<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ</u>

BİR VERİ MERKEZİ YAPISININ FARKLI SİSMİK YALITIM BİRİMLERİ KULLANILARAK TBDY-2018 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şafak KURT

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2022



<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ</u>

BİR VERİ MERKEZİ YAPISININ FARKLI SİSMİK YALITIM BİRİMLERİ KULLANILARAK TBDY-2018 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şafak KURT (501171056)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Pınar Özdemir ÇAĞLAYAN

OCAK 2022



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501171056 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Şafak KURT, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "BİR VERİ MERKEZİ YAPISININ FARKLI SİSMİK YALITIM BİRİMLERİ KULLANILARAK TBDY-2018 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı	:
---------------	---

Dr. Öğr. Üyesi Pınar Özdemir ÇAĞLAYAN..... İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri :

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Tuğrul TURAN İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bilge DORAN Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi: 17 Ocak 2022Savunma Tarihi: 26 Ocak 2022





Eşime,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana vaktini ayıran ve desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Pınar Özdemir ÇAĞLAYAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans, yüksek lisans ve mesleki hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve yol gösteren kıymetli hocam Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN'a içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca bilgi ve öngörüleri ile bana ışık tutan Dr. Öğr. Üyesi Ömer Tuğrul TURAN hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Desteği ve ilgisi ile her zaman yanımda olan, neşe ve motivasyon kaynağım sevgili eşim Betül KURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2022

Şafak KURT (İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

<u>Sayfa</u>

ÖNSÖZ	vii
IÇINDEKILER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	XIII
ÇIZELGE LISTESI	XVII
ŞEKIL LISTESI	XİX
	XXI
SUMMARY	XXV
$\begin{array}{cccc} \mathbf{I}, \mathbf{GIRI} \\ \mathbf{I}, \mathbf{T}, \mathbf{T}, \mathbf{V}, \mathbf{V} \\ \mathbf{I}, \mathbf{T}, \mathbf{V}, \mathbf{V}, \mathbf{V} \\ \mathbf{I}, \mathbf{V}, $	I
1.1 Tezin Amacı ve içerigi	1۱ م
1.2 Literatur Araştırması	2
2. SISMIK YALITIM BIRIMI ÇEŞITLERI	5
2.1 Elastomer Yalıtım Bırımleri	5
2.1.1 Düşük sönümlü kauçuk yalıtım birimi	6
2.1.2 Yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimi	6
2.1.3 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi	7
2.2 Sürtünmeli Yalıtım Birimleri	7
2.2.1 Düz yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi	7
2.2.2 Rulman tipi sürtünmeli yalıtım birimi	8
2.2.3 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi	9
3. SISMIK YALITIM BIRIMI MEKANIK OZELLIKLERI	11
3.1 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtım Birimi Mekanik Özellikleri	11
3.2 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimi Mekanik Ozellikleri	14
4. TBDY-2018 ANALIZ YONTEMLERI	17
4.1 Genel Tasarım İlkeleri	17
4.2 Performans Hedefleri	18
4.3 Tasarımda Kullanılacak Yük Birleşimleri	18
4.4 Elastomer Yalıtım Birimleri	18
4.5 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri	19
4.6 Hesap Yöntemleri	20
4.6.1 Etkin deprem yükü yöntemi	20
4.6.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	22
4.6.3 Yalıtımlı binalarda göreli kat ötelemesi sınırları ve deprem derzleri	23
5. SİSMİK YALITIMLI VERİ MERKEZİ TASARIMI	25
5.1 Tasarımı Yapılacak Yapı Hakkında Bilgiler	25
5.2 Deprem Parametrelerinin Belirlenmesi	27
5.3 Yalıtım Birimleri Ön Tasarımı	28
5.3.1 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi ön tasarımı	28
5.3.1.1 DD-1 ve yalıtım birimi parametreleri alt sınıra göre tasarım	29
5.3.1.2 DD-2 ve valıtım birimi parametreleri üst sınıra göre tasarım	32

5.3.2 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi ön tasarımı	35
5.3.2.1 DD-1 ve yalıtım birimi parametreleri alt sınıra göre tasarım	35
5.3.2.2 DD-2 ve yalıtım birimi parametreleri üst sınıra göre tasarım	37
5.4 Hesap Modellerinin Modal Analiz Sonuçları	39
5.4.1 Ankastre mesnetli modelin modal analiz sonuçları	39
5.4.2 LRB yalıtım birimli modelin modal analiz sonuçları	40
5.4.3 FPS yalıtım birimli modelin modal analiz sonuçları	42
5.5 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi	45
5.6 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları	47
6. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59



KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
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
FPS	: Sürtünmeli Sarkaç Sistemler
HDRB	: Yüksek Sönümlü Kauçuk Yalıtım Birimi
КК	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
LDRB	: Düşük Sönümlü Kauçuk Yalıtım Birimi
LRB	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtım Birimi
PEER	: Pasific Earthquake Engineering Research Center
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



SEMBOLLER

Α	: Elastomer yalıtım birimin brüt kesit alanı
$\mathbf{A}_{\mathbf{L}}$: Elastomer katmanı kenar yüzeyi alanı
Ар	: Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinde kurşun çekirdeğin alanı
Ar	: Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı
В	: Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı
BL	: Kurşun çekirdek çapı
D	: Yalıtım birimi için yerdeğiştirme değeri
Dtd	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
D тм	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
$\mathbf{D}_{\mathbf{y}}$: Yalıtım biriminin etkin akma yerdeğiştirmesi
Ec	: Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü
Eo	: Esneklik modülü
Ev	: Düşey rijitlik modülü
F	: Yalıtım biriminde D yerdeğiştirmesine karşı gelen dayanım
$\mathbf{F}_{\mathbf{y}}$: Etkin akma dayanımı
FQ	: Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı (kuvvet-yerdeğiştirme çevriminde sıfır yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvvet)
g	: Yer çekimi ivmesi
Gv	: Elastomer malzemenin kayma modülü
Η	: Yalıtım birimi toplam yüksekliği
Ι	: Bina Önem Katsayısı
K	: Kauçuk malzemenin hacim modülü
KD	: Tasarım deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği
KM	: En büyük deprem yer hareketi yerdeğiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği

k 1	: Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (elastik rijitlik)
k ₂	: Elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği
ke	: D yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik
kv	: Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği
k _T	: Elastomer yalıtım biriminin burulma rijitliği
Р	: Düşey yük ve deprem yükünün ortak etkisi altında meydana gelen en büyük düşey yük
Rc	: 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	: Elastomer katman kalınlığı
Тр	: Deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu
Тр	: Yalıtım uygulanmamış binanın brüt kesit rijitliği kullanılarak hesaplanmış hakim mod titreşim periyodu
T _M	: En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu
Tr	: Toplam elastomer kalınlığı
Tv	: Elastomer yalıtım birimleri ile yalıtılmış yapının düşey doğrultudaki titreşim periyodu
W	: Binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığı
Wd	: Tüketilen enerji (Kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin içinde kalan alan)
βe	: Etkin sönüm oranı
$ au_{yp}$: Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi
μ	: Etkin sürtünme katsayısı
n	: Toplam yalıtım birimi sayısı
η _{bi}	: i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
ηd	: Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı

- **η**M : En büyük deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı
- ξ : DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki yalıtım birimi için hesaplanan etkin sönüm yüzdesi





ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Sayfa</u>

Çizelge 4.1 : Elastomer Yalıtım Birimleri Dayanım ve Rijitlik Parametreleri Alt ve
Üst Sınır Öneri Değerleri 19
Çizelge 4.2 : Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için Alt ve Üst Sınır Öner
Değerleri
Çizelge 5.1 : Yapıya etki eden ilave yükler
Cizelge 5.2 : DD-1 ve DD-2 deprem parametreleri
Cizelge 5.3 : LRB yalıtım birimi için seçilen tasarım parametreleri
Cizelge 5.4 : FPS yalıtım birimi için seçilen tasarım parametreleri
Cizelge 5.5 : İlk on modun periyot değerleri
Cizelge 5.6 : DD-1 için seçilen deprem kayıtları
Çizelge 5.7 : DD-2 için seçilen deprem kayıtları



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sayfa</u>

Sekil 2.1 : Pestalozzi İlkokul Binası Üsküp, Makedonva	5
Sekil 2.2 : Düsük sönümlü kaucuk valıtım birimi [12].	6
Sekil 2.3 : Yüksek sönümlü kaucuk valıtım birimi (HDRB) [13].	6
Sekil 2.4 : Kursun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi [13].	7
Sekil 2.5 : Düz yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi [6]	8
Sekil 2.6 : Doğrusal hareket tipi sürtünmeli yalıtım birimi [15].	8
Şekil 2.7 : Döner bilyalı düz plaka tipi sürtünmeli yalıtım birimi [15].	8
Şekil 2.8 : Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi [14].	9
Şekil 2.9 : Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi sarkaç hareketi gösterimi [6]	9
Şekil 3.1 : Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi [1].	. 11
Şekil 3.2 : LRB kuvvet-yerdeğiştirme grafiği [1]	. 12
Şekil 3.3 : Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi [1].	. 14
Şekil 3.4 : FPS kuvvet-yerdeğiştirme grafiği [1]	. 15
Şekil 5.1 : Yalıtım arayüzü planı.	25
Şekil 5.2 : Tipik kat planı.	26
Şekil 5.3 : Üç boyutlu sonlu eleman modeli	26
Şekil 5.4 : Yatay elastik tasarım spektrumu.	28
Şekil 5.5 : (a) Y yönü periyodu (T=0.515 s), (b) X yönü periyodu (T=0.501 s),	(c)
burulma periyodu (T=0.442 s).	40
Şekil 5.6 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için (a) Y yönü periyodu (T=3.933	s),
(b) X yönü periyodu (T=3.932 s), (c) burulma periyodu (T=3.501 s).	41
Şekil 5.7 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için (a) Y yönü periyodu (T=1.516	s),
(b) X yönü periyodu (T=1.512 s), (c) burulma periyodu (T=1.303 s).	. 42
Şekil 5.8 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için (a) Y yönü periyodu (T=2.182	s),
(b) X yönü periyodu (T=2.180 s), (c) burulma periyodu (T=1.925 s).	.43
Şekil 5.9 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için (a) Y yönü periyodu (T=1.504	s),
(b) X yönü periyodu ($T=1.501$ s), (c) burulma periyodu ($T=1.304$ s).	.44
Şekil 5.10 : DD-1 için ölçeklenen deprem kayıtları.	. 46
Şekil 5.11 : DD-2 için ölçeklenen deprem kayıtları.	47
Şekil 5.12 : DD-2 için ortalama kat kesme kuvvetleri	. 48
Şekil 5.13 : DD-1 ve DD-2 için ortalama kat yerdeğiştirmeleri.	. 49
Sekii 5.14 : DD-1 ve DD-2 için goreli Kat ötelemeleri.	50
Sekil 5.15 : DD-2 için ortalama kat ivmeleri.	51
Sekil 5.10 : 1-F aksi LKB yalitim birimi yerdegiştirme grafikleri.	52
Şekii 5.1 / : 1-F aksi FPS yalıtım birimi yerdegiştirme grafikleri	55



BİR VERİ MERKZEİ YAPISININ FARKLI SİSMİK YALITIM BİRİMLERİ KULLANILARAK TBDY-2018 YÖNETMELİĞİNE GÖRE DEĞERLENDİRİMESİ VE SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

İnternet ile globalleşen günümüz dünyasında, veri çok önemli bir yere sahiptir. Yapılan her bir işlemin kayıt altına alındığı teknoloji şirketleri, bankalar, ulusal güvenlik kurumları gibi birçok organizasyonun bu verileri yönetme ve saklama ihtiyacı bulunmaktadır. Günden güne artan veri hacminin güvenli bir şekilde depolanması ve her an ulaşılabilir olması bu kurumlar için kritik önem arz etmektedir.

Ülkemizde can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerin başında deprem gelmektedir. Ülke nüfusunun ve sanayinin çok büyük bir kısmı aktif fay hatlarının üzerine kurulan şehirlerde bulunmaktadır. Olası bir deprem durumunda, veri merkezi yapısının taşıyıcı sistemine ve içerisinde bulunan hassas ekipmanlara zarar gelmemesi için önlem almak zorunlu hale gelmektedir.

Sismik yalıtım, yapıların ve yapısal olmayan elemanların deprem etkilerine karşı korunmasında kendini ispatlamış en etkin yöntemlerden biridir. Sismik yalıtımda temel amaç, deprem kuvvetlerini karşılayacak yapının dayanımını arttırmak yerine yapıya gelen deprem kuvvetlerini azaltmak prensibine dayanmaktadır. Zemin ile yapının taşıyıcı sistemi birbirinden ayrılarak deprem ivmelerinin yapıya erişmesinin önlenmesi, sismik yalıtımın birincil amacıdır. Yapıya etkiyen deprem ivmelerinin azalması nedeniyle sismik yalıtımlı binalarda kat ivmeleri ve göreli kat ötelemeleri standart binalara göre oldukça düşüktür. Sismik yalıtım sayesinde hem taşıyıcı sistem hem de bina içinde yer alan yapısal olmayan eleman ve ekipmanlardaki hasar oluşma ihtimalleri büyük oranda azaltılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, bir veri merkezi yapısının iki farklı yalıtım birimi ile ankastre mesnetli olması durumları için deprem etkisi altında davranışı incelenmiştir. Uygulamada en çok kullanılan, kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi ile eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi (LRB), kauçuk katmanlarının arasına ince çelik plakalar yerleştirilerek oluşturulan içerisinde bir veya daha fazla kurşun çekirdek bulunan sismik yalıtım sistemidir. Yeni Zellanda'da icat edilen bu yalıtım biriminin çevresel etkilere karşı dayanıklılığı fazladır. TBDY-2018 yönetmeliğinde tarif edilen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi elastik ötesi rijitliği; kauçuk kayma modülüne, kauçuk alanına ve kauçuk yüksekliğine bağlıdır. Bu parametreler değiştirilerek istenilen yalıtım birimi davranışları elde edilebilmektedir.

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi (FPS), sürtünmeli sarkaç sistem olarak da adlandırılmaktadır. Taşıyıcı sistem, eğrisel yüzeylerin arasında bulunan düşük sürtünmeli bir çekirdek üzerinde hareket eder. Deprem esnasında yapı, yalıtım biriminin iç bükey yüzeyinde yükselip alçalarak enerji sönümler. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtımın biriminin diğer sürtünmeli yalıtım birimlerinden en önemli farkı, yapısı gereği geri merkezlenme özelliğinin bulunmasıdır. Yapıya etkiyen dinamik etki ortadan kalktığında sürtünme kuvveti yardımıyla, yapı ilk konumuna dönme eğilimindedir. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım biriminin elastik ötesi rijitliği, TBDY-2018 yönetmeliğinde belirtildiği gibi eksenel yükün, etkin eğrilik yarıçapına bölünmesi ile bulunmaktadır. Yapı hakim titreşim periyodu ve yalıtım birimi yerdeğiştirmesi doğrudan etkin eğrilik yarıçapına bağlıdır.

Yalıtım birimi mekanik özellikleri, TBDY-2018 yönetmeliğinde tarif edilen etkin deprem yükü yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Yalıtım birimlerinin mekanik özellikleri belirlenirken DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için deplasman ve periyot değerlerinin benzer olmasına dikkat edilmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi ve eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi için ayrı ayrı elde edilen özellikler ETABS programında doğrasal olmayan link elemanlara atanmıştır. Link elemanlar kolonların yalıtım arayüzüne bastığı noktalara girilmiştir.

Deprem parametreleri, yapı konumu ve zemin sınıfı gözönüne alınarak AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'ndan elde edilmiştir. PEER veritabanından, DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan yatay ivme spektrumuna uygun 11 adet deprem kaydı takımı seçilmiştir. Yapı konumunun depremsellik özelliklerini belirleyen fay tipi, faya olan uzaklık ve deprem büyüklüğü parametreleri veritabanında filtreleme yaparken gözönüne alınmıştır. Seçilen deprem kaydı takımları TBDY-2018 yönetmeliğinde belirtilen periyot aralıkları için DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde ayrı ayrı SeismoMatch programında ölçeklendirilmiştir.

Ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimli ve eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimli mesnet koşulları için DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde herbiri için iki adet, toplamda altı adet hesap modeli oluşturulmuştur. Analiz sonuçları, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak ETABS programından elde edilmiştir.

Yapılan modal analiz sonucunda ankastre mesnetli yapının hakim periyodu 0.515 s, LRB yalıtım birimli yapının DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için hakim periyotları sırasıyla 3.933 s ve 1.516 s, FPS yalıtım birimli yapının DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için hakim periyotları ise sırasıyla 2.182 s ve 1.504 s bulunmuştur. Yalıtım birimi ön tasarımında bulunan periyot değerleri ile analiz sonucunda elde edilen periyot değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmektedir.

DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kat kesme kuvvetleri ankastre mesnetli yapıya kıyasla, LRB yalıtım birimli yapıda %90, FPS yalıtım birimli yapıda %78.5 oranında azalmıştır.

Çalışmada elde edilen DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için en üst katın ortalama kat yerdeğiştirmeleri incelendiğinde, ankastre mesnetli yapıya kıyasla yalıtım birimli yapıların kat yerdeğiştirmeleri beklenildiği gibi artmıştır. Yalıtım birimli modellerde üst yapının rijit kütle davranışı sergilediği gözlemlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen göreli kat ötelemeleri incelendiğinde, DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yalıtım birimli yapıların kesintisiz kullanım performans düzeyini rahatlıkla sağladığı ancak ankastre mesnetli yapının sınırlı hasar performans düzeyi limitlerini aştığı görülmektedir.

Analizler sonucunda DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde en üst katta oluşan ivmeler, ankastre mesnetli yapı için 1.854 g, LRB yalıtım birimli yapı için 0.073 g ve

FPS yalıtım birimli yapı için 0.230 g olarak elde edilmiştir. Kat ivmelerinin ankastre yapıya kıyasla, LRB yalıtım birimli yapıda %96, FPS yalıtım birimli yapıda %87.6 oranında azalmıştır. Ayrıca LRB yalıtım birimli yapının kat ivmelerinin 0.2 g limit değerini aşmadığı, ancak FPS yalıtım birimli yapının kısa doğrultuda 0.2 g limit değerini bir miktar aştığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen veriler göz önüne alındığında, deprem gibi bir doğal afet sonrasında kesintisiz kullanım gerektiren veri merkezi tipi bir yapıda sismik yalıtım birimlerinin kullanılmasının, göreli kat ötelenmelerini ve kat ivmelerinin sınırlandırılmasında etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.



EVALUATION OF A DATA CENTER STRUCTURE USING DIFFERENT SEISMIC ISOLATOR UNITS ACCORDING TO TBDY-2018 CODE AND COMPARISON OF THE RESULTS

SUMMARY

In today's world, which has become globalized with the Internet, data has a very important place. Many organizations, such as technology companies, banks, national security institutions, where each transaction is recorded, need to manage and store this data. It is of critical importance for these institutions that the data volume increasing day by day is stored securely and accessible at any time.

Earthquakes are the leading natural disasters that cause loss of life and property in our country. A large part of the country's population and industrial plants are located in cities built on active fault lines. In the event of a possible earthquake, it becomes necessary to take precautions to prevent damage to the strucutral system of the data center building and the sensitive equipment inside.

Seismic isolation is accepted as one of the most effective methods that has proven itself in the protection of buildings and non-structural elements inside the building against the effects of earthquakes. The main purpose of seismic isolation is based on the principle of reducing the earthquake forces coming into the structure instead of increasing the strength of the structure to meet the earthquake forces. The primary purpose of seismic isolation is to prevent earthquake accelerations from reaching the structure by separating the ground and the structural system of the building. Due to the reduction of earthquake accelerations affecting the structure, the story accelerations and story drifts in seismic isolated buildings are considerably lower than in conventional buildings. Thanks to seismic isolation, the risk of damage to both the structural system and non-structural elements and equipment in the building can be effectively reduced.

In this thesis, the behavior of a data center structure under the influence of earthquakes was investigated in cases where two different isolation units and a fixed support are used. The most commonly used lead rubber bearing (LRB) and friction pendulum system (FPS) were evaluated within the scope of the study.

The lead rubber bearing (LRB) is a seismic isolation system formed by placing thin steel plates between the rubber layers with one or more lead cores. This isolation unit, which was invented in New Zealand, is highly resistant to environmental effects. The inelastic stiffness of the lead rubber bearing described in the TBDY-2018 code; it depends on rubber shear modulus, rubber area and rubber height. By changing these parameters, desired isolation unit behaviors can be obtained.

Friction pendulum system (FPS) consists of a low friction core located between curved steel surfaces. During an earthquake, the structural system absorbs energy by rising and falling on the concave surface of the isolation unit. The most important difference of the friction pendulum system from other friction isolation units is that it has a re-centring feature due to its nature. When the dynamic effect on the structure disappears, the structure tends to return to its original position with the help of friction force. The inelastic stiffness of the friction pendulum system is found by dividing the axial load by the effective radius of curvature, as specified in the TBDY-2018 code. The structure period and the isolation unit displacement are directly dependent on the effective radius of curvature.

The mechanical properties of the seismic isolation units were calculated using the effective earthquake load method described in the TBDY-2018 code. While determining the mechanical properties of the isolation units, attention was paid to ensure that the displacement and period values were similar for the DD-2 earthquake ground motion level. The properties obtained separately for the lead rubber bearing and the friction pendulum system were assigned to the non-linear link elements in the ETABS program. Link elements are inserted at the points where the columns located on the isolation interface.

Earthquake parameters were obtained from AFAD Turkey Earthquake Hazard Maps Interactive Web Application, considering the building location and soil class. 11 earthquake record sets were selected from the PEER database, which are suitable for the horizontal acceleration spectrum calculated for the DD-1 and DD-2 earthquake ground motion levels. Fault type, distance to fault and earthquake magnitude parameters, which determine the seismicity of the building location, were taken into account while filtering the database. The selected earthquake record sets were scaled separately in the SeismoMatch program at the DD-1 and DD-2 earthquake ground motion levels for the period intervals specified in the TBDY-2018 code.

For the support conditions with fixed support, lead rubber bearing and friction pendulum system, two structural models for each at DD-1 and DD-2 earthquake ground motion levels, a total of six structural models were created. Analysis results were obtained from the ETABS program using the nonlinear time history analysis method.

As a result of the modal analysis, the period of the fixed support structure was 0.515 s, the periods for the DD-1 and DD-2 earthquake ground motion levels of the structure with LRB isolation unit were 3.933 s and 1.516 s, respectively, and the periods of the structure with FPS isolation unit were found as 2.182 s and 1.504 s, respectively. It is seen that the period values found in the preliminary design of the isolation unit and the period values obtained as a result of the analysis are quite close.

At the DD-2 earthquake ground motion level, the story shear forces decreased by 90% in the structure with LRB isolation unit and by 78.5% in the structure with FPS isolatin unit, compared to the fixed support structure.

When the average displacements of the top story were examined for the DD-1 and DD-2 earthquake ground motion levels obtained in the study, the story displacements of the structures with isolation units increased as expected compared to the fixed support structure. It has been observed that the superstructure exhibits rigid mass behavior in the models with isolation units.

When the story drifts obtained as a result of the analyzes are examined, it is seen that the structures with isolation units easily provide the operational performance level for the DD-1 and DD-2 earthquake ground motion levels, but the fixed support structure exceeds the life safety performance level limits.

As a result of the analysis, the accelerations at the top floor at the DD-2 earthquake ground motion level were obtained as 1.854 g for the fixed support structure, 0.073 g for the structure with LRB isolation unit, and 0.230 g for the structure with FPS

isolation unit. Compared to the fixed support structure, floor accelerations decreased by 96% in the structure with LRB isolation unit and by 87.6% in the structure with FPS isolation unit. In addition, it was observed that the floor accelerations of the LRB isolation unit did not exceed the limit value of 0.2 g, but the structure with FPS isolation unit slightly exceeded the 0.2 g limit value in the short direction of the building.

Considering the information obtained, it has been concluded that the use of seismic isolation units in a data center type structure that requires operational performance level after a natural disaster such as an earthquake is an effective method in limiting the relative story drifts and floor accelerations.



1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında teknoloji şirketleri, iletişim hizmeti sağlayayan şirketler ve bankalar gibi birçok organizasyonun kullanıcı verilerini yönetme ve saklama ihtiyacı bulunmaktadır. Artan veri hacminin güvenli bir şekilde depolanması ve erişiminin kesilmemesi bu şirketler için büyük önem arz etmektedir. Aktif fay hatları üzerinde bulunan ülkemiz için yapısal hasar ve can kayıplarına neden olan doğal afetlerin başında deprem gelmektedir. Olası bir deprem durumunda veri merkezi yapısına ve içerisinde bulunan hassas ekipmanlara zarar gelmemesi için önlem almak zorunlu hale gelmektedir.

Sismik yalıtım, yapıların ve yapısal olmayan elemanların deprem etkilerine karşı korunmasında kendini ispatlamış en etkin yöntemlerden biridir. Sismik yalıtımda temel amaç, deprem kuvvetlerini karşılayacak yapının dayanımını arttırmak yerine yapıya gelen deprem kuvvetlerini azaltmak prensibine dayanmaktadır. Zemin ile yapının taşıyıcı sistemi birbirinden ayrılarak deprem ivmelerinin yapıya erişmesinin önlenmesi, sismik yalıtımın birincil amacıdır. Yapıya etkiyen deprem ivmelerinin azalması nedeniyle sismik yalıtımlı binalarda kat ivmeleri ve göreli kat ötelemeleri geleneksel binalara göre oldukça düşüktür. Sismik yalıtım sayesinde hem taşıyıcı sistem hem de bina içinde yer alan yapısal olmayan eleman ve ekipmanlardaki hasar oluşma ihtimalleri büyük oranda azaltılabilmektedir.

1.1 Tezin Amacı ve İçeriği

Bu tez çalışması, bir veri merkezi yapısının TBDY-2018 [1] yönetmeliği çerçevesinde üç farklı mesnet koşuluna göre deprem davranışlarının incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Yapının zemine ankastre, kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi (LRB) ve eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi (FPS) ile bağlanması durumları için ayrı ayrı zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılıp sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Ayrıca çalışma kapsamında yalıtım birimi çeşitlerinden, yalıtım birimi mekanik özelliklerinden ve TBDY-2018 analiz yöntemlerinden bahsedilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Naeim ve Kelly (1999) tarafından yapılan çalışmada dünya çapında sismik yalıtım örneklerinden, teorik alt yapısından, sismik yalıtım birimi tiplerinden, sismik yalıtım birimi mekanik özelliklerinden ve o tarihte yürürlükte olan yönetmelik koşullarından bahsedilmiştir.

Özpalanlar (2004) tarafından yapılan çalışmada sismik yalıtımın avantajlarından ve dünyadaki uygulamalarından bahsedilmiştir. Çalışma kapsamında ankastre mesnetli, kauçuk yalıtım birimli, sürtünmeli sarkaç yalıtım birimli, ilave yalıtılmış kat ve viskoz sönümleyicili alternatif modeller oluşturularak karşılaştırma yapılmıştır.

Gökhan (2009) tarafından yapılan çalışmada betonarme bir binanın ankastre mesnetli ve yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimi kullanılarak dinamik analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Waheb (2018) tarafından yapılan çalışmada sismik taban yalıtımlı binalarda ayarlı kütle sönümleyicilerin etkisi araştırılmıştır. Farklı kat adedi bulunan üç yapı modellenerek ayarlı kütle sönümleyicilerinin yalıtım birimi deplasmanına etkisi incelenmiştir.

Çelik (2019) tarafından yapılan çalışmada yakın fay etkileri, ortak izolasyon döşemesi üzerinde bulunan birbirinden ayrı yapılar ve düşey deprem etkisi konuları ayrı ayrı incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Kanbir ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada kurşun çekirdekli yalıtım birimli bir yapı üç farklı yapısal analiz programında modellenerek incelenmiştir. Lineer ve nonlinear analiz sonuçları birbirine yakın bulunmuştur. Çevrimsel hareketten dolayı kurşun çekirdeğin ısınması, yalıtım birimi büyük yerdeğiştirmeler yapıyorsa davranışı etkilediği belirtilmiştir.

Han (2017) tarafından yapılan çalışmada Çin'de meydana gelen depremden sonra bir hastane yapısının sismik yalıtımlı bir bloğu ile depremde hasar gören yalıtımsız diğer bloğunu incelemiştir. Yalıtımsız bloğun yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında ciddi hasarlar oluşarak kullanılmaz hale geldiği, diğer bir yandan yalıtımlı bloğun ise depremden sonra operasyonel kullanıma devam ettiği gösterilmiştir. Yalıtım birimi olarak kauçuk mesnet kullanılan binada yalıtım birimi deplasmanlarının ön görülenden fazla olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada farklı yalıtım sistemleri kullanılarak yapı davranışları karşılaştırılmıştır.

Richins (2011) tarafından yapılan çalışmada hali hazırda kullanımda olan bir betonarme köprüyü sismik yalıtım birimleri kullanarak deprem davranışı incelenmiştir. Sismik yalıtım sayesinde köprüye gelen deprem kuvvetleri ciddi oranda azaldığı ve bunun sonucunda temel ve kazık maliyetlerinin düştüğü belirtilmiştir.

Erkuş ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada veri merkezi tipi sismik yalıtımlı yapılarda etkin deprem yükü yöntemi incelenmiştir. Etkin deprem yükü yöntemi ile elde edilen kat kesme kuvvetlerinin, yalıtım arayüzü kütlesine ve üst yapı rijitliğine bağlı olarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile elde edilen sonuçlardan ciddi oranda farklı olabileceği bulunmuştur.

Arslan ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmada bir veri merkezi yapısının eğri yüzeyli yalıtım birimleri ile tasarımı incelenmiştir. Deprem sonrası kesintisiz kullanım gerektiren veri merkezi yapılarında kullanılan eğri yüzeyli sürtünmeli (üç yüzeyli) yalıtım biriminin performans hedeflerini sağladığı gösterilmiştir.

Hacıemiroğlu ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada bir endüstri yapısının deprem yalıtımlı ve viskoz sönümleyicili tasarımı incelenmiştir. Yakın fay etkilerinin ve düşey deprem hareketlerinin etkisinde göreli kat ötelemelerinin ve kat ivmelerinin yönetmelik şartlarını sağladığı gösterilmiştir.



2. SİSMİK YALITIM BİRİMİ ÇEŞİTLERİ

2.1 Elastomer Yalıtım Birimleri

Kauçuk katmanlar ile çelik plakaların üst üste konularak vulkonizasyon işlemi ile birleşiminden oluşurlar. Çelik plakalar sayesinde düşey yönde yüksek rijitliğe sahipken yatay yönde istenilen rijitliğe göre üretimi yapılabilmektedir. Dünyada en çok kullanılan yalıtım birimidir. İlk olarak 1969 yılında Makedonya'nın Üsküp şehrinde bulununan Pestalozzi İlkokul binasında kullanılmıştır (Şekil 2.1). İsviçreli mühendisler tarafından tasarlanan yapıda kullanılan elastomer yalıtım birimlerinde çelik plakalar bulunmadığı için düşey yönde fazla deformasyonlar gözlenmiştir [2].



Şekil 2.1 : Pestalozzi İlkokul Binası Üsküp, Makedonya.

Elastomer yalıtım birimleri düşük sönümlü kauçuk yalıtım birimi (LDRB), yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimi (HDRB) ve kurşun çekirdekli kauçuk yaltım birimi (LRB) olmak üzere üç farklı tipte üretilmektedirler.

2.1.1 Düşük sönümlü kauçuk yalıtım birimi

Düşük sönümlü kauçuk yalıtım birimleri (LDRB), iki kalın çelik plaka arasına sırasıyla kauçuk ve ince çelik plakalar yerleştirilerek sıcaklık ve basınç altında birleştirilmesiyle üretilirler (Şekil 2.2). Üretimi ve modellenmesi kolaydır. Mekanik özellikleri sıcaklıktan, zamandan veya malzeme yaşlanmasından etkilenmez. Sönüm oranları %5'ten küçük olduğu için yapıya ilave sönümleyiciler eklenmesi gerekmektedir [2].



Şekil 2.2 : Düşük sönümlü kauçuk yalıtım birimi [12].

2.1.2 Yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimi

1982 yılında Malezya Kauçuk Üreticileri Derneği tarafından geliştirilmiştir (Şekil 2.3). Üretim methodu düşük sönümlü kauçuk yalıtım birimi ile aynıdır. Tek fark kauçuk içerisine sönüm oranını arttıran katkı maddeleri eklenmiştir [2].



Şekil 2.3 : Yüksek sönümlü kauçuk yalıtım birimi (HDRB) [13].
2.1.3 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi (LRB), 1975 yılında Yeni Zellanda'da icat edilmiştir. Düşük sönümlü kauçuk yalıtım birimi ile aynı üretim adımlarını takip ederler. İlave olarak bir veya daha fazla kurşun çekirdek, sönüm oranını arttırmak için yalıtım birimi içerisine yerleştirilir (Şekil 2.4) [2].



Şekil 2.4 : Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi [13].

2.2 Sürtünmeli Yalıtım Birimleri

Kayıcı yalıtım birimleri, temel olarak düşük sürtünme katsayısı olan yüzeyler üzerinde kaymayı sağlayan cihazlardır. Yüzeyi parlatılmış çelik plakalar arasında yüzeyi teflon (PTFE) kaplı kayıcı eleman olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Yükleme hızına bağlı olarak kayıcı yüzey sürtünme katsayısı farklılıklar göstermektedir.

2.2.1 Düz yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi

Yatay yük etkisinde, iki düz yüzeyin birbirleri üzerinde sürtünerek kayması prensibine göre çalışırlar (Şekil 2.5). Sönüm sürtünme kuvveti ile sağlanır. Geri merkezlenme mekanizmaları olmadığı için depremden sonra kalıcı yerdeğiştirmeler gözlenebilir. Yüksek basınç taşıma kapasitelerinin olmasının yanında çekme kuvvetlerini aktarmazlar. Bu yüzden yapıda yüksek eksenel kuvvetlerin bulunduğu bölgelerde tercih edilebilmektedirler [6].



Şekil 2.5 : Düz yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi [6].

2.2.2 Rulman tipi sürtünmeli yalıtım birimi

Rulman tipi kayıcı yalıtım birimleri raylar üzerinde kayarak veya çelik bilayaların dönme hareketini kullanarak enerji sönümlerler. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de gösterildiği gibi sırasıyla doğrasal hareket tipi ve döner bilyalı düz plaka tipi şeklinde üretilmektedirler.



Şekil 2.6 : Doğrusal hareket tipi sürtünmeli yalıtım birimi [15].



Şekil 2.7 : Döner bilyalı düz plaka tipi sürtünmeli yalıtım birimi [15].

Geri merkezlenme özellikleri bulunmadığı için elastomer yalıtım birimleri ile birlikte kullanılmaktadırlar. Her iki tipin de basınç kuvveti taşıma kapasileri yüksek olmasının yanında doğrusal hareket tipi kayıcı yalıtım birimi çekme kuvveti de aktarabilmektedir [15].

2.2.3 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi

Sürtünmeli sarkaç sistem olarak da adlandırılan eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi (FPS), küresel bir içbükey yüzeye ve içerisinde kayıcı olarak hareket eden eğrisel formda düşük sürtünme katsayılı bir çelik çekirdek elemana sahiptir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi [14].

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi, sarkaç hareketinden esinlenerek üretilmiştir (Şekil 2.9). Deprem esnasında yapı, yalıtım biriminin iç bükey yüzeyinde yükselip alçalarak enerji sönümler. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtımın biriminin diğer sürtünmeli yalıtım birimlerinden en önemli farkı, yapısı gereği geri merkezlenme özelliğinin bulunmasıdır. Yapıya etkiyen dinamik etki ortadan kalktığında sürtünme kuvveti yardımıyla, yapı ilk konumuna dönme eğilimindedir.



Şekil 2.9 : Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi sarkaç hareketi gösterimi [6].



3. SİSMİK YALITIM BİRİMİ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

3.1 Kurşun Çekirdekli Kauçuk Yalıtım Birimi Mekanik Özellikleri

TBDY-2018 yönetmeliğinde tarif edilen tipik bir kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Çelik plaka ile yapışmış kauçuğun çapı (B), kurşun çekirdek çapı (B_L), yalıtım biriminin toplam yüksekliği (H) ve kauçuk katman kalınlığı (t) şematik olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.1 : Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi [1].

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi için kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 3.2'de gösterilmiştir. TBDY-2018 14A.1 maddesinde "Karakteristik dayanım (F_Q), başlangıç (elastik) rijitliği (k_1), ikincil (elastik ötesi) rijitliği (k_2), D yerdeğişitirmesine karşılık gelen etkin rijitlik (k_e), D yerdeğiştirmesine karşılık gelen yatay kuvvet (F), etkin akma dayanımı (F_y) ve etkin akma yerdeğiştirmesi (D_y)" tanımları yapılmıştır.



Şekil 3.2 : LRB kuvvet-yerdeğiştirme grafiği [1].

Yalıtım biriminin etkin rijitliği (k_e) , yükleme döngüsünde uygulanan yatay kuvvetin (F) bu kuvvete karşılık gelen yatay yerdeğiştirme (D) değerine bölünmesi ile elde edilir.

$$k_e = \frac{F}{D} \tag{3.1}$$

Denklem 3.1 aşağıda gösterilen şekilde de yazılabilir.

$$k_e = k_2 + \frac{F_Q}{D} \tag{3.2}$$

Etkin sönüm oranı β_e denklem 3.3 ile belirlenecektir. TBDY-2018 14A.3 maddesinde belirtildiği gibi; " W_d bir yükleme döngüsünde tüketilen enerji miktarıdır."

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] \tag{3.3}$$

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım biriminin karakteristik dayanımı F_Q , denklem 3.4 ile elde edilecektir. Burada kurşun akma gerilmesi (τ_{yp}) 10 MPa'dır.

$$F_Q = A_P \tau_{yp} \tag{3.4}$$

Kurşun çekirdekli yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (k_1) , kurşun çekirdeğin elastik rijitliği ile belirlenecektir. Litaratür ve yalıtım birimi üretici katalogları incelendiğinde, başlangıç rijitliğinin ikincil rijitliğin (k_2) 10 katı olarak kabul edilebileceği görülmektedir [2]. Yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği denklem 3.5 ile elde edilecektir.

$$k_2 = G_v(A_r / T_r) \tag{3.5}$$

Dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri için A_r denklem 3.6 ile, dikdörtgen kesitli ve kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri için ise A_r denklem 3.7 ile belirlenecektir.

$$A_r = (\pi / 4)(B^2 - B_L^2) \tag{3.6}$$

$$A_r = BB' - (\pi B_L^2 / 4) \tag{3.7}$$

TBDY-2018 14A.6 maddesinde; "Kauçuk yalıtım birimlerinin Şekil Katsayısı (*S*) her bir kauçuk katmanının çelik plaka ile yapışmış (yüke maruz) yüzey alanının (A_r), kauçuk katmanı kenar yüzeyi alanına (A_L) bölünmesi ile bulunacaktır." ifadesi yer almaktadır.

$$S = A_r / A_L \tag{3.8}$$

Dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimleri için *S* değeri denklem 3.9 ile hesaplanacaktır.

$$S = (B^2 - B_L^2) / (4Bt)$$
(3.9)

Kauçuk yalıtım birimlerinin düşey rijitliği k_v denklem 3.10 ile hesaplanacaktır.

$$k_v = \frac{E_v A_r}{T_r} \tag{3.10}$$

Denklem 3.10'da yer alan düşey rijitlik modülü E_v denklem 3.11 ile hesaplanacaktır.

$$E_{\nu} = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}}$$
(3.11)

Burada K kauçuk malzemenin hacim modülü olup, 2000 MPa alınacaktır. E_c ise kauçuk yalıtım biriminin basınç modülüdür ve denklem 3.12 ile hesaplanacaktır.

$$E_c = E_0 (1 + 2kS^2) \tag{3.12}$$

Bu denklemde ifadelerin açıklaması TBDY-2018 14A.7 maddesinde; " E_0 kauçuk malzemenin esneklik modülü olup, $E_0 = 4G_v$ bağıntısı ile hesaplanacaktır. *k* katsayısı, kauçuk malzemenin sertlik değerinin 50, 60 ve 70 olduğu durumlarda, sırası ile 0.75, 0.60 ve 0.55 olarak alınacaktır." şeklinde ifade edilmiştir.

3.2 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimi Mekanik Özellikleri

TBDY-2018 yönetmeliğinde tarif edilen FPS yalıtım birimi Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi [1].

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi için basitleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 3.4'de gösterilmiştir. TBDY-2018 14B.1 maddesinde "Karakteristik dayanım (F_Q) veya etkin akma dayanımı (F_y), başlangıç (elastik) rijitliği (k_1), ikincil (elastik ötesi) rijitliği (k_2), D yerdeğişitirmesine karşılık gelen etkin rijitlik (k_e), Dyerdeğiştirmesine karşılık gelen yatay kuvvet (F) ve etkin akma yerdeğiştirmesi (D_y)" tanımları yapılmıştır.

TBDY-2018 14B.2 maddesinde "Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı denklem 3.13'de belirtildiği gibi (sıfır yerdeğiştirmedeki) etkin sürtünme katsayısı μ_e ile yalıtım birimi üzerine etkiyen düşey kuvvetin (*P*) çarpımına eşittir." olarak tanımlanmıştır.

$$F_Q = F_y = \mu_e P \tag{3.13}$$



Şekil 3.4 : FPS kuvvet-yerdeğiştirme grafiği [1].

TBDY-2018 14B.3 maddesinde "Başlangıç rijitliği, hesaplarda çok yüksek bir değer olan sanal bir rijitliktir. İkincil rijitlik denklem 3.14'te belirtildiği gibi düşey kuvvetin (*P*) eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi kayma yüzeylerinin etkin eğrilik yarıçapına (R_c) bölünmesi ile belirlenecektir." ifadesi yer almaktadır.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \tag{3.14}$$

TBDY-2018 14B.4 maddesinde "Verilen bir yükleme döngüsündeki etkin rijitlik (k_e) , denklem 3.15'de belirtildiği gibi söz konusu döngüde uygulanan maksimum yatay kuvvetin (F) ulaşılan maksimum yatay yerdeğiştirmeye (D) bölünmesi ile elde edilecektir." denilmektedir.

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \tag{3.15}$$

Etkin sönüm oranı β_e denklem 3.16'ya göre belirlenecektir. TBDY-2018 14B.5 maddesinde "bir yükleme döngüsünde tüketilen enerjinin (W_d) $2\pi FD$ değerine bölünmesi ile elde edilecektir." belirtildiği gibi bulunacaktır.

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{w_d}{FD} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + D / R_c} \right]$$
(3.16)



4. TBDY-2018 ANALİZ YÖNTEMLERİ

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde yalıtımlı binaların tasarımında kullanılacak üç adet analiz yöntemi tarif edilmektedir. Bunlar sırasıyla "etkin deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım aralığında doğrusal olmayan hesap yöntemi"dir. Tez çalışmasında, etkin deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılacaktır.

Bu bölümün devamında, yönetmelikte belirtilen kurallar ve analiz yöntemlerinin uygulama şartları gösterilmiştir.

4.1 Genel Tasarım İlkeleri

TBDY-2018 14.3 bölümünde verilen genel tasarım ilkeleri aşağıdaki maddelerde gösterilmiştir.

- "Yalıtım sistemi, üstyapının altında yer alan bir yalıtım arayüzüne yerleştirilecektir."
- "Sismik yalıtım uygulanan binalarda, Bina Önem Katsayısı I = 1 alınacaktır."
- "Tasarımda, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi (tasarım deprem yer hareketi) ve DD-1 deprem yer hareketi düzeyi (en büyük deprem yer hareketi) göz önüne alınacaktır."
- "Alt ve üstyapıların tasarımı sınırlı süneklik düzeyine göre yapılabilir."
- "Yalıtım sisteminin en büyük yerdeğiştirme hesabı DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile, üstyapıya etkiyen en büyük yatay kuvvetin hesabı ise DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile yapılacaktır."
- "Tüm yapı modelinde sadece yalıtım birimlerinin doğrusal olmayan davranış için modellenmesi, üst ve altyapıların ise doğrusal elastik olarak modellenmesi mümkündür."

• "Yalıtım sisteminin, hesaplanan en büyük yerdeğiştirmeye eşit miktarda engellenmemiş hareket alanına sahip olması gereklidir."

4.2 Performans Hedefleri

TBDY-2018 14.9 bölümünde verilen performans hedefleri aşağıdaki maddelerde gösterilmiştir.

- "Yalıtımlı binaların deprem tasarım sınıfına (DTS) göre performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları TBDY-2018 Tablo 3.5'de verilmiştir."
- "Deprem yükü azaltma katsayısı R ve dayanım fazlalığı katsayısı D TBDY-2018 Tablo 14.1'e göre belirlenecektir."

4.3 Tasarımda Kullanılacak Yük Birleşimleri

Yalıtım arayüzünde bulunan ve altında kalan elemanlara etki eden yüklerin hesabında denklem 4.1, denklem 4.2 ve denklem 4.3'te verilen yük birleşimleri dikkate alınacaktır.

$$1.4G + 1.6Q$$
 (4.1)

$$1.2G + Q \pm E_d \tag{4.2}$$

$$0.9G \pm E_d \tag{4.3}$$

Üstyapı tasarımında kullanılacak olan ve deprem etkisini içeren yük birleşimleri denklem 4.4 ve denklem 4.5'te verilmiştir.

$$1.2G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)}$$
(4.4)

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \tag{4.5}$$

4.4 Elastomer Yalıtım Birimleri

TBDY-2018 14.12 bölümünde verilen "Hesaplarda kullanılacak olan yalıtım birimleri parametrelerinin üst sınır ve alt sınır değerleri, yalıtım birimi parametreleri nominal değerlerinin sırasıyla λ_{iist} ve λ_{alt} katsayıları ile çarpılması ile elde

edilecektir." koşuluna uyarak λ_{ust} ve λ_{alt} değerleri denklem 4.6 ve denklem 4.7'de verilen bağıntılar ile hesaplanacaktır.

$$\lambda_{\ddot{u}st} = \left[1 + 0.75 (\lambda_{ae,\ddot{u}st} - 1)\right] \lambda_{deney,\ddot{u}st} \lambda_{spek,\ddot{u}st}$$
(4.6)

$$\lambda_{alt} = \left[1 - 0.75 (1 - \lambda_{ae,alt})\right] \lambda_{deney,alt} \lambda_{spek,alt}$$
(4.7)

TBDY-2018 14.12.1 maddesinde belirtilen "Herhangi bir $\lambda_{\bar{u}st}$ ve λ_{alt} değerinin prototip veya üretim kontrol deneyleri ile belirlenememesi durumunda, hesaplarda Çizelge 4.1'de verilen alt ve üst sınır değerler kullanılacaktır." ifadesi dikkate alınacaktır.

Fo \mathbf{k}_2 Tip alt üst alt üst KÇE 1.00 1.10 1.00 1.30 λ_{ae} YSE 1.00 1.00 1.30 1.40 KÇE 0.70 1.30 0.90 1.30 λ_{deney} YSE 0.70 1.30 0.90 1.30 KÇE 0.85 1.15 0.85 1.15 λ_{spek} YSE 0.85 1.15 0.85 1.15

Çizelge 4.1 : Elastomer Yalıtım Birimleri Dayanım ve Rijitlik Parametreleri Alt ve Üst Sınır Öneri Değerleri.

Çizelge 4.1'de KÇE kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimini, YSE ise yüksek sönümlü kauçuk tipi yalıtım birimini göstermektedir.

4.5 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri

TBDY-2018 14.13 bölümünde verilen "Hesaplarda kullanılacak olan yalıtım birimleri parametrelerinin üst sınır ve alt sınır değerleri, yalıtım birimi parametreleri nominal değerlerinin sırasıyla λ_{iist} ve λ_{alt} katsayıları ile çarpılması ile elde edilecektir." ifadesine uyarak λ_{iist} ve λ_{alt} değerleri denklem 4.6 ve denklem 4.7'de verilen bağıntılar ile hesaplanacaktır.

TBDY-2018 14.13.1.2 maddesinde belirtilen "Herhangi bir λ_{iist} ve λ_{alt} değerinin prototip veya üretim kontrol deneyleri ile belirlenememesi durumunda, hesaplarda Çizelge 4.2'de verilen alt ve üst sınır değerler kullanılacaktır." ifadesi dikkate alınacaktır. Çizelge 4.2'de gösterilen μ değeri, FPS yalıtım birimi için etkin sürtünme katsayısını belirtmektedir.

	_	μ
	alt	üst
λ_{ae}	1.00	1.10
λ_{deney}	0.70	1.30
λ_{spek}	0.85	1.15

Çizelge 4.2 : Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için Alt ve Üst Sınır Öneri Değerleri.

4.6 Hesap Yöntemleri

4.6.1 Etkin deprem yükü yöntemi

Sismik yalıtımlı bir binanın davranışını belirlemek için kullanılan basit bir lineer yöntemdir. Ön tasarım ve dinamik analizlerin kontrolünde kolaylık sağlar. Etkin deprem yükü yönteminin kullanılabilmesi için TBDY-2018 14.14.2 maddesinde verilen aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir.

- a. "Bina, ZA, ZB, ZC veya ZD türü zeminde bulunmaktadır."
- b. "DD-1 deprem yer hareketi etkisi altındaki etkin periyodu 4.0 saniyeden küçüktür."
- c. "Yalıtım sistemi üzerindeki binanın kat adedi en fazla 4, yalıtım arayüzü üzerindeki toplam yüksekliği ise en fazla 20 metredir."
- d. "Yalıtım birimlerinde kalkma veya çekme oluşmamaktadır."
- e. "Etkin sönüm oranı %30 değerinin altındadır."
- f. "Yalıtım sistemi üzerindeki binanın her katında burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} < 2.0 koşulu sağlanmaktadır ve binada B2 türü düzensizlik yoktur."
- g. "Binanın düşey doğrultudaki titreşim periyodu $T_v \le 0.1$ s'dir."

DD-2 ve DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için yalıtım birimi yerdeğiştirmesi sırasıyla D_D ve D_M olarak gösterilmiştir. D_D denklem 4.8 ile, D_M ise denklem 4.9 ile hesaplanacaktır.

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) T_D^2 \eta_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)$$
(4.8)

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)$$
(4.9)

DD-2 ve DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için bina etkin periyodu sırasıyla T_D ve T_M olarak gösterilmiştir. T_D denklem 4.10 ile, T_M ise denklem 4.11 ile hesaplanacaktır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_D}} \tag{4.10}$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_M}} \tag{4.11}$$

TBDY-2018 14.14.2.5 maddesinde verilen "Sönüm ölçeklendirme katsayıları η_D ve η_M denklem 4.12 ile hesaplanacaktır. Burada ξ , DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki yalıtım birimi yerdeğiştirmeleri için hesaplanan etkin sönüm yüzdesidir." ifadesi dikkate alınacaktır.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \tag{4.12}$$

TBDY-2018 14.14.2.6 maddesinde belirtilen "DD-2 ve DD-1 deprem yer hareketi düzeylerindeki yalıtım arayüzü toplam yerdeğiştirmesi, denklem 4.8 ve denklem 4.9'dan hesaplanan yerdeğiştirme değerlerine üstyapı ve yalıtım sistemi burulmasından gelen ilave yer değiştirmelerin eklenmesi ile hesaplanacaktır. Düzgün bir dağılım olması durumunda toplam yerdeğiştirmeler denklem 4.13 ve denklem 4.14 ile hesaplanan değerlerden daha az olamaz." koşullara uyulacaktır.

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right]$$
(4.13)

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right]$$
(4.14)

DD-2 ve DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için üstyapıya etkiyen kuvvet, sırasıyla denklem 4.15 ve denklem 4.16 ile hesaplanacaktır.

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)W\eta_D}{R}$$
(4.15)

$$V_M = \frac{S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)W\eta_M}{R}$$
(4.16)

Üstyapıya etki eden kuvvet, katlara denklem 4.17'ye göre dağıtılacaktır.

$$F_S = \frac{V_D w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \tag{4.17}$$

4.6.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

TBDY-2018 14.14.1.3 maddesinde "Üstyapı ve altyapı, her durumda TBDY-2018 madde 5.7'de verilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile hesaplanabilir." ifadesi yer almaktadır. TBDY-2018 bölüm 5.7'de verilen koşullara ek olarak TBDY-2018 14.14.4 maddesinde yer alan aşağıdaki kurallar da dikkate alınacaktır.

- a. "Etkin deprem yükü yöntemi için verilen (g) koşulunun sağlandığı durumlarda depremin iki yatay bileşeni, sağlanamadığı durumlarda ise depremin iki yatay bileşenine ek olarak düşey bileşeni de kullanılacaktır."
- b. "Deprem yalıtımlı binaların zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde TBDY-2018 madde 2.5'te verilen kuralların tümü geçerlidir. Ancak TBDY-2018 madde 2.5.2'de tanımlanan $0.2T_p$ yerine $0.5T_D$ (T_D en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu), $1.5T_p$ yerine ise $1.25T_M$ (T_M en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu) kullanılacaktır."
- c. "Zeminin ZD'den daha zayıf olduğu durumlarda, üç boyutlu dinamik yapızemin etkileşim hesapları yapılacak ve sonuçlar bina hesaplarında dikkate alınacaktır."

- d. "Doğrusal olmayan hesap her deprem yer hareketi seviyesinde ve her doğrultuda TBDY-2018 madde 5.7.2.1'e göre 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."
- e. "Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonucunda elde edilen yalıtım birimi yerdeğiştirmeleri, her bir zaman adımında meydana gelen birbirine dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerin vektörel bileşkesi olarak belirlenecektir."
- f. "Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonucunda yalıtım arayüzünde hesaplanan yerdeğiştirmeler denklem 4.13 ve denklem 4.14'e göre hesaplanan değerlerin %80'inden az olmayacaktır."
- g. "Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap sonucunda elde edilen üstyapı ve altyapı kuvvetleri, binada düzensizlik bulunmaması halinde denklem 4.15 ve denklem 4.16'ya göre hesaplanan değerlerin %80'inden az olmayacaktır."

4.6.3 Yalıtımlı binalarda göreli kat ötelemesi sınırları ve deprem derzleri

TBDY-2018 14.14.5 maddesinde gösterilen aşağıdaki kurallara uyulacaktır.

"Üst yapıdaki göreli kat ötelenmeleri, Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesi için 0.005*h*_i, Sınırlı Hasar (SH) performans seviyesi için 0.01*h*_i, Kontrollü Hasar (KH) performans seviyesi için ise 0.015*h*_i değerini aşmayacaktır."

"Yalıtımlı binalarda bırakılacak deprem derzlerinin boyutlarının belirlenmesinde, yalıtım sisteminin toplam en büyük yerdeğiştirmesine ek olarak göreli kat ötelenmeleri de dikkate alınacaktır. Derz genişliği, derzin her iki tarafındaki yapılar için hesaplanan mutlak en büyük yerdeğiştirmelerin toplamından küçük olmayacaktır."



5. SİSMİK YALITIMLI VERİ MERKEZİ TASARIMI

Bu çalışma kapsamında, bir veri merkezi yapısının üç farklı mesnet koşulu için zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılıp sonuçları karşılaştırılacaktır. Her bir mesnet koşulu için DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için iki model olmak üzere toplamda altı adet analiz modeli oluşturulmuştur.

5.1 Tasarımı Yapılacak Yapı Hakkında Bilgiler

Veri merkezi olarak kullanılacak yapı, Kocaeli ilinde inşa edileceği düşünülmüştür. Yapı oturum alanı 58.0m x 40.5m olup her iki yönde de moment aktaran çelik çerçeveler ile merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan iki katlı bir yapıdır. Normal katlarda kompozit döşeme sistemi, yalıtım arayüzünde ise betonarme kirişli plak taşıyıcı sistem olarak kullanılmıştır. Yalıtım arayüzü planı ve tipik kat planı sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Yapının kat yüksekliği her iki kat için de 6m olup toplam yapı yüksekliği 12m'dir. Üç boyutlu sonlu eleman modeli Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Yalıtım birimli analiz modellerinde her bir kolonun altına LRB veya FPS yalıtım birimleri eklenerek hesaplar yapılmıştır. Toplamda 54 adet yalıtım birimi kullanılmıştır.



Şekil 5.1 : Yalıtım arayüzü planı.

	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500
HESOOB	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
	IP#330	IPE450		IPE450		IP2450	IPE450	IP6330
	IPE330 H	IPE450 H	IPE450 H	IPE450	IPE 50 H	IPE450 H	IPE 50 H	IPE330 H
	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500
1	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
8008	IP#330		IP# 450 8	IP2450	IP#450	IP2450	IP#450	IP5330
ΞĤ	IPE330 H	IPE450	IPE450 H	IPE460 분	IPE 50	IPE 60	IPE450 ≚	IPE330 H
	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
	IPE500) IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500
	IPE330 m	IPE450 m	IPE450 @	IPE450 m	IPE450 m	IPE450 @	IPE450 m	IPE330 @
202		IPE 50		IPE 50	IPE 50		IPE\$50	
-	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500
1	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
8008					IP#450	IP2450	IP#450	IPE330
Η̈́	IPE330 H	IPE450 H	IPE450	IPE 50 H	IPE 50 H	IPE450 H	IPE 50 H	IPE330 H
	IPE330	IPE450		IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
4	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500
1	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
500B	IP#330	IPE450	IPE 450	IP2450		IP2450	IPE 450	IP6330
Ë,	IPE330 ≟	IPE450 #	IPE450 H	IPE450 H	IPE450 ₩	IPE450 ₩	IPE450 ₽	IPE330 #
	IPE330	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE450	IPE330
	IPE500	IPE500	IPE500	IPE500	D IPE500	IPE500	IPE500	IPE500
	~ -							-
								-
							- Bugel &	reports

Şekil 5.2 : Tipik kat planı.



Şekil 5.3 : Üç boyutlu sonlu eleman modeli.

Yapısal elemanların öz ağırlıkları kullanılan bilgisayar programı (ETABS [16]) tarafından hesaplanmaktadır. Yapıya etki eden ilave yükler Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Yapıya etki eden ilave yükler.

Yükler					
Sabit yük	10.0 kN/m^2				
Hareketli yük	2.0 kN/m^2				
Dış duvar yükü	6.0 kN/m				

5.2 Deprem Parametrelerinin Belirlenmesi

Deprem parametreleri, Kocaeli, Gebze (*E*: 40.873105, *B*: 29.411099) konumunda bulunan yapı için AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'ndan elde edilmiştir. Yerel zemin sınıfı *ZB* olduğu kabul edilerek, deprem parametreleri DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

	Parametre	Birim	Deprem yer hareketi düzeyi		
			DD-1	DD-2	
	Ss	-	1.894	1.082	
	\mathbf{S}_1	-	0.551	0.301	
	PGA	g	0.757	0.443	
	PGV	cm/sn	48.721	27.584	
	$(V_s)_{30}$	m/s	760-1500	760-1500	
	Fs	-	0.9	0.9	
	F_1	-	0.8	0.8	
	\mathbf{S}_{DS}	-	1.705	0.974	
	S_{D1}	-	0.441	0.241	
	T_A	S	0.052	0.049	
	T_B	S	0.259	0.247	
	T_{L}	S	6.000	6.000	

Çizelge 5.2 : DD-1 ve DD-2 deprem parametreleri.

Elde edilen deprem parametreleri ile hesaplan yatay elastik tasarım spektrumu DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : Yatay elastik tasarım spektrumu.

5.3 Yalıtım Birimleri Ön Tasarımı

Yalıtım birimlerinin ön tasarımı yapılırken bölüm 4.6'da açıklanan etkin deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi ve eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi için DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimi mekanik özellikleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen mekanik özellikler ETABS programında doğrasal olmayan link elemanlara atanmıştır. Link elemanlar kolonların yalıtım arayüzüne bastığı noktalara girilmiştir.

LRB ve FPS yalıtım birimlerinin mekanik özellikleri belirlenirken DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde benzer yapı periyotları ve yalıtım birimi deplasmanları oluşturacak parametreler seçilmiştir. Rüzgar ve sıcaklık değişmesi etkileri bu çalışma kapsamında göz önüne alınmamıştır.

5.3.1 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi ön tasarımı

LRB yalıtım birimi yerdeğiştirme hesabında TBDY-2018 14.3.6 maddesinde verilen "Yalıtım sisteminin en büyük yerdeğiştirme hesabı DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile, üstyapıya etkiyen en büyük yatay kuvvetin hesabı ise DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile yapılması gerekmektedir."

ifadesine uyulmuştur. Bu yüzden DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için farklı iki adet yalıtım sistemi mekanik özellikleri hesaplanacaktır.

LRB yalıtım birimi tasarımında kullanılacak malzeme özellikleri ve hesap girdileri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Toplam sismik ağırlık (G+nQ)	W	149,489.6	kN
Toplam yalıtım birimi sayısı	n	54	-
Kurşun akma gerilmesi	$ au_{yp}$	10	MPa
Kurşun çekirdek çapı	B_L	145	mm
Yalıtım birimi çapı	В	570	mm
Kauçuk kayma modülü	G_v	0.7	MPa
Kauçuk katman kalınlığı	t	10	mm
Toplam kauçuk yüksekliği	Tr	300	mm
Kauçuk malzemenin sertlik değeri (60 için)	k	0.6	-
Kauçuk malzemenin hacim modülü	K	2000	MPa

Çizelge 5.3 : LRB yalıtım birimi için seçilen tasarım parametreleri.

5.3.1.1 DD-1 ve yalıtım birimi parametreleri alt sınıra göre tasarım

a. Kurşun çekirdek alanın hesaplanması.

$$A_p = \frac{\pi B_L^2}{4} = 16513mm^2$$

b. Tüm sistem için karakteristik dayanımın hesaplanması.

$$F_Q = n(A_p \tau_{yp}) = 8917.02 \text{ kN}$$

c. Kauçuk alanının hesaplanması.

$$A_r = \frac{\pi (B^2 - B_L^2)}{4} = 238662.87 \ mm^2$$

d. İkincil rijitliğin hesaplanması.

$$k_2 = n\left(G_v \frac{A_r}{T_r}\right) = 30.0715 \ \frac{kN}{mm}$$

e. Birincil rijitliğin hesaplanması.

$$k_1 \cong 10k_2 = 300.715 \ \frac{kN}{mm}$$

f. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi alt sınır katsayısı, Çizelge 4.1 değerlerin denklem 4.7'de kullanılmasıyla hesaplanacaktır.

$$\lambda_{alt,FQ} = \left[1 - 0.75 \left(1 - \lambda_{ae,alt}\right)\right] \lambda_{deney,alt} \lambda_{spek,alt} = 0.595$$

$$\lambda_{alt,k2} = \left[1 - 0.75 \left(1 - \lambda_{ae,alt}\right)\right] \lambda_{deney,alt} \lambda_{spek,alt} = 0.765$$

g. Karakteristik dayanımın, birincil ve ikincil rijitliğin alt sınır değerleri ile çarpılması.

$$F_{Q,ALT} = \lambda_{alt,FQ} F_Q = 5305.63 \text{ kN}$$

$$k_{2,ALT} = \lambda_{alt,k2}k_2 = 23.0047 \ kN/mm$$

$$k_{1.ALT} \cong 10k_{2.ALT} = 230.047 \ kN/mm$$

h. Etkin deprem yükü yöntemi kullanılarak yerdeğiştirmenin bulunması tekrarlı bir süreç gerektirir. İlk olarak bir yerdeğiştirme seçilir ve buna bağlı parametreler hesaplanır. Seçilen yerdeğiştirme ile bulunan yerdeğiştirme yeterli oranda birbirlerine yaklaştığında iterasyon tamamlanır. DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım sistemi yerdeğiştirmesi seçilmesi.

$$D_M = 325.36 \,\mathrm{mm}$$

i. Etkin rijitliğin hesaplanması.

$$K_M = k_{2,ALT} + \frac{F_{Q,ALT}}{D_M} = 39.3117 \ kN/mm$$

j. Etkin periyodun hesaplanması.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_M g}} = 3.913 s$$

k. Akma yerdeğiştirmesinin hesaplanması.

$$D_y = \frac{F_{Q,ALT}}{k_{1.ALT} - k_{2,ALT}} = 25.63 \ mm$$

1. Etkin sönüm yüzdesinin hesaplanması.

$$\xi_M = \beta_e \times 100 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{4F_{Q,ALT} (D_M - D_y)}{K_M {D_M}^2} \right) \times 100 = 24.33$$

m. Sönüm ölçeklendirme katsayısının hesaplanması.

$$\eta_M = \sqrt{\frac{10}{5+\xi_M}} = 0.58$$

n. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için yatay spektral ivmenin hesaplanması.

$$S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) = \frac{S_{D1}}{T_M} = 0.113 \qquad (T_B \le T_M \le T_L)$$

o. Yerdeğiştirmenin hesaplanması ve seçilen yerdeğiştirme ile kontrol edilmesi.

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) = 325.36 \text{ mm}$$

Hesaplanan yerdeğiştirme ile seçilen yerdeğiştirme birbirine yeterince yakındır, iterasyon tamamlanmıştır.

p. Şekil katsayısının hesaplanması.

$$S = \frac{B^2 - B_L^2}{4Bt} = 13.33$$

q. Kauçuk malzemenin esneklik modülünün hesaplanması.

$$E_0 = 4G_v = 2.8 \text{ MPa}$$

r. Yalıtım birimi basınç modülünün hesaplanması.

$$E_c = E_0(1 + 2kS^2) = 599.64 \text{ MPa}$$

s. Yalıtım birimi düşey rijitlik modülünün hesaplanması.

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} = 461.33 \text{ MPa}$$

t. Yalıtım birimi düşey rijitliğinin hesaplanması.

$$k_v = \frac{E_v A_r}{T_r} = 367.01 \ kN/mm$$

u. Yalıtım birimi burulma rijitliğinin hesaplanması.

$$k_T = \frac{G_v\left(\frac{\pi B^4}{4}\right)}{T_r} = 1.93 \times 10^8 \frac{Nmm}{rad}$$

5.3.1.2 DD-2 ve yalıtım birimi parametreleri üst sınıra göre tasarım

a. Kurşun çekirdek alanın hesaplanması.

$$A_p = \frac{\pi B_L^2}{4} = 16513 \ mm^2$$

b. Tüm sistem için karakteristik dayanımın hesaplanması.

$$F_Q = n(A_p \tau_{yp}) = 8917.02 \text{ kN}$$

c. Kauçuk alanının hesaplanması.

$$A_r = \frac{\pi (B^2 - B_L^2)}{4} = 238662.87mm^2$$

d. İkincil rijitliğin hesaplanması.

$$k_2 = n\left(G_v \frac{A_r}{T_r}\right) = 30.0715 \frac{kN}{mm}$$

e. Birincil rijitliğin hesaplanması.

$$k_1 \cong 10k_2 = 300.715 \ \frac{kN}{mm}$$

f. Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimi üst sınır katsayısı, Çizelge 4.1 değerlerin denklem 4.6'da kullanılmasıyla hesaplanacaktır.

$$\lambda_{\ddot{u}st,FQ} = \left[1 - 0.75 \left(1 - \lambda_{ae,\ddot{u}st}\right)\right] \lambda_{deney,\ddot{u}st} \lambda_{spek,\ddot{u}st} = 1.607$$

$$\lambda_{\ddot{u}st,k2} = \left[1 - 0.75 (1 - \lambda_{ae,\ddot{u}st})\right] \lambda_{deney,\ddot{u}st} \lambda_{spek,\ddot{u}st} = 1.831$$

g. Karakteristik dayanımın, birincil ve ikincil rijitliğin alt sınır değerleri ile çarpılması.

$$F_{Q, \ddot{U}ST} = \lambda_{\ddot{u}st, FQ} F_Q = 14330.76 \text{ kN}$$

 $k_{2, \ddot{U}ST} = \lambda_{\ddot{u}st, k2} k_2 = 55.0722 \text{ } kN/mm$
 $k_{1.\ddot{U}ST} \cong 10k_{2.\ddot{U}ST} = 550.722 \text{ } kN/mm$

h. Etkin deprem yükü yöntemi kullanılarak yerdeğiştirmenin bulunması tekrarlı bir süreç gerektirir. İlk olarak bir yerdeğiştirme seçilir ve buna bağlı parametreler hesaplanır. Seçilen yerdeğiştirme ile bulunan yerdeğiştirme yeterli oranda birbirlerine yaklaştığında iterasyon tamamlanır. DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım sistemi yerdeğiştirmesi seçilmesi.

$$D_D = 62.74 \text{ mm}$$

i. Etkin rijitliğin hesaplanması.

$$K_D = k_{2,UST} + \frac{F_{Q,UST}}{D_D} = 283.4873 \ kN/mm$$

j. Etkin periyodun hesaplanması.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_D g}} = 1.457 s$$

k. Akma yerdeğiştirmesinin hesaplanması.

$$D_{y} = \frac{F_{Q, \ddot{U}ST}}{k_{1.\ddot{U}ST} - k_{2, \ddot{U}ST}} = 28.91 \, mm$$

l. Etkin sönüm yüzdesinin hesaplanması.

$$\xi_D = \beta_e \times 100 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{4F_{Q, \ddot{U}ST} (D_D - D_y)}{K_D D_D^2} \right) \times 100 = 27.66$$

m. Sönüm ölçeklendirme katsayısının hesaplanması.

$$\eta_D = \sqrt{\frac{10}{5+\xi_D}} = 0.55$$

n. DD-2 deprem yer hareketi seviyesi için yatay spektral ivmenin hesaplanması.

$$S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) = \frac{S_{D1}}{T_D} = 0.165$$
 $(T_B \le T_D \le T_L)$

o. Yerdeğiştirmenin hesaplanması ve seçilen yerdeğiştirme ile kontrol edilmesi.

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) T_D^2 \eta_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) = 62.75 \text{ mm}$$

Hesaplanan yerdeğiştirme ile seçilen yerdeğiştirme birbirine yeterince yakındır, iterasyon tamamlanmıştır.

p. Şekil katsayısının hesaplanması.

$$S = \frac{B^2 - B_L^2}{4Bt} = 13.33$$

q. Kauçuk malzemenin esneklik modülünün hesaplanması.

$$E_0 = 4G_v = 2.8 \text{ MPa}$$

r. Yalıtım birimi basınç modülünün hesaplanması.

$$E_c = E_0(1 + 2kS^2) = 599.64$$
 MPa

s. Yalıtım birimi düşey rijitlik modülünün hesaplanması.

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} = 461.33 \text{ MPa}$$

t. Yalıtım birimi düşey rijitliğinin hesaplanması.

$$k_v = \frac{E_v A_r}{T_r} = 367.01 \ kN/mm$$

u. Yalıtım birimi burulma rijitliğinin hesaplanması.

$$k_T = \frac{G_v\left(\frac{\pi B^4}{4}\right)}{T_r} = 1.93 \times 10^8 \frac{Nmm}{rad}$$

5.3.2 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi ön tasarımı

FPS yalıtım birimi yerdeğiştirme hesabında TBDY-2018 14.3.6 maddesinde verilen "Yalıtım sisteminin en büyük yerdeğiştirme hesabı DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile, üstyapıya etkiyen en büyük yatay kuvvetin hesabı ise DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile yapılması gerekmektedir." ifadesine uyulmuştur. Bu yüzden DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için farklı iki adet yalıtım sistemi mekanik özellikleri hesaplanacaktır.

FPS yalıtım birimi tasarımında kullanılacak malzeme özellikleri ve hesap girdileri Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

_				
/	Parametre	Sembol	Değer	Birim
	Toplam sismik ağırlık (G+nQ)	W	149,489.6	kN
	Toplam yalıtım birimi sayısı	n	54	-
	Etkin sürtünme katsayısı	$\mu_{ m e}$	0.04	-
	Etkin eğrilik yarıçapı	R_c	1.3	m
	Kayıcı birim çapı	d_1	594	mm
	Yalıtım birimi yüksekliği	\mathbf{h}_1	87	mm
_	Elastisite modülü	E	200000	MPa

Çizelge 5.4 : FPS yalıtım birimi için seçilen tasarım parametreleri.

5.3.2.1 DD-1 ve yalıtım birimi parametreleri alt sınıra göre tasarım

a. Bir adet yalıtım birimine etkiyen düşey kuvvetin hesaplanması.

$$P = \frac{W}{n} = 2768.33 \text{ kN}$$

b. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi alt sınır katsayısı, Çizelge 4.2 değerlerin denklem 4.7'de kullanılmasıyla hesaplanacaktır.

$$\lambda_{alt,\mu} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})]\lambda_{deney,alt}\lambda_{spek,alt} = 0.595$$

c. Etkin sürtünme katsayısının alt sınır değerleri ile çarpılması.

$$\mu_{e,ALT} = \lambda_{alt,\mu}\mu_e = 0.0238$$

d. Karakteristik dayanımın hesaplanması.

$$F_O = \mu_{e,ALT} P = 65.89 \text{ kN}$$

e. İkincil rijitliğin hesaplanması.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} = 2.1295 \text{ kN/mm}$$

f. Etkin deprem yükü yöntemi kullanılarak yerdeğiştirmenin bulunması tekrarlı bir süreç gerektirir. İlk olarak bir yerdeğiştirme seçilir ve buna bağlı parametreler hesaplanır. Seçilen yerdeğiştirme ile bulunan yerdeğiştirme yeterli oranda birbirlerine yaklaştığında iterasyon tamamlanır. DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım sistemi yerdeğiştirmesi seçilmesi.

$$D_M = 239.83 \text{ mm}$$

g. Etkin rijitliğin hesaplanması.

$$K_M = k_2 + \frac{\mu_{e,ALT}P}{D_M} = 2.4042 \ kN/mm$$

h. Etkin periyodun hesaplanması.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{K_M g}} = 2.153 \ s$$

i. Etkin sönüm yüzdesinin hesaplanması.

$$\xi_M = \beta_e \times 100 = \frac{2}{\pi} \left(\frac{\mu_e}{\mu_e + \frac{D_M}{R_c}} \right) \times 100 = 11.34$$

j. Sönüm ölçeklendirme katsayısının hesaplanması.

$$\eta_M = \sqrt{\frac{10}{5+\xi_M}} = 0.78$$

k. DD-1 deprem yer hareketi seviyesi için yatay spektral ivmenin hesaplanması.

$$S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) = \frac{S_{D1}}{T_M} = 0.205$$
 $(T_B \le T_M \le T_L)$

1. Yerdeğiştirmenin hesaplanması ve seçilen yerdeğiştirme ile kontrol edilmesi.

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M) = 239.83 \text{ mm}$$

Hesaplanan yerdeğiştirme ile seçilen yerdeğiştirme birbirine yeterince yakındır, iterasyon tamamlanmıştır.

m. Yalıtım biriminin düşey rijitliğinin hesaplanması.

$$k_v = \frac{E\left(\frac{\pi d_1^2}{4}\right)}{h_1} = 637049.99 \ kN/mm$$

5.3.2.2 DD-2 ve yalıtım birimi parametreleri üst sınıra göre tasarım

a. Bir adet yalıtım birimine etkiyen düşey kuvvetin hesaplanması.

$$P = \frac{W}{n} = 2768.33 \text{ kN}$$

b. Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi üst sınır katsayısı, Çizelge 4.2 değerlerin denklem 4.6'de kullanılmasıyla hesaplanacaktır.

$$\lambda_{\ddot{u}st,\mu} = \left[1 - 0.75 \left(1 - \lambda_{ae,\ddot{u}st}\right)\right] \lambda_{deney,\ddot{u}st} \lambda_{spek,\ddot{u}st} = 1.719$$

c. Etkin sürtünme katsayısının alt sınır değerleri ile çarpılması.

$$\mu_{e, UST} = \lambda_{UST, \mu} \mu_e = 0.0688$$

d. Karakteristik dayanımın hesaplanması.

$$F_O = \mu_{e, UST} P = 190.38 \text{ kN}$$

e. İkincil rijitliğin hesaplanması.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} = 2.1295 \text{ kN/mm}$$

f. Etkin deprem yükü yöntemi kullanılarak yerdeğiştirmenin bulunması tekrarlı bir süreç gerektirir. İlk olarak bir yerdeğiştirme seçilir ve buna bağlı parametreler hesaplanır. Seçilen yerdeğiştirme ile bulunan yerdeğiştirme yeterli oranda birbirlerine yaklaştığında iterasyon tamamlanır. DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yalıtım sistemi yerdeğiştirmesi seçilmesi.

$$D_D = 61.47 \text{ mm}$$

g. Etkin rijitliğin hesaplanması.

$$K_D = k_2 + \frac{\mu_{e, \ddot{U}ST}P}{D_D} = 5.2266 \ kN/mm$$

h. Etkin periyodun hesaplanması.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{P}{K_D g}} = 1.46 s$$

i. Etkin sönüm yüzdesinin hesaplanması.

$$\xi_D = \beta_e \times 100 = \frac{2}{\pi} \left(\frac{\mu_e}{\mu_e + \frac{D_D}{R_c}} \right) \times 100 = 29.17$$

j. Sönüm ölçeklendirme katsayısının hesaplanması.

$$\eta_D = \sqrt{\frac{10}{5+\xi_D}} = 0.54$$

k. DD-2 deprem yer hareketi seviyesi için yatay spektral ivmenin hesaplanması.

$$S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) = \frac{S_{D1}}{T_D} = 0.165$$
 $(T_B \le T_M \le T_L)$

1. Yerdeğiştirmenin hesaplanması ve seçilen yerdeğiştirme ile kontrol edilmesi.

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) T_D^2 \eta_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) = 61.47 \text{ mm}$$

Hesaplanan yerdeğiştirme ile seçilen yerdeğiştirme birbirine yeterince yakındır, iterasyon tamamlanmıştır.

m. Yalıtım biriminin düşey rijitliğinin hesaplanması.

$$k_v = \frac{E\left(\frac{\pi d_1^2}{4}\right)}{h_1} = 637049.99 \ kN/mm$$

5.4 Hesap Modellerinin Modal Analiz Sonuçları

Ankastre mesnetli, LRB ve FPS yalıtım birimli modellerin modal analizi ETABS programıyla ritz vektörleri kullanılarak yapılmıştır. Yalıtım birimleri modellenirken bölüm 5.3'te bulanan değerler kullanılmıştır.

5.4.1 Ankastre mesnetli modelin modal analiz sonuçları

X yönü, Y yönü ve burulma hakim modları Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : (a) Y yönü periyodu (T=0.515 s), (b) X yönü periyodu (T=0.501 s), (c) burulma periyodu (T=0.442 s).

5.4.2 LRB yalıtım birimli modelin modal analiz sonuçları

LRB yalıtım birimi rijitlikleri, DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için farklılıklar gösterdiğinden dolayı her iki deprem yer hareketi düzeyi için X yönü, Y yönü ve burulma hakim modları sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için (a) Y yönü periyodu (T=3.933 s),
(b) X yönü periyodu (T=3.932 s), (c) burulma periyodu (T=3.501 s).



Şekil 5.7 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için (a) Y yönü periyodu (T=1.516 s),
(b) X yönü periyodu (T=1.512 s), (c) burulma periyodu (T=1.303 s).

5.4.3 FPS yalıtım birimli modelin modal analiz sonuçları

FPS yalıtım birimi rijitlikleri, DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için farklılıklar gösterdiğinden dolayı her iki deprem yer hareketi düzeyi için X yönü, Y yönü ve burulma hakim modları sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir.


Şekil 5.8 : DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için (a) Y yönü periyodu (T=2.182 s),
(b) X yönü periyodu (T=2.180 s), (c) burulma periyodu (T=1.925 s).



Şekil 5.9 : DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için (a) Y yönü periyodu (T=1.504 s),
(b) X yönü periyodu (T=1.501 s), (c) burulma periyodu (T=1.304 s).

Hesap modellerinin ilk on modunun periyot değerleri Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Mod	Ankastre	LRB		FPS	
	Periyot (s) -	Periyot (s)		Periyot (s)	
		DD-1	DD-2	DD-1	DD-2
1	0.516	3.933	1.516	2.182	1.504
2	0.501	3.932	1.512	2.18	1.501
3	0.442	3.501	1.303	1.925	1.304
4	0.283	0.437	0.422	0.366	0.36
5	0.283	0.423	0.409	0.343	0.337
6	0.283	0.243	0.243	0.204	0.204
7	0.283	0.057	0.057	0.052	0.051
8	0.28	0.057	0.057	0.042	0.042
9	0.28	0.056	0.056	0.038	0.038
10	0.244	0.055	0.055	0.034	0.034

Çizelge 5.5 : İlk on modun periyot değerleri.

5.5 Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

PEER veritabanında DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için ayrı ayrı hedef ivme spektrumları tanımlanmıştır. TBDY-2018 yönetmeliğinde belirtilen periyot aralıkları için bu hedef ivme spekturumlarına uygun 11 adet deprem kaydı seçilmiştir. DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için seçilen deprem kayıtları sırası ile Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

No	DCN	Donrom	\mathbf{V}_{1}	İstaquan	Ölçek
INO KSIN		Deptem	I 11	Istasyon	Katsayısı
1	20	Northern Calif-03	1954	Ferndale City Hall	1.039
2	178	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3	0.987
3	289	Irpinia Italy-01	1980	Calitri	1.693
4	313	Corinth Greece	1981	Corinth	1.531
5	721	Superstition Hills-02	1987	El Centro Imp. Co. Cent	1.125
6	900	Landers	1992	Yermo Fire Station	0.990
7	2752	Chi-Chi, Taiwan-04	1999	CHY101	1.971
8	1158	Kocaeli Turkey	1999	Düzce	0.959
9	1176	Kocaeli Turkey	1999	Yarımca	0.817
10	1602	Düzce Turkey	1999	Bolu	0.771
11	1633	Manjil Iran	1990	Abbar	1.217

Çizelge 5.6 : DD-1 için seçilen deprem kayıtları.

Seçilen deprem kayıtları, SeismoMatch [17] programı kullanılarak Şekil 5.3'te verilen yatay elastik tasarım spekturumuna uygun olacak şekilde $0.5T_D$ ile $1.25T_M$ periyotları arasında ölçeklendirilmiştir. Ölçeklenen deprem kayıtları, DD-1 ve DD-2 yatay ivme spekturumlarına göre sırasıyla Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'da gösterilmiştir.

Ölçeklendirme sınır periyotları aşağıda hesaplanmıştır.

$$0.5T_D = 0.5 \times 1.457 \ s = 0.728 \ s$$

$$1.25T_M = 1.25 \times 3.913 \ s = 4.891 \ s$$



Çizelge 5.7 : DD-2 için seçilen deprem kayıtları.

Şekil 5.10 : DD-1 için ölçeklenen deprem kayıtları.



Şekil 5.11 : DD-2 için ölçeklenen deprem kayıtları.

5.6 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için bölüm 5.5'te ölçeklenen deprem kayıtları kullanılarak üç farklı mesnet durumu için toplamda altı adet hesap modeli oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarından ortalama kat kesme kuvvetleri, ortalama kat yerdeğiştirmeleri, göreli kat ötelemeleri ve ortalama kat ivmeleri elde edilmiştir.

DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için yalıtım birimleri alt sınır değerleri, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yalıtım birimleri üst sınır değerleri dikkate alınmıştır.

DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için ortalama kat kesme kuvvetleri Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : DD-2 için ortalama kat kesme kuvvetleri.

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için ortalama kat yerdeğiştirmeleri şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13 : DD-1 ve DD-2 için ortalama kat yerdeğiştirmeleri.

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için göreli kat ötelemeleri Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14 : DD-1 ve DD-2 için göreli kat ötelemeleri.

Göreli kat ötelemeleri incelendiğinde, DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yalıtım birimli yapıların kesintisiz kullanım performans düzeyini rahatlıkla sağladığı ancak ankastre mesnetli yapının sınırlı hasar performans düzeyi limitlerini aştığı görülmektedir.

Veri merkezi yapılarında ortalama kat ivmesi 0.2g ile sınırlandırılmıştır [18]. DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için ortalama kat ivmeleri Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15 : DD-2 için ortalama kat ivmeleri.

DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için yapının 1-F aksında bulunan LRB yalıtım birimine ait yerdeğiştirme grafiği ile Chi-Chi depremine ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 5.16'da gösterilmiştir.





Şekil 5.16 : 1-F aksı LRB yalıtım birimi yerdeğiştirme grafikleri.

DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için yapının 1-F aksında bulunan FPS yalıtım birimine ait yerdeğiştirme grafiği ile Chi-Chi depremine ait kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



b) Yalıtım birimi kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

Şekil 5.17 : 1-F aksı FPS yalıtım birimi yerdeğiştirme grafikleri.



6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, bir veri merkezi yapısının ankastre mesnetli, LRB ve FPS yalıtım birimli durumları için deprem etkisi altında davranışı incelenmiştir. TBDY-2018 yönetmeliği çerçevesinde yalıtım birimleri tasarımları yapılmıştır. PEER veritabanından DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyine uygun 11 adet deprem kaydı takımı seçilmiştir. Seçilen deprem kaydı takımları TBDY-2018 yönetmeliğinde belirtilen periyot aralıkları için SeismoMatch programında ölçeklendirilmiştir. Hesap modellerinde sonuçlar, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile elde edilmiştir. Sismik yalıtım birimlerinin mekanik özellikleri belirlenirken DD-2 deprem yer hareketi düzeyi elimiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- Yapılan modal analiz sonucunda ankastre mesnetli yapının hakim periyodu 0.515 s, LRB yalıtım birimli yapının DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için hakim periyotları sırasıyla 3.933 s ve 1.516 s, FPS yalıtım birimli yapının DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için hakim periyotları ise sırasıyla 2.182 s ve 1.504 s bulunmuştur. Yalıtım birimi ön tasarımında bulunan periyot değerleri ile analiz sonucunda elde edilen periyot değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmektedir.
- 2. Yalıtım birimlerinin DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde kat kesme kuvvetlerine etkisi incelendiğinde; zemin kattaki maksimum kesme kuvveti ankastre mesnetli yapı için 103005 kN, LRB yalıtım birimli yapı için 10341 kN, FPS yalıtım birimli yapı için ise 22152 kN olarak elde edilmiştir. Kat kesme kuvvetleri sonuç olarak ankastre mesnetli yapıya kıyasla, LRB yalıtım birimli yapıda %90, FPS yalıtım birimli yapıda %78.5 oranında azalmıştır.
- 3. Çalışmada elde edilen DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için en üst katın ortalama kat yerdeğiştirmeleri incelendiğinde, ankastre mesnetli yapı için sırasıyla 0.226 m ve 0.114 m, LRB yalıtım birimli yapı için sırasıyla 0.433 m ve 0.219 m, FPS yalıtım birimli yapı için sırasıyla 0.522 m ve 0.246

m olarak bulunduğu görülmektedir. Ankastre mesnetli yapıya kıyasla yalıtım birimli yapıların kat yerdeğiştirmeleri beklenildiği gibi artmıştır. Bunun yanında yalıtım birimli modellerde üst yapının rijit kütle davranışı sergilediği gözlemlenmiştir.

- 4. Yapılan analizler sonucunda elde edilen göreli kat ötelemeleri incelendiğinde, DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yalıtım birimli yapıların kesintisiz kullanım performans düzeyini rahatlıkla sağladığı ancak ankastre mesnetli yapının sınırlı hasar performans düzeyi limitlerini aştığı görülmektedir.
- 5. Yapılan analizler sonucunda elde edilen göreli kat ötelemeleri incelendiğinde, DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yalıtım birimli yapıların kesintisiz kullanım performans düzeyini rahatlıkla sağladığı ancak ankastre mesnetli yapının sınırlı hasar performans düzeyi limitlerini aştığı görülmektedir.
- 6. Analizler sonucunda DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde en üst katta oluşan ivmeler, ankastre mesnetli yapı için 1.854 g, LRB yalıtım birimli yapı için 0.073 g ve FPS yalıtım birimli yapı için 0.230 g olarak elde edilmiştir. Kat ivmelerinin ankastre yapıya kıyasla, LRB yalıtım birimli yapıda %96, FPS yalıtım birimli yapıda %87.6 oranında azalmıştır. Ayrıca LRB yalıtım birimli yapının kat ivmelerinin 0.2 g limit değerini aşmadığı, ancak FPS yalıtım birimli yapının kısa doğrultuda 0.2 g limit değerini bir miktar aştığı gözlemlenmiştir.

Deprem gibi bir doğal afet sonrasında kesintisiz kullanım gerektiren veri merkezi tipi bir yapıda sismik yalıtım birimlerinin kullanılmasının, göreli kat ötelenmelerini ve kat ivmelerinin sınırlandırılmasında etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). T. C. Resmi Gazete, 30364, 18 Mart 2018
- [2] Naeim, F. ve Kelly, J.M. (1999). Design of seismic isolated structures: from theory to practice, Wiley.
- [3] **Özpalanlar, C. G.** (2004). Betonarme yapılarda izolatör kullanımının taşıyıcı sistem davranışına etkileri. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Gökhan, E. (2009). Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolasyon ve enerji sönümleyici sistemler. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Waheb, M. H. (2018). Deprem etkisindeki yapıların sismik taban izolasyonu ve çoklu ayarlı kütle sönümleyici sistemleri ile karma korunması. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Çelik, M. (2019). Sismik taban yalıtımlı binaların modellenmesi, tasarımında karşılaşılan problemler ve pratik mühendislik çözümleri. (Yüksek lisans tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [7] Kanbir, Z., Özdemir, G., Alhan, C. (2019). Modeling of lead rubber bearings via 3DBASIS, SAP2000, and OpenSees considering lead core heating modeling capabilities. International Journal of Structural and Civil Engineering Research Vol. 7, No. 4. doi: 10.18178/ijscer.7.4.294-301.
- [8] Han, M. (2017). Application of base isolation systems to reinforced concrete frame buildings. (Yüksek lisans tezi). University of Ottawa, Department of Civil Engineering, Ottawa.
- [9] Richins, B. D: (2011). Evaluation and Seismically isolated Substructure redesign of a typical multi-span pre-stressed concrete girder highway bridge. (Yüksek lisans tezi). Utah State University, Civil and Environmental Engineering, Utah.
- [10] Erkuş, B., Kasapoğlu, B., Güler, M. D. (2017). Deprem yalıtımlı veri merkezi tipi yapılarda eşdeğer statik kuvvet yönteminin incelenmesi. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. Eskişehir.
- [11] Arslan, Y., Özgeldi, A. C., Gündoğdu, Y. Z., Erkuş, B. (2017). Taban yalıtımlı veri merkezi tasarımı. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. Eskişehir.
- [12] Hacıemiroğlu, M., Tahaoğlu, A. Ç., Artun, K., Uğurlu, E., Alhan, C. (2021). Bir endüstri yapısının deprem yalıtımlı ve viskoz sönümleyicili

tasarımı. 6. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. Kocaeli.

- [13] Url-1 <https://depremizolasyon.com>, erişim tarihi 08.12.2021.
- [14] Url-2 <https://www.tis.com.tr>, erişim tarihi 08.12.2021.
- [15] AIJ (2016). Design Recommendation for Seismically Isolated Buildings. Architectural Institute of Japan.
- [16] **ETABS** (Versiyon 2018). Building Analysis and Design Software. Computers and Structures Inc, Berkeley, USA, 2019.
- [17] **SeismoMatch** (Versiyon 2018). Earthquake Engineering Software. Seismosoft, Lombardiya, İtalya, 2018.
- [18] Erkuş, B., Polat, S. S., Darama, H. (2018). Seismic design of data centers for tier III and tier IV resilience: basis of design. Eleventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Los Angeles.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

: Şafak KURT

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lise : 2010, Yunus Emre Anadolu Lisesi, İzmir
- Lisans: 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM

- 2022- ENKA İnşaat ve Sanayi A.Ş., İnşaat Mühendisi
- 2020-2022 Perform Mühendislik, İnşaat Mühendisi
- 2016-2020 Seza Mühendislik, İnşaat Mühendisi