2.2 LRB Yalıtım Birimi Kullanılarak Etkin Deprem Yükü Yöntemi

TBDY18 Ek 14.A' da "Elastomer Yalıtım Birimleri" için kesit görünümü ve kuvvet-yerdeğiştime eğrisi grafiği verilmiştir (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9). Bu grafik üzerinden oluşturulan denklemler ve Çizelge 3.9' da verilen tasarım parametreleri dikkate alınarak, aşağıda verilen hesap adımları ile FPS ile çözümde olduğu gibi yalıtım birimi ve üst yapı için Excel programında hesaplar hazırlanmıştır. Yalıtım birimi ve alt yapı

hesapları, yalıtım biriminin alt sınır koşulları ile DD-1 düzeyi depreme göre, üst yapının hesapları ise yalıtım birimi üst sınır koşulları ile DD-2 tasarım deprem düzeyine göre hesaplanmıştır.



Şekil 3. 8 TBDY18 Şekil 14A.1' de verilen eğri yüzeyli yalıtım birimlerinin kesit görünümü



Şekil 3. 9 TBDY18 Şekil 14A.2' de verilen eğri yüzeyli yalıtım birimleri kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi

Çizelge 3. 9 LRB yalıtım birimi için tasarım parametreleri

Yönetmelik	TBDY18
Bina Ağırlığı, W	740205 kN
Yalıtım Birimi Adeti	156
Yalıtım Birimi Çapı	950 mm
Elastomer Çapı, B	930 mm
Kurşun Çekirdek Çapı, B_L	200 mm
Elastomer Katman Kalınlığı, t	10 mm
Kauçuk Plaka Adeti, n	25
İç Plaka Kalınlığı, s	2 mm
Alt ve Üst Plaka Kalınlığı	20 mm
Kauçuğun Nominal Kayma Modulü, G	0,60 MPa
Kurşun Plakanın Kayma Akma Ger., τ_{yp}	9,00 MPa
Alt Sınır (Lower Bound), F_Q	0,595
Alt Sınır (Lower Bound), k_2	0,765
Elastomerin Kayma Modulü, G_v (rubber)	0,46 MPa
Kurşun Kayma Akma Gerilmesi, τ_{yp}	5.36 MPa
Kurşun Kayma Modulü, G_p (lead)	150 MPa

Çizelge 3. 10 LRB yalıtım biriminin özellikleri

Toplam Elastomer Kalınlığı, T_r	250 mm
Yalıtım Birimi Toplam Yükseklik, H	318 mm
Toplam Plaka Kalınlığı	358 mm
Elastomer Katmanın Yüklü Yüzey Alanı, A_r	647875 mm^2
Kurşun Çekirdeğin Alanı, A_p	31416 mm^2
Sargılı Çevre	2922 mm
Şekil Katsayısı, S	22,17
Karakteristik Dayanım, F_Q	168 kN
Etkin Akma Dayanımı, F_y	179 kN
Yalıtım Biriminin İkincil Rijitliği, k_2	1189 kN/m
Yalıtım Biriminin Başlangıç Rijitiği, k_1	11895 kN/m
Yalıtım Biriminin Etkin Akma Yerdeğiştirmesi, D_y	15,04 mm
Kauçuğun Esneklik Modulü, E_0	1,836 MPa
Yalıtım Biriminin Basınç Modulü, E_c	1356 MPa
Düşey Rijitlik Modulü, E_v	808 MPa
Düşey Rijitlik, k_v	2094231 kN/m
Sistem Düşey Rijitliği, K_v	326699975
Düşey Periyot, T	0,095 s

Çizelge 3. 11 LRB yalıtım birimine üst yapıdan gelen yükler

P_{K1} (1.4G+1.6Q)	10500 kN
P_{K2} (1.2G+Q+E)	7500 kN

Çizelge 3.9' da F_Q ve k_2 değerleri DD-1 deprem düzeyi için verilmiştir. DD-2 deprem düzeyi için bu değerler; F_Q=1,607 ve k_2=1,831' dir.

Elastomer esaslı yalıtım birimleri için kullanılacak alt ve üst sınır değerleri, eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için kullanılan değerlerden farklıdır. Çizelge 3.12' de elastomer esaslı yalıtım birimleri için kullanılacak sınır değerler verilmiştir.

Çizelge 3. 12 TBDY18 Tablo 14.2' ye göre elastomer yalıtım birimleri dayanım ve rijitlik parametreleri alt ve üst sınır öneri değerleri

	Tip	**F_Q**		**k_2**	
		alt	**Üst**	**alt**	**üst**
λae	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.40
λdeney	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.30
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30
λspek	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15

TBDY18' e göre hesap adımları FPS için verilen ilk 5 adım ile olduğu gibi aynıdır. Aşağıdaki hesap adımları LRB için farklılık gösteren hesaplamalardır.

vi. Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım biriminin karakteristik dayanımı F_Q, Denklem 3.19 ile elde edilecektir.

$$F_Q \cong F_y = A_p \tau_{yp} \tag{3.19}$$

vii. Kurşun çekirdekli yalıtım biriminin başlangıç rijitliği, kurşun çekirdeğin elastik rijitliği ile belirlenecektir. Elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi rijitliği) rijitliği Denlem 3.20 ile elde edilecektir.

$$k_2 = G_V (A_r / T_r) \tag{3.20}$$

Dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için A_r Denklem 3.21 ile, dikdörtgen kesitli ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için ise A_r Denklem 3.22 ile belirlenecektir.

$$A_r = (\pi/)4)\left(B^2 - B_L^2\right) \tag{3.21}$$

$$A_r = BB' - \left(\pi B_L^2 / 4\right) \tag{3.22}$$

viii. 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) bölünmesi ile bulunacaktır.

$$S = A_r / A_L \tag{3.23}$$

Dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için *S* değeri Denklem 3.24 ile hesaplanacaktır.

$$S = \left(B^2 - B_L^2\right)/(4Bt) \tag{3.24}$$

Burada,

B = Çelik plaka ile yapışmış elastomer levha çapı,

B_L = Kurşun çekirdek çapı,

t = Elastomer katman kalınlığıdır.

ix. Elastomer yalıtım birimlerinin düşey rijitliği k_v Denklem 3.25 ile hesaplanacaktır.

$$k_V = \frac{E_V A_r}{T_r} \tag{3.25}$$

Yukarıdaki denklemde bulunan düşey rijitlik modülü E_v Denklem 3.26 ile hesaplanacaktır.

$$E_V = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} \tag{3.26}$$

Burada *K* kauçuk malzemenin hacim modülüdür ve 2000 MPa alınacaktır. E_c ise elastomer yalıtım biriminin basınç modülüdür ve Denklem 3.27 ile hesaplanacaktır.

$$E_c = E_0\left(1 + 2kS^2\right) \tag{3.27}$$

Bu denklemde E_0 kauçuk malzemenin esneklik modülüdür ve $E_0=4G_V$ ifadesi ile hesaplanacaktır. k katsayısı kauçuk malzemenin sertlik değeri 50, 60 ve 70 olduğu durumlarda, sırası ile 0.75, 0.60 ve 0.55 olarak alınacaktır.

Elastomer yalıtım biriminde oluşacak birim şekil değiştirmeler ve kararlılık durumları kontrol edilmelidir.

x. Depremsiz durumda meydana gelen birim şekildeğiştirme bileşenleri Denklem 3.28, Denklem 3.29 ve Denklem 3.30' da verilmiştir.

Basınçtan meydana gelen açısal şekildeğiştirme:

$$\gamma_{c,st} = \frac{6S\,P_{K1}}{A_r E_c} \tag{3.28}$$

Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısal şekildeğiştirme:

$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta_s}{T_r} \tag{3.29}$$

Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreli dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme:

$$\gamma_{r,st} = \frac{B^2\theta_s}{2tT_r} \tag{3.30}$$

Tasarım dönme açısı θ_s sabit yük, hareketli yük ve imalat sırasındaki oluşan dönme etkilerini de içerecektir. Bu değer en az 0.005 radyan alınacaktır.

xi. DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde, deprem etkisi ve düşey yük etkileri altında elastomer malzemede oluşacak birim şekil değiştirme değerleri Denklem 3.31 ve Denklem 3.32' deki gibi hesaplanacaktır.

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirme:

$$\gamma_{c,E} = \frac{6S\,P_{K2}}{A_{re} E_c} \tag{3.31}$$

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme:

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} \tag{3.32}$$

xii. Elastomer yalıtım birimlerinde oluşacak birim şekildeğiştirmeler aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

Elastomer malzemede deprem yükü hariç düşey yüklerden meydana gelen birim şekildeğiştirmeler Denklem 3.33 ve Denklem 3.34' teki sınır değerlerini sağlamalıdır.

$$\gamma_{s,st} \leq 3.5 \tag{3.33}$$

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5.0 \tag{3.34}$$

Elastomer malzeme ara yüzünde yatay yer değiştirmeden ve dönmeden meydana gelen toplam birim şekildeğiştirme Denklem 3.33 ve Denklem 3.34' teki sınır değerlerini sağlamalıdır.

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} \leq 6.0 \tag{3.35}$$

$$\gamma_{s,E} \leq 2.0 \tag{3.36}$$

xiii. Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda kurşun çekirdekli yalıtım birimleri için burkulma yükü Denklem 3.37' deki gibi hesaplanacaktır.

$$P_{cr} = 0.218 \frac{G_v B^4}{t T_r} \frac{\left(1 - B_L / B\right)\left(1 - B_L^2 / B^2\right)}{1 + B_L^2 / B^2} \tag{3.37}$$

xiv. Yatay yerdeğiştirme olduğu durumlarda, DD-1 deprem yer hareketi etkisi altında elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü Denklem 3.38' deki gibi hesaplanacaktır.

$$P_{cr}^{'} = P_{cr}\left(A_{re} / A_r\right) \tag{3.38}$$

xv. Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekildeğiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi Denklem 3.39' daki gibi hesaplanacaktır.

$$P_{str} = \frac{3.5 A_{re} E_c}{6S} \tag{3.39}$$

xvi. Elastomer yalıtım birimlerinin yatay yerdeğiştirme olmadığı durumlardaki burkulma yükü sınırı Denklem 3.40' da verilmiştir.

$$\frac{\min(P_{cr}, P_{str})}{P_{K1}} \geq 2.0 \tag{3.40}$$

xvii. Elastomer yalıtım birimlerinin en büyük deprem yer hareketi düzeyinde meydana gelen yatay yer değiştirme altındaki burkulma yükü sınırı Denklem 3.41' de verilmiştir.

$$\frac{\min(P_{cr}', P_{str})}{P_{K2}} \geq 1.1 \tag{3.41}$$

Verilen hesap adımları ile ulaşılan sonuçlar Çizelge 3.13, Çizelge 3.14, Çizelge 3.15 ve Çizelge 3.16 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 3. 13 DD-1 Deprem Düzeyi ve Statik Durum İçin Birim Şekildeğiştirme Kontrolleri

BİRİM ŞEKİLDEĞİŞTİRME KONTROLÜ (STATİK)	
$\gamma_{c,st}$	1,59 ≤ 3,5
$\gamma_{s,st}$	0,10
$\gamma_{r,st}$	0,86
$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st}$	2,56 ≤ 5
BİRİM ŞEKİLDEĞİŞTİRME KONTROLÜ (DEPREM – DD1)	
δ	2,03
A_{re}	234293 mm^2
$\gamma_{c,E}$	3,14
$\gamma_{s,E}$	1,96 ≤ 2
$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st}$	5,53 ≤ 6

Çizelge 3. 14 DD- 1 Deprem Düzeyi İçin Burulma Kontrolleri

BURULMA KONTROLLERİ (DD-1)	
Burkulma Yükü, P_{cr}	21424 kN
P_{cr} / P_{K1}	2,04 ≥ 2
Burkulma Yükü, P_{cr}'	7748 kN
P_{cr}' / P_{K2}	1,13 ≥ 1,1

Çizelge 3. 15 DD-1 İçin Alt Sınır Hesabı (LRB)

Yatay kuvvet, F	744 kN
Etkin Rijitlik, k_e	1518 kN/m
Sistem Rijitliği, K_M	236807 kN/m
Sönüm, β_e	14%
Sistem Sönümü	0,140
Efektif Periyot, T	3,55 sn
Kütle Merkezinin Yerdeğiştirmesi, D_M	490 mm
Kütle Merkezinin Toplam Yerdeğiştirmesi, D_{MD}	588 mm
Taban Kesme Kuvveti oranı, V/W	0,157

Çizelge 3. 16 DD-2 İçin Üst Sınır Hesabı (LRB)

DD-2 DEPREM YÜKLERİ İLE YALITIM BİRİMİ ÖZELLİKLERİ	
Yatay Kuvvet, F	673 kN
Etkin Rijitlik, k_e	9477 kN/m
Sistem Rijitliği, K_D	1478342 kN/m
Sönüm, β_e	30%
Sistem Sönümü	0,319
Efektif Periyot, T_D	1,42 sn
Kütle Merkezinin Yerdeğiştirmesi, D_D	71 mm
Taban Kesme Kuvveti oranı, V/W	0,142

3.1.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

TBDY18' e göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi hesap adımları;

i. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi TBDY18 Bölüm 5.7' ye göre uygulanacaktır. Depremin iki yatay bileşeni, sağlanamadığı durumlarda ise depremin iki yatay bileşenine ilave olarak düşey bileşeni de kullanılacaktır.

ii. Deprem yalıtımlı binaların zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde TBDY18 Bölüm 2.5' de verilen kuralların tümü geçerlidir. Ancak TBDY18 Bölüm 2.5.3' de tanımlanan $0.2T_P$ yerine 0.5 T_M (T_M en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu), $1.5T_P$ yerine ise 1.25 T_M (T_M en büyük

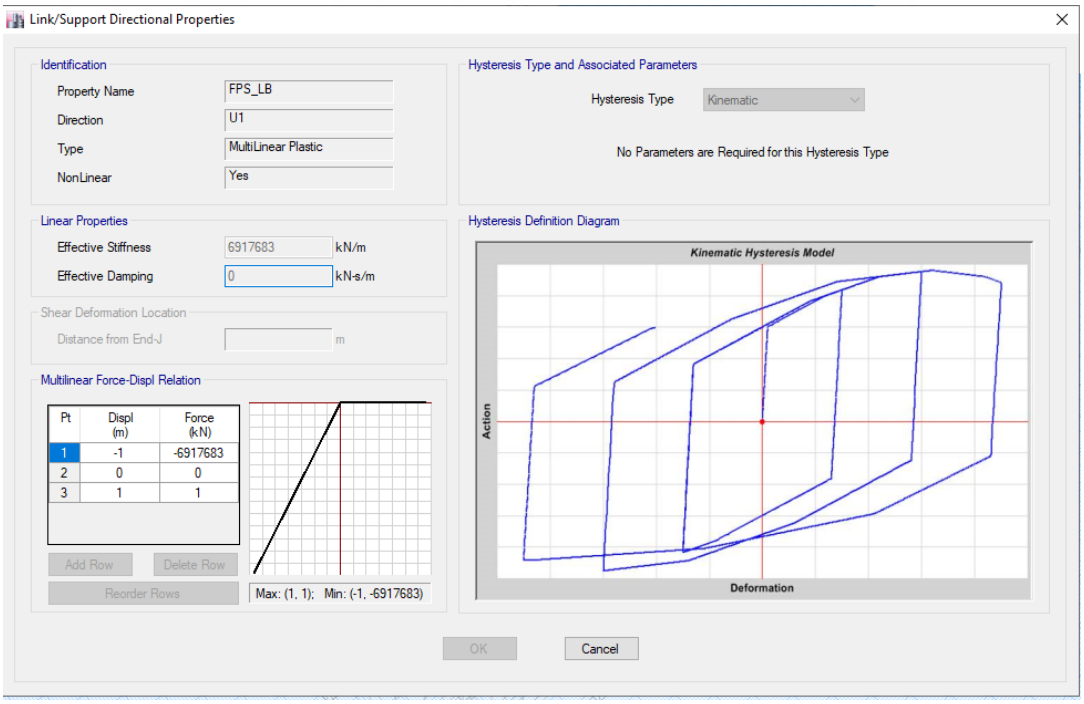
yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu) kullanılmalıdır.

iii. Doğrusal olmayan hesap her deprem yer hareketi seviyesinde ve her doğrultuda en az onbir kayıt çifti için tekrarlanacak, ilgili deprem seviyesinde ve doğrultuda yapılan hesaplarda elde edilen en büyük değerlerin ortalamaları tasarıma esas değer olarak dikkate alınacaktır.

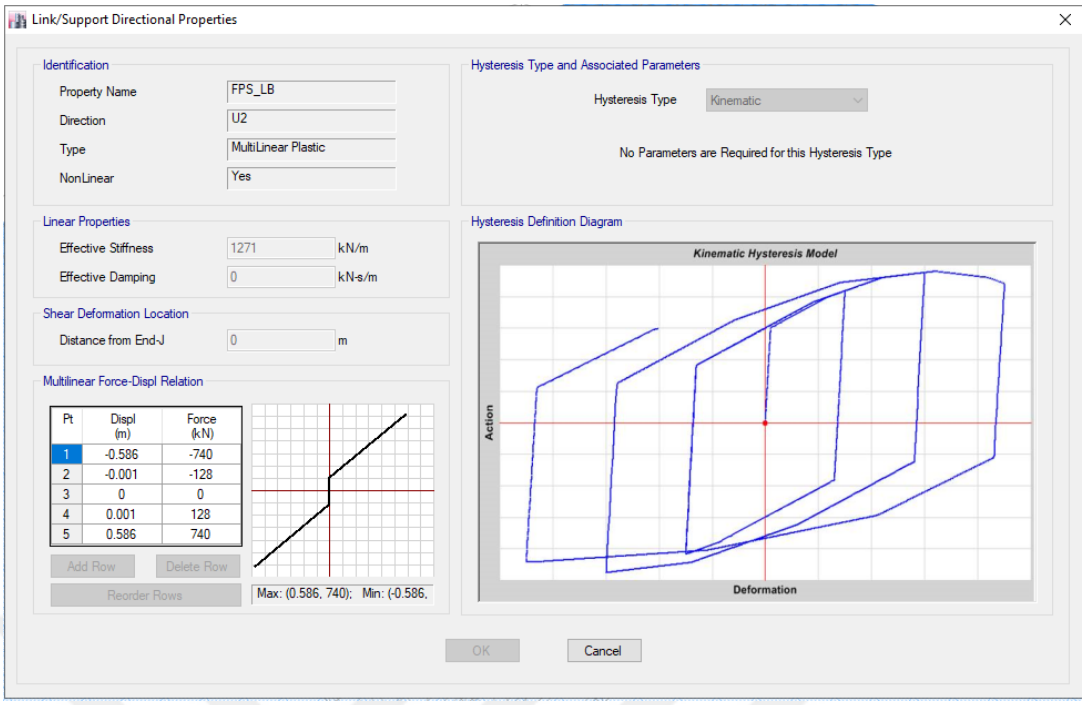
iv. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap sonucunda yalıtım arayüzünde hesaplanan yerdeğiştirmeler Etkin Deprem Yükü' ne göre hesaplanan değerlerin %80' inden az olmamalıdır.

3.1.3.1 FPS Yalıtım Birim Kullanılarak Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Yalıtım biriminin çözümü için; ETABS programında DD-1 deprem düzeyine uygun olarak ölçeklendirilmiş deprem kayıtları ile yalıtım birimi alt sınır özelliklerine göre çözüm yapılmıştır. Yalıtım birimi için hazırlanan modelde, FPS yalıtım birimleri için kullanılması gereken link ve özellikleri aşağıda sırasıyla Şekil 3.10 ve Şekil 3.11' de verilmiştir.



Şekil 3. 10 Link U1 (Z) kuvvet-deplasman özelliği



Şekil 3. 11 Link U2, U3 (X ve Y) kuvvet-deplasman ilişkisi

Yalıtım sistemi maksimum yerdeğiştirmesinin hesaplanması için çapraz iki köşedeki FPS yalıtım birimleri seçilerek, tüm depremler için hesaplanan yerdeğiştirme ve sonuçlarına bakılır (Çizelge 3.17 ve 3.18). Yapılan analizler sonucunda yalıtım birimi maksimum yerdeğiştirmesi 50.10 cm olarak belirlenmiştir. TBDY18 14.14.4.6’ ya göre Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile bulunan değer, Etkin Deprem Yükü Yöntemi ile bulunan değerin %80’ ninden küçük olmamalıdır. Buna göre 70.32x0.8=56.25 cm bulunur ve yalıtım biriminin yer değiştirmesi olarak bu değer kabul edilir.

$$U = \sqrt{U_2^2 + U_3^2} \tag{3.42}$$

Çizelge 3. 17 K5 numaralı köşe FPS yalıtım biriminin deplasmanları

Link	Deprem	U2 (m)	U3 (m)	U (m)	Deprem	U2 (m)	U3 (m)	U (m)
K5	RSN164 Max	0.253	0.358	*0.438*	RSN164 Min	-0.251	-0.562	*0.615*
K5	RSN755 Max	0.322	0.187	*0.372*	RSN755 Min	-0.317	-0.227	*0.390*
K5	RSN1083 Max	0.261	0.185	*0.320*	RSN1083 Min	-0.421	-0.304	*0.519*
K5	RSN1633 Max	0.320	0.230	*0.394*	RSN1633 Min	-0.400	-0.285	*0.491*
K5	RSN3750 Max	0.556	0.397	*0.683*	RSN3750 Min	-0.622	-0.444	*0.764*
K5	RSN3757 Max	0.435	0.310	*0.534*	RSN3757 Min	-0.515	-0.367	*0.632*
K5	RSN3759 Max	0.137	0.153	*0.206*	RSN3759 Min	-0.112	-0.197	*0.227*
K5	RSN4843 Max	0.175	0.324	*0.368*	RSN4843 Min	-0.182	-0.408	*0.447*
K5	RSN4848 Max	0.372	0.303	*0.480*	RSN4848 Min	-0.278	-0.320	*0.424*
K5	RSN5815 Max	0.292	0.255	*0.388*	RSN5815 Min	-0.316	-0.318	*0.448*
K5	RSN5818 Max	0.212	0.554	*0.593*	RSN5818 Min	-0.229	-0.513	*0.562*
			ORT	***0.434***			***ORT***	***0.501***

Çizelge 3. 18 K304 numaralı köşe FPS yalıtım biriminin deplasmanları

Link	Deprem	U2 (m)	U3 (m)	U (m)	Deprem	U2 (m)	U3 (m)	U (m)
K304	RSN164 Max	0.250	0.350	*0.430*	RSN164 Max	-0.241	-0.551	*0.602*
K304	RSN755 Max	0.322	0.165	*0.362*	RSN755 Max	-0.319	-0.215	*0.385*
K304	RSN1083 Max	0.256	0.189	*0.318*	RSN1083 Max	-0.424	-0.302	*0.521*
K304	RSN1633 Max	0.320	0.228	*0.392*	RSN1633 Max	-0.399	-0.285	*0.490*
K304	RSN3750 Max	0.556	0.398	*0.683*	RSN3750 Max	-0.622	-0.444	*0.764*
K304	RSN3757 Max	0.435	0.310	*0.534*	RSN3757 Max	-0.515	-0.367	*0.632*
K304	RSN3759 Max	0.138	0.150	*0.204*	RSN3759 Max	-0.114	-0.193	*0.224*
K304	RSN4843 Max	0.176	0.325	*0.369*	RSN4843 Max	-0.174	-0.398	*0.434*
K304	RSN4848 Max	0.382	0.294	*0.482*	RSN4848 Max	-0.291	-0.299	*0.417*
K304	RSN5815 Max	0.297	0.246	*0.386*	RSN5815 Max	-0.315	-0.323	*0.451*
K304	RSN5818 Max	0.209	0.567	*0.604*	RSN5818 Max	-0.225	-0.484	*0.534*
			ORT	***0.433***			***ORT***	***0.495***

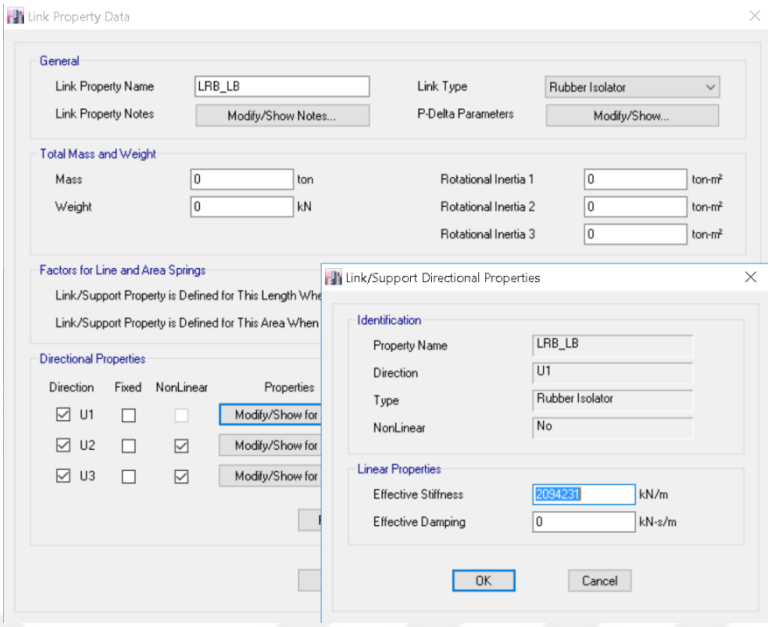
Deprem yalıtım sisteminden üst yapıya aktarılan taban kesme kuvveti ve oranı Çizelge 3.19’ da verilmiştir. Yapı ağırlığı 740205 kN olduğundan, DD-1 deprem düzeyi durumu için üst yapıya aktarılan kesme kuvvetleri 108519/740205=%14.6 oranındadır.

Çizelge 3. 19 Taban kesme kuvveti değerleri (FPS)

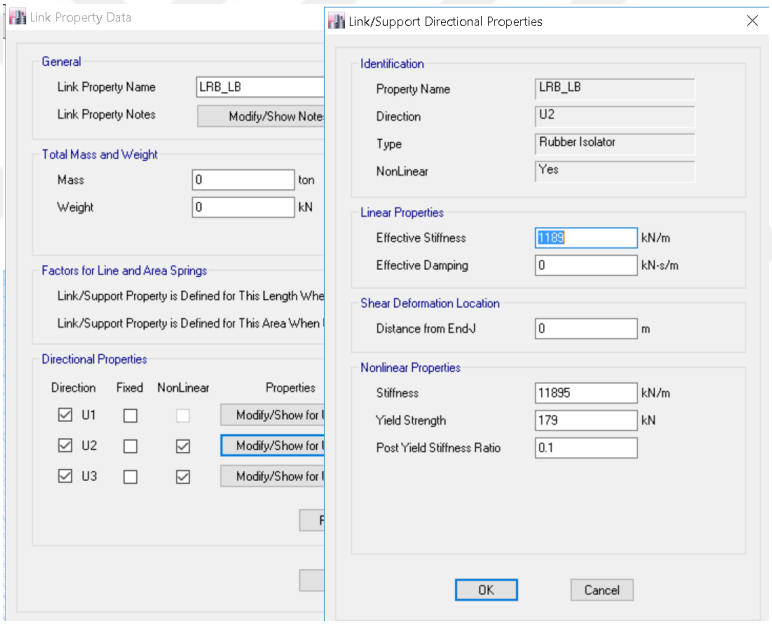
Deprem	FX kN	FY kN	F kN
RSN164 Max	60788.38	108361.27	124247.30
RSN164 Min	-59036.27	-73927.15	94607.11
RSN755 Max	71980.04	59161.98	93173.32
RSN755 Min	-70608.14	-51498.96	87393.66
RSN1083 Max	87481.08	68329.45	111003.85
RSN1083 Min	-63490.95	-49410.04	80451.55
RSN1633 Max	90469.18	69591.05	114156.24
RSN1633 Min	-79705.28	-66420.84	103752.83
RSN3750 Max	121214.54	86581.81	148960.98
RSN3750 Min	-111689.75	-79778.39	137256.16
RSN3757 Max	100809.73	72006.95	123885.44
RSN3757 Min	-89627.60	-64019.71	110143.67
RSN3759 Max	38827.80	52830.15	65563.89
RSN3759 Min	-44683.65	-47573.99	65268.01
RSN4843 Max	49118.09	85116.62	98272.20
RSN4843 Min	-46534.79	-75531.74	88716.01
RSN4848 Max	65476.90	70342.04	96100.09
RSN4848 Min	-81089.26	-68016.10	105837.88
RSN5815 Max	71304.11	71997.45	101330.69
RSN5815 Min	-68651.80	-66051.25	95267.19
RSN5818 Max	56039.51	102723.57	117015.21
RSN5818 Min	-53808.43	-111702.31	123986.90
		ORT_Max	*108519.45*
		ORT_Min	*99334.96*

3.1.3.2 LRB Yalıtım Birim Kullanılarak Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Yalıtım biriminin çözümü için; ETABS programında DD-1 deprem düzeyine uygun olarak ölçeklendirilmiş deprem kayıtları ile yalıtım birimi alt sınır özelliklerine göre çözüm yapılmıştır. Yalıtım birimi için hazırlanan modelde, LRB yalıtım birimleri için kullanılması gereken link ve özellikleri aşağıda sırasıyla Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’ de verilmiştir.



Şekil 3. 12 Link U1 (Z) kuvvet-deplasman özelliği



Şekil 3. 13 Link U2, U3 (X ve Y) kuvvet-deplasman ilişkisi

Yalıtım sistemi maksimum yerdeğiştirmesinin hesaplanması için çapraz iki köşedeki LRB yalıtım birimleri seçilerek, tüm depremler için hesaplanan yerdeğiştirme ve sonuçlarına bakılır (Çizelge 3.20 ve 3.21). Yapılan analizler sonucunda yalıtım birimi maksimum yerdeğiştirmesi 45.50 cm olarak belirlenmiştir. TBDY18 14.14.4.6’ ya göre Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile bulunan değer, Etkin Deprem Yükü Yöntemi ile bulunan değerin %80’ ninden küçük olmamalıdır. Buna göre 58.8x0.8=47cm bulunur ve yalıtım biriminin yer değiştirmesi olarak bu değer kabul edilir.

Çizelge 3. 20 K5 numaralı köşe LRB yalıtım biriminin deplasmanları

Link	Deprem	U2 (m)	U3 (m)	U (m)	Deprem	U2 (m)	U3 (m)	U (m)
K5	RSN164 Max	0.234	0.315	*0.392*	RSN164 Min	-0.255	-0.514	*0.574*
K5	RSN755 Max	0.323	0.157	*0.359*	RSN755 Min	-0.297	-0.259	*0.394*
K5	RSN1083 Max	0.248	0.187	*0.311*	RSN1083 Min	-0.421	-0.305	*0.52*
K5	RSN1633 Max	0.3	0.226	*0.376*	RSN1633 Min	-0.363	-0.263	*0.448*
K5	RSN3750 Max	0.405	0.305	*0.507*	RSN3750 Min	-0.394	-0.286	*0.486*
K5	RSN3757 Max	0.43	0.43	*0.608*	RSN3757 Min	-0.422	-0.306	*0.521*
K5	RSN3759 Max	0.154	0.143	*0.21*	RSN3759 Min	-0.107	-0.131	*0.169*
K5	RSN4843 Max	0.148	0.324	*0.356*	RSN4843 Min	-0.157	-0.388	*0.418*
K5	RSN4848 Max	0.428	0.368	*0.564*	RSN4848 Min	-0.357	-0.376	*0.519*
K5	RSN5815 Max	0.283	0.24	*0.371*	RSN5815 Min	-0.31	-0.358	*0.474*
K5	RSN5818 Max	0.236	0.569	*0.616*	RSN5818 Min	-0.244	-0.419	*0.485*
			ORT	***0.424***			***ORT***	***0.455***

Çizelge 3. 21 K304 numaralı köşe LRB yalıtım biriminin deplasmanları

Link	Deprem	U2 (m)	U3 (m)	U (m)	Deprem	U2 (m)	U3 (m)	U (m)
K304	RSN164 Max	0.232	0.292	*0.373*	RSN164 Max	-0.252	-0.499	*0.559*
K304	RSN755 Max	0.324	0.139	*0.353*	RSN755 Max	-0.293	-0.251	*0.386*
K304	RSN1083 Max	0.25	0.185	*0.311*	RSN1083 Max	-0.428	-0.296	*0.521*
K304	RSN1633 Max	0.299	0.23	*0.377*	RSN1633 Max	-0.36	-0.277	*0.455*
K304	RSN3750 Max	0.401	0.309	*0.506*	RSN3750 Max	-0.39	-0.3	*0.492*
K304	RSN3757 Max	0.426	0.328	*0.538*	RSN3757 Max	-0.418	-0.321	*0.527*
K304	RSN3759 Max	0.154	0.149	*0.215*	RSN3759 Max	-0.106	-0.126	*0.164*
K304	RSN4843 Max	0.14	0.324	*0.353*	RSN4843 Max	-0.158	-0.381	*0.412*
K304	RSN4848 Max	0.429	0.365	*0.563*	RSN4848 Max	-0.36	-0.36	*0.509*
K304	RSN5815 Max	0.291	0.232	*0.372*	RSN5815 Max	-0.311	-0.351	*0.469*
K304	RSN5818 Max	0.239	0.546	*0.596*	RSN5818 Max	-0.245	-0.391	*0.461*
			ORT	***0.414***			***ORT***	***0.45***

Deprem yalıtım sisteminden üst yapıya aktarılan taban kesme kuvveti ve oranı Çizelge 22’ de verilmiştir. Yapı ağırlığı 740205 kN olduğundan, DD-1 deprem düzeyi durumu için üst yapıya aktarılan kesme kuvvetleri 124513/740205=%16.8 oranındadır.

Çizelge 3. 22 Taban kesme kuvveti değerleri (LRB)

Deprem	**FX kN**	**FY kN**	**F kN**
RSN164 Max	75712.28	141091.78	160122.58
RSN164 Min	-77625.94	-102862.18	128865.88
RSN755 Max	87389.69	78373.26	117385.38
RSN755 Min	-90283.20	-69107.80	113696.71
RSN1083 Max	96625.98	81175.32	126198.31
RSN1083 Min	-83360.82	-74824.40	112016.59
RSN1633 Max	84926.61	65328.16	107146.15
RSN1633 Min	-78346.08	-60266.21	98843.94
RSN3750 Max	105732.68	81332.83	133395.76
RSN3750 Min	-100345.12	-77188.56	126598.64
RSN3757 Max	106269.27	81745.59	134072.73
RSN3757 Min	-103315.46	-79473.43	130346.12
RSN3759 Max	54338.31	90111.76	105227.28
RSN3759 Min	-54630.37	-99857.56	113824.47
RSN4843 Max	50360.24	105642.34	117031.87
RSN4843 Min	-60216.09	-114967.23	129782.29
RSN4848 Max	91964.58	88833.80	127862.93
RSN4848 Min	-108436.49	-79927.88	134710.58
RSN5815 Max	76436.85	78299.10	109422.77
RSN5815 Min	-72677.68	-85958.74	112565.31
RSN5818 Max	63076.64	115709.36	131785.12
RSN5818 Min	-56426.09	-132285.08	143816.71
		ORT_Max	*124513.72*
		ORT_Min	*122278.84*

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında örnek bir hastane yapısı için iki farklı yalıtım birimi elamanı kullanarak TBDY18' e uygun olarak analizler yapılmış ve performans sonuçları elde edilmiştir. Örnek hastane yapısının bina ağırlığı (W) 740205kN ve yalıtım birimlerinin sayısı 156' dır.

Her iki tip yalıtım birimi için örnek yapı üzerinde hesap ve analizler yapılmış olup, çıkan sonuçlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.23, Çizelge 3.24 ve Çizelge 3.25' te verilmiştir.

Çizelge 3. 23 Yalıtım Birimi Alt Sınır Özellikleri ile DD-1 Deprem Düzeyi için Etkin Deprem Yükü Yöntemi

	FPS	**LRB**
Etkin Periyot, T_M	3.88 s	3.55 s
Etkin Sönüm Oranı, β_e	10.90%	14.00%
Yalıtım Birimi Yerdeğiştirmesi, D_M	58.60 cm	49.00 cm
Yalıtım Birimi Toplam Yerdeğiştirmesi, D_{MD}	70.32 cm	58.80 cm

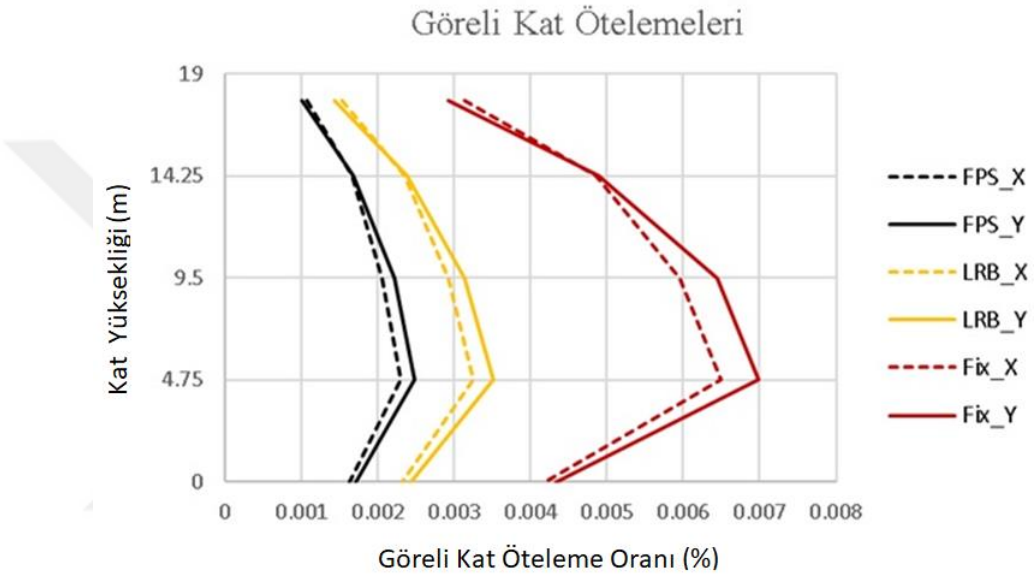
Çizelge 3. 24 Yalıtım Birimi Üst Sınır Özellikleri ile DD-2 Deprem Düzeyi için Etkin Deprem Yükü Yöntemi

	FPS	**LRB**
Taban Kesme Kuv. Oranı, V/W	10.1%	14%
Etkin Periyot, T_D	2.05 s	1.42 s
Etkin Sönüm Oranı, β_e	30.00%	30.00%
Yalıtım Birimi Yerdeğiştirmesi, D_D	10.50 cm	7.10 cm

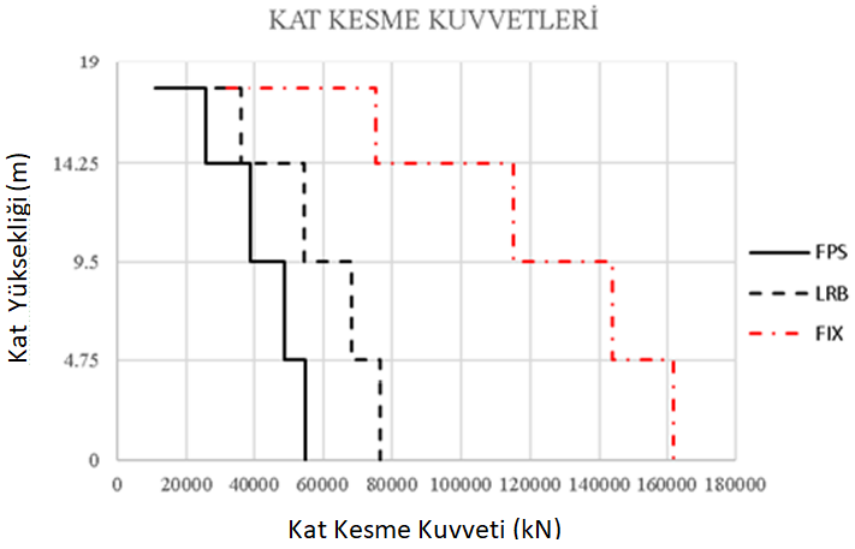
Çizelge 3. 25 Yalıtım Birimi Alt Sınır Özellikleri ile DD-1 Deprem Düzeyi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

	FPS	**LRB**
Taban Kesme Kuv. Oranı, V/W	14.60%	16.80%
Yalıtım Birimi Yerdeğiştirmesi, D_M	50.10 cm	45.50 cm

Ankastre mesnetli yapı durumunu da içine alan göreli kat ötelemelerinin karşılaştırılması Şekil 3.14' teki grafikte verilmiştir.



Şekil 3. 14 LRB, FPS ve ankastre mesnetli durum için göreli kat ötelemeleri



Şekil 3. 15 LRB, FPS ve ankastre mesnetli durum için kat kesme kuvvetleri

Örnek bir hastane yapısında, TBDY18 Bölüm 14' teki koşullara uygun olarak FPS ve LRB yalıtım birimleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda ulaşılan sayısal sonuçlar karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

i. FPS tipi deprem yalıtımı kullanılan yapının, LRB tipi deprem yalıtımı kullanılan yapıya göre etkin periyodu daha uzundur. Bu yüzden FPS tipi deprem yalıtımı için hesaplanan deplasman talebi daha fazladır. FPS yalıtım birimi için deplasman talebi, etkin deprem yükü ile yapılan hesaplarda 70.32 cm, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaplarda ise 50.10 cm olarak hesaplanmıştır. TBDY18 14.14.4.6' ya göre etkin deprem yükü ile hesaplanan deplasmanın %80' i 56.25 cm olduğu için FPS yalıtım biriminin nihai deplasman talebi 56.25 cm olarak belirlenmiştir. LRB yalıtım birimi için deplasman talebi, etkin deprem yükü ile yapılan hesaplarda 58.80 cm, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesaplarda ise 45.50 cm olarak hesaplanmıştır. TBDY18 14.14.4.6' ya göre etkin deprem yükü ile hesaplanan deplasmanın %80' i 47 cm olduğu için LRB yalıtımı biriminin nihai deplasman talebi 47 cm olarak belirlenmiştir.

ii. LRB yalıtım birimi kullanılan yapıda, FPS yalıtım birimi kullanılan yapıya göre üst yapıya daha çok taban kesme kuvveti aktarılır. TBDY18' e göre üst limit olmamasına rağmen, Sağlık Bakanlığı' nın deprem yalıtımlı hastane yapıları için hazırlanan güncel genelgesine göre için üst yapıya aktarılması gereken kesme kuvveti oranının %10' unu aşmaması istenmektedir. Düzenli yapı kabulü ile TBDY 4.8.4.1' e göre etkin deprem yükü yönteminin düzeltme katsayısı için 0.8 kullanılırsa üst yapıya geçen kesme kuvveti oranı, FPS yalıtım birimi kullanılan yapı için %8.08 (%10x0.8=%8.08), LRB yalıtım birimi kullanılan yapı için %11.2 (%14x0.8=%11.2) olarak hesaplanmaktadır. Özellikle LRB yalıtım birimi kullanılan yapıların en büyük sorunu, üst yapıya geçen kesme kuvveti oranının azaltılmasının zorluğudur. Bu kesme kuvveti oranının azaltılması için elastomer katman kalınlığı ve kauçuk plaka adeti arttırılabilir.

iii. Etkin sönüm oranı tüm deprem düzeylerinde LRB tipi deprem yalıtımı için daha yüksektir. Fakat TBDY18 14.14.3.5' e göre sönüm oranı %30 olarak

sınırlandırılmıştır, bundan dolayı DD-2 deprem düzeyi için hesaplarda her iki yalıtım biriminin sönüm oranı %30 olarak alınmıştır.

iv. Yalıtımlı yapılar ile ankastre mesnetli yapı arasında göreli kat ötelemeleri ve kat kesme kuvvetleri karşılaştırılmasına bakıldığında; yalıtımlı durumlar için göreli kat ötelemeleri oranları ve kat kesme kuvvetlerinin ankastre mesnetli duruma göre çok daha düşük olduğu görülmektedir.

Sayısal olarak elde edilen karşılaştırmalara ek olarak;

v. Sağlık Bakanlığı' nın deprem yalıtımlı hastane yapıları için hazırlanan güncel genelgesine göre deprem yalıtım birimleri için gereken deney koşulları sağlanmalıdır. Buna göre LRB tipi deprem yalıtımı birimleri, kauçuk malzemesi ve üretiminden dolayı mutlaka %100 (kullanılacak tüm yalıtım birimleri için) deney gerektirir. FPS tipi deprem yalıtımı birimlerinde ise deney oranı %30 olarak kabul edilmektedir.

vi. Aynı sayıda ve benzer performans seviyesine sahip deprem yalıtım birimleri ele alındığında, LRB yalıtım birimlerinin birim fiyatları daha yüksektir. Her iki deprem yalıtımı birimi için de yerli üretim bulunmaktadır.

vii. 156 adet deprem yalıtım birimi için üreticilerden teklif istenmiştir. Verilen ortalama birim fiyatlar LRB için 30000 TL, FPS için 25000 TL' dir. Örnek hastane yapısı için FPS deprem yalıtım birimi kullanıldığında 780000 TL kazanç sağlanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] C. Öcal, A. Yıldız, ve O. Soykan, “Deprem Yalıtım Sistemleri”, Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, 335-339, (2015).

[2] H. S. Şengel, H. Erol, E. Yavuz, “Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanışına İlişkin Örnek Uygulama”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, Sayı 2, Sayfa 166-178, Eylül 2009.

[3] R.I. Skinner, W.H. Robinson and G.H. McVerry, An Introduction to Seismic Isolation, England: John Wiley & Sons Inc., 1993.

[4] M.J.N. Priestley, G.M. Calvi, and M.J.Kowalsky, Displacement-Based Seismic Design of Concrete Structures, Spain: Eucentre, 2007.

[5] C.G. Özpalanlar, “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.

[6] M.İ. Urgu, “Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Ensitüsü, İzmir, 2006.

[7] S.S. Tezcan ve S. Cimilli, “Seismic Base Isolation”, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları, Sayı 2, Haziran 2002.

[8] F. Naeim, J.M. Kelly, Design of Seismic Isolated Structures, New York: John Wiley & Sons Inc., 1999.

[9] I.D. Aiken, J.M. Kelly, P.W. Clark, K. Tamura, M. Kikuchi, ve T. Itoh, “Experimental studies of the mechanical characteristics of three types of seismic isolation bearings”, Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, 2281-2286, (1992).

[10] Ö. Kan, K, Kaymaz, B. Zengin, M. Özcan, “Türkiye'deki Depreme Dayanıklı Yapıların Sismik İzolasyon Tiplerinin İncelenmesi”, Munzur Üniversitesi Bilim ve Gençlik Dergisi, 5, Sayı 1, Sayfa 83-100, 2017.

[11] G. Güven, “Bir Hastane Yapısının Klasik Yöntemle ve Sismik İzolatör Kullanılarak Tasarımının Dinamik Yönden Karşılaştırılmasının Yapılması”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.

[12] Ö. Doğan, “Sismik taban izolasyon sistemleri ve uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, MKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, 2007.

[13] Y. Avcı, “Çerçevelerden oluşan bir okul binasının taban izolatörleri kullanılarak güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

[14] V.A. Zayas, S.S. Low ve S.A. Mahin “The FPS earthquake resisting system: Experimental report” University of California Berkeley, Earthquake Engineering Research Center, Rapor UCB/EERC-87/01, (1987).

[15] V.A. Zayas, S. Low, L. Bozzo ve S.A. Mahin “Feasibility and performance studies on improving the earthquake resistance of new and existing buildings using the friction pendulum system” University of California Berkeley, Earthquake Engineering Research Center, Rapor UCB/EERC-89/09, (1989).

[16] P.W. Clark, ve J.M. Kelly, “Experimental testing of the resilient-friction base isolation system” University of California Berkeley, Earthquake Engineering Research Center, Rapor UCB/EERC-90/10, (1990).

[17] J.M. Kelly, “Control of response of piping systems and other structures by base isolation” University of California Berkeley, Earthquake Engineering Research Center, Rapor UCB/EERC-81/01, (1981).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gözde ÇAKAT

Doğum Tarihi ve Yeri : 25/08/1992

Yabancı Dili : İngilizce (Orta seviye)

E-posta : ciftci.gozde@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	İnş. Müh. /Mekanik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2019
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	Hacı Hatice Bayraktar Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2014-2018	Parlar Mühendislik	Proje Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. G. Çakat, Z. Fırat Alemdar, “Seismic base isolation of a typical hospital structure with a friction pendulum isolator”, Golden Light Publishing, 2, Sayı 1, Sayfa 1-11, 2019.