

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARDA YAPISAL OLMAYAN
ELEMENLARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN İRDELENMESİ**

İMRE ÜNER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2020

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARDA
YAPISAL OLMAYAN ELEMANLARIN
DEPREM GÜVENLİĞİNİN İRDELENMESİ

İMRE ÜNER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR

II. DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ BAHADIR ŞADAN

GEBZE
2020

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**STUDYING OF SEISMIC SAFETY OF NON-
STRUCTURAL ELEMENTS IN SEISMIC
ISOLATED BUILDINGS**

İMRE ÜNER
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. AHMET ANIL DİNDAR

II. THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. BAHADIR ŞADAN

GEBZE

2020



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17/07/2020 tarih ve 2020/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 24/07/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan İMRE ÜNER'in tez çalışması İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI Deprem ve Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : DR. ÖĞR. ÜYESİ Ahmet Anıl DİNDAR

ÜYE

(TEZ II. DANIŞMANI) : DR. ÖĞR. ÜYESİ Bahadır ŞADAN

ÜYE

: DR. ÖĞR. ÜYESİ Ülgen Mert TUĞSAL

ÜYE

: DR. ÖĞR. ÜYESİ Fatih SÜTÇÜ

ÜYE

: DR. ÖĞR. ÜYESİ Ali BOZER

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Prof. Dr. Ümit DEMİR
Gebze Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Geçmişte meydana gelen büyük ölçekli depremlerin oluşturduğu etkiler incelendiğinde, afet sonrası günlük hayatın devam edebilmesi için gerekli olan ve içerisinde önemli cihazlar barındıran binaların hem yapısal elemanlarında hem de yapısal olmayan elemanlarında can kayıplarına yol açan onarılamaz hasarların olduğu hatta bu binaların büyük bir kısmının toptan göçtüğü saptanmıştır. Ülkemiz, deprem üretme kapasitesi oldukça yüksek olan büyük fay hatlarına sahip bir coğrafya içerisinde bulunmaktadır. Bu sebeple; sanayi yapıları, hastaneler, okullar, veri merkezleri gibi önemli binalar ve ülke nüfusunun büyük çoğunluğu deprem riski ile karşı karşıyadır. Büyük ölçekli depremlerin sonrasında yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarlar veya göçmeler, tehlikeli maddelerin sızıntısı, yangın, patlama gibi can kayıplarına neden olan riskler de meydana getirebilir.

Önemi gün geçtikçe artan sismik izolasyon yönteminde amaç; binaya monte edilen deprem izolasyon birimleri vasıtasıyla sismik hareketi ve enerjiyi sönmüleyerek, binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında oluşacak deprem etkilerini azaltmaktır.

Sunulan bu çalışmada, sismik izolasyon sisteminin yapısal olmayan elemanlar üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla, İstanbul İli, Kartal ilçesinde inşa edilecek bir veri merkezi sismik izolasyonlu olarak tasarlanmıştır. Bölgenin depremselliği göz önüne alınarak sahaya özel sismik tehlike analizi yapılmıştır. Binanın, sabit temelli ve eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimli iki farklı modeli yapısal olmayan elemanlar ile birlikte oluşturulmuştur. Yapısal tasarım ve sismik izolasyon tasarımı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 'ne (TBDY-2018) göre yapılmıştır. Bölgenin depremselliğine uygun 11 adet deprem kaydı seçilerek her iki model için zaman tanım alanında analizler yapılmış olup yapısal olmayan elemanların deprem güvenliği karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sismik izolasyonlu bina modelinde üst yapıya aktarılan deprem etkileri daha az olduğu için yapısal olmayan elemanlara etki eden yüklerin sabit temelli modele göre çok daha az olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Sismik İzolasyon, Sahaya Özel Sismik Tehlike Analizi, Zaman Tanım Alanında Analiz, Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Güvenliği.

SUMMARY

When the effects of large-scale earthquakes in the past are investigated, it was determined that the buildings, which are necessary for the continuation of the daily life after a disaster, and which contain important devices, have irreparable damages at both the structural and non-structural elements that lead severe injuries and casualties. Even a large part of these buildings collapse totally. Turkey is located in a geography with large fault lines with a high capacity to produce earthquakes. Therefore, important buildings such as industrial buildings, hospitals, schools, data centers, and the vast majority of the country's population face earthquake risk. Damages or collapses that may occur in non-structural elements after large-scale earthquakes may also cause risks that cause loss of life such as leakage of hazardous materials, fire, and explosion.

The purpose of seismic isolation methodology whose importance is increasing day by day; to absorb seismic motion and energy through seismic isolators installed in the building and to reduce the earthquake effects that will occur in the structural and non-structural elements of the building.

In this study, in order to check the effect of seismic isolation system on the non-structural equipment, a seismic isolated reinforced concrete data center building is designed in the Kartal district of Istanbul. Considering the seismicity of the region, site specific seismic hazard analysis was conducted. Two different models of the building with fixed based and friction pendulum-type sliding support were designed including the modelling of non-structural elements. According to the Turkish Building Seismic Code (TBSC-2018), structural and seismic isolation system were designed. Time history analysis were conducted using 11 sets of ground motion records for both models, and the seismic resistance of non-structural elements were compared. As a result, since the floor accelerations are less in the seismic isolated building model, the loads affecting non-structural elements are much less than the fixed based model.

Key Words: TBSC-2018, Turkish Building Seismic Code, Seismic Isolation, Site Specific Seismic Hazard Analysis, Time History Analysis, Seismic Resistance of Non-Structural Elements.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimim boyunca hiçbir zaman desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgisi ve görüşleri ile böyle bir çalışmanın oluşmasını sağlayıp bana fırsat veren danışmanım sayın Dr. Ahmet Anıl DİNDAR'a, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşıp her zaman bana destek olan eş danışmanım sayın Dr. Bahadır ŞADAN'a ve lisans eğitimim sırasında tanıştığım bana mesleğimi sevdiren ve eğitimimde bu günlere gelmemde yardımcı olan sayın Dr. Cüneyt TÜZÜN'e sonsuz şükranlarımı sunarım. Ayrıca, aldığım her kararda arkamda duran ve bana olan desteklerini bir gün olsun esirgemeyen sevgili aileme, anneanneme, eşime ve arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tanım	1
1.2. Kapsam	2
2. YAPISAL OLMAYAN ELEMANLARA VE SİSMİK İZOLASYON YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ	3
2.1. Yapısal Olmayan Elemanların Sınıflandırılması	3
2.2. Yapısal Olmayan Elemanların Önemi	4
2.3. Yapısal Olmayan Elemanlarda Oluşan Hasarlar	8
2.4. Yapısal Olmayan Elemanlarda Alınabilecek Önlemler	9
2.5. Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Güvenliği	10
2.6. Sismik İzolasyon Kavramı	11
2.6.1. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli İzolasyon Birimi	13
3. SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARDA YAPISAL OLMAYAN ELEMANLARIN TASARIMI	15
3.1. Sismik İzolasyon ile İlgili Şartnamelerin Gelişimi	15
3.1.1. ABD’deki Şartnamelerin Gelişimi	15
3.1.2. Japonya’daki Şartnamelerin Gelişimi	15
3.1.3. Yeni Zelanda’daki Şartnamelerin Gelişimi	16
3.1.4. Türkiye’deki Şartnamelerin Gelişimi	16
3.2. Yapısal Olmayan Elemanların Tasarımı ile İlgili Şartnameler	17
3.3. TBDY-2018’e Göre Deprem Parametrelerinin Belirlenmesi	17

3.3.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi Tanımı	18
3.3.2. Standart Deprem Yer Hareketi Spektrumu	19
3.3.3. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu	22
3.4. TBDY-2018 Kapsamında Sismik İzolasyonlu Binaların Tasarım Esasları	23
3.4.1. Bina Önem Katsayısı	23
3.4.2. Deprem Tasarım Sınıfı	23
3.4.3. Bina Performans Hedefleri	24
3.4.4. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	25
3.4.5. Etkin Kesit Rijitlikleri	25
3.5. Sismik İzolasyonlu Binalarda Dayanıma Göre Tasarım Yöntemi	27
3.5.1. Etkin Deprem Yüğü Yöntemi	27
3.5.2. Mod Birleştirme Yöntemi	29
3.6. Sismik İzolasyonlu Binalarda Şekil Değişirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım Yöntemi	30
3.6.1. Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi	30
3.6.2. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi	31
3.7. TBDY-2018'e Göre Eğri Yüzeyli Sürtünmeli İzolasyon Birimi Tasarımı	32
3.7.1. Tasarımda Kullanılacak Yüğü Birleşimleri	34
3.8. Yapısal Olmayan Elemanların Tasarımı	35
3.8.1. Dinamik Analiz Yöntemi	35
3.8.2. TBDY-2018'e Göre Yapısal Olmayan Elemanların Eşdeğer Statik Analiz Yöntemi	36
4. SAYISAL UYGULAMALAR	39
4.1. Örnek Bina Genel Özellikleri	39
4.2. Yapısal Olmayan Elemanların Genel Özellikleri	41
4.3. Analizlerde Kullanılacak Deprem Verileri	42
4.3.1. Standart Yatay Elastik Tasarım Spektrumunun Bulunması	43
4.3.2. Sahaya Özel Yatay Tasarım Spektrumunun Bulunması	45
4.3.3. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi	48
4.4. Sabit Temelli Bina Modelinin Analizleri	52
4.4.1. Sabit Temelli Bina Modelinin Modal Analizi	52

4.4.2. Sabit Temelli Bina Modelinin Doğrusal Analizi	55
4.4.3. Sabit Temelli Bina Modelinin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Analizi	57
4.5. Sismik İzolasyonlu Bina Modelinin Analizleri	58
4.5.1. Eğri Yüzeyle Sürtünmeli İzolasyon Biriminin Ön Tasarımı	58
4.5.2. Sismik İzolasyonlu Bina Modelinin Modal Analizi	60
4.5.3. Sismik İzolasyonlu Bina Modelinin Doğrusal Üstyapı Analizi	61
4.5.4. Sismik İzolasyonlu Bina Modelinin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi	63
4.6. Kontroller	63
4.6.1. Sismik İzolasyon Birimi İçin Deplasman Kontrolü	63
4.6.2. Sismik İzolasyon Birimi İçin Kesme Kuvveti Kontrolü	64
4.7. Karşılaştırmalar	64
4.7.1. Yapısal Karşılaştırmalar	64
4.7.2. Yapısal Olmayan Elemanlar İçin Karşılaştırmalar	66
5. SONUÇ	75
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	78

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar Kısaltmalar

A_{ie}	: DD-2 deprem yer hareketi altında i'nci kattaki eleman veya donanımın döşemeye bağlandığı bölgeye etkiyen en büyük toplam ivme
B_e	: Eleman veya donanıma uygulanan büyütme katsayısı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
D_D	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme
D_M	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirme
D_{TD}	: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
D_{TM}	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
e	: Üstyapı ağırlık merkezi ile yalıtım sistemi rijitlik merkezi arasında ölçülen dış merkezlik ile deprem yüklemesine dik doğrultudaki plan boyutunun %5'i olarak hesaplanan ek dış merkezliğin toplamı
F_{ie}	: Eleman veya donanımın ağırlık merkezine yatay olarak etkiyen ve eleman veya donanımın üzerinde kendi kütlesi ile orantılı olarak dağıtılabilen eşdeğer deprem yükü
F_S	: Üst yapıya etki eden deprem kuvveti
F_Q	: Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı (kuvvet-yerdeğiştirme çevriminde sıfır yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvvet)
F_y	: Etkin akma dayanımı
g	: Yer çekimi ivmesi [9.81 m/s ²]

h_i	: i'inci kat ile (i-1)'nci kat arasındaki mesafe (kat yüksekliği)
h_x	: x katının yüksekliği
I	: Bina Önem Katsayısı
K	: Yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği
k_e	: D yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik
k_2	: İkincil rijitlik
m_e	: Eleman veya donanımın çalışır durumdaki kütlesi [t]
P	: Düşey yük ve deprem yükünün ortak etkisi altında meydana gelen en büyük düşey yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_c	: Yalıtım birimi kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapı
R_e	: Eleman veya donanım için tanımlanan davranış katsayısı
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_D	: Deprem yalıtımlı binanın tasarım yerdeğiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_M	: En büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu
V	: Üstyapıyı etkileyen kuvvet
W	: Binanın deprem sırasındaki toplam kütleyle karşı gelen ağırlığı
w_i	: Binanın i'nci katındaki sabit yükü
w_x	: X katının toplam ağırlığı
β_e	: Etkin sönüm oranı
μ	: Etkin sürtünme katsayısı
η_{bi}	: i'nci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
η	: Tasarım 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
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BKS	: Bina kullanım sınıfı
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlama periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlama periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlama periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlama periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
ŞGDT	: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – 2018
UBC	: Ultimate Building Code

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1:	Tipik yapısal ve yapısal olmayan elemanların gösterimi. 3
2.2:	1971 San Fernando depremi sonrası ekonomik kaybın yüzdesel dağılımı. 5
2.3:	1994 Northridge depreminde yıkılan duvarlar ve asma tavanlar. 5
2.4:	1994 Northridge depreminde yangın söndürme sistemi hasarı. 6
2.5:	1995 Kobe depreminde doğal gaz boruları yangını. 6
2.6:	Farklı türde binaların yapısal ve yapısal olmayan maliyet değerlendirilmesi. 7
2.7:	Farklı türde ağır hasarlı binalar için yapısal, ivmeye hassas ve ötelemeye hassas elemanlarının onarım oranının bina yeniden yapım maliyetine oranı. 8
2.8:	Deprem yer hareketi sırasında yapısal olmayan elemanların kayması ve devrilmesi. 8
2.9:	Korozyona ve zamana bağlı deformasyonlara dayanıklı esnek borular ve bağlantı elemanları. 9
2.10:	Makine ve ekipmanlar için esnek bağlantı detayı örneği. 10
2.11:	Asılı sistemler için esnek bağlantı detayı örneği. 10
2.12:	Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi kesiti. 14
2.13:	Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon biriminin çalışma prensibi. 14
3.1:	Türkiye deprem tehlikesi haritası. 19
3.2:	Yatay elastik tasarım spektrumu. 22
3.3:	Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin basitleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi. 33
3.4:	Birleşik bina modeli ve yapısal olmayan elemanların dinamik analizinin şematik gösterimi. 36
4.1:	Analizde kullanılacak olan bina genel kat plan görünümü. 39
4.2:	Elektrik kabinlerinin modellenmesi. 42
4.3:	Analizde kullanılacak olan bina lokasyonu. 43
4.4:	AFAD Deprem tehlikesi haritası. 43
4.5:	AFAD Deprem tehlikesi haritası bilgi girişi. 44

4.6:	Farklı deprem düzeyleri için standart yatay elastik tasarım spektrumları.	45
4.7:	Sismik tehlike analizi için kullanılacak deprem kataloğu ($M \geq 4.0$).	45
4.8:	Deprem tehlikesi grafiği.	46
4.9:	Farklı deprem düzeyleri için sahaya özel yatay elastik tasarım spektrumları.	47
4.10:	DD-1 deprem düzeyi için spektral uyuşum yöntemiyle ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının spektrumları.	50
4.11:	DD-2 deprem düzeyi için spektral uyuşum yöntemiyle ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının spektrumları.	51
4.12:	Analizde kullanılacak olan sabit temelli bina genel görünüşü.	52
4.13:	Sabit temelli bina modelinin 1. mod şekli.	53
4.14:	Sabit temelli bina modelinin 2. mod şekli.	54
4.15:	Sabit temelli bina modelinin 3. mod şekli.	54
4.16:	Sabit temelli bina modelinin doğrusal analizi için azaltılmış tasarım spektrumu.	56
4.17:	Zaman tanım alanında doğrusal analiz yöntemi için deprem kayıtlarının tanımlanması.	57
4.18:	Analizde kullanılacak olan sismik izolasyonlu bina genel görünüşü.	58
4.19:	Sismik izolasyonlu bina modelinin 1. mod şekli.	60
4.20:	Sismik izolasyonlu bina modelinin 2. mod şekli.	61
4.21:	Sismik izolasyonlu bina modelinin doğrusal analizi için azaltılmış tasarım spektrumu.	62
4.22:	Sabit temelli ve sismik izolasyonlu bina modellerindeki periyotların grafiksel gösterimi.	65
4.23:	Sabit temelli ve sismik izolasyonlu bina modellerindeki taban kesme kuvvetlerinin grafiksel gösterimi.	66
4.24:	Sabit temelli ve sismik izolasyonlu bina modellerindeki tepe deplasmanlarının grafiksel gösterimi.	66
4.25:	Çatı katı X-X Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme borusu için deplasman karşılaştırılması (X Yönü için).	67

4.26:	Çatı katı X-X Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme borusu için deplasman karşılaştırılması (Y Yönü için).	67
4.27:	Çatı katı Y-Y Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme borusu için deplasman karşılaştırılması (X Yönü için).	68
4.28:	Çatı katı Y-Y Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme borusu için deplasman karşılaştırılması (Y Yönü için).	68
4.29:	Çatı katı havalandırma sistemi için deplasman karşılaştırılması (X Yönü için).	69
4.30:	Çatı katı havalandırma sistemi için deplasman karşılaştırılması (Y Yönü için).	69
4.31:	Sabit temelli bina modelinde çatı katı için kat ivme spektrumu.	70
4.32:	Sismik izolasyonlu bina modelinde çatı katı için kat ivme spektrumu.	70
4.33:	İki farklı sönüm oranı için çatı katındaki maksimum ivmelerinin karşılaştırılması.	71
4.34:	Sabit temelli bina modelinde 5. katı için kat ivme spektrumu.	71
4.35:	Sismik izolasyonlu bina modelinde 5. katı için kat ivme spektrumu.	72
4.36:	İki farklı sönüm oranı için elektrik kabinlerinin doğal hakîm titreşim periyoduna karşılık gelen 5. Kat ivmelerinin karşılaştırılması.	72
4.37:	X-X Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme sistemine etkiyen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	73
4.38:	Y-Y Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme sistemine etkiyen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	73
4.39:	Havalandırma sistemini etkiyen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	74
4.40:	Elektrik kabinlerine etkiyen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	74

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Yerel zemin sınıfları.	20
3.2: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları.	21
3.3: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları.	21
3.4: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.	23
3.5: Deprem tasarım sınıfları.	23
3.6: Yeni yapılacak sismik izolasyonlu binalar – Üstyapı.	25
3.7: Yeni yapılacak sismik izolasyonlu binalar – Altyapı.	25
3.8: Sismik izolasyonlu binalar için deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları.	25
3.9: Sismik izolasyonlu bina tasarımı için etkin kesit rijitliği çarpanları.	26
3.10: Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için Alt ve Üst sınır öneri değerleri.	33
3.11: Mimari elemanlar için büyütme ve davranış katsayıları.	37
3.12: Mekanik ve elektrik donanımlar için büyütme ve davranış katsayıları.	38
4.1: Modellerde kullanılan elektrik kabini parametreleri.	42
4.2: Farklı deprem düzeyleri için standart yatay elastik tasarım spektrumu verileri.	44
4.3: Deprem tehlikesini belirlemede kullanılan parametreler.	46
4.4: Farklı deprem düzeyleri için sahaya özel deprem tehlike analizine göre ivme değerleri.	47
4.5: DD-1 deprem düzeyi için seçilen deprem ivme takımı kayıtları.	48
4.6: DD-2 deprem düzeyi için seçilen deprem ivme takımı kayıtları.	49
4.7: DD-1 deprem düzeyi için seçilen düşey ivme kayıtlarının katsayıları.	50
4.8: DD-2 deprem düzeyi için seçilen düşey ivme kayıtlarının katsayıları.	51
4.9: Sabit temelli bina modeli için modal analiz sonuçları.	53
4.10: Sabit temelli bina modeli için modal analiz toplam kütle katılım oranları.	53
4.11: Sabit temelli bina modelinin üst yapı analizleri için genel esaslar.	55

4.12: Sabit temelli bina modeli için katlara gelen eşdeğer deprem yükleri (X-X Doğrultusu).	56
4.13: Sabit temelli bina modeli için katlara gelen eşdeğer deprem yükleri (Y-Y Doğrultusu).	57
4.14: DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon biriminin ön tasarımı.	59
4.15: DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon biriminin ön tasarımı.	59
4.16: Sismik izolasyonlu bina modeli için modal analiz sonuçları.	60
4.17: Sismik izolasyonlu bina modelinin üst yapı analizleri için genel esaslar.	62
4.18: Sismik izolasyonlu bina modeli için katlara gelen eşdeğer deprem yükleri.	63
4.19: Sismik izolasyon birimi deplasman kontrolü.	64
4.20: Sismik izolasyon birimi taban kesme kuvveti kontrolü.	64
4.21: Sabit temelli ve sismik izolasyonlu binaların doğal hakîm titreşim periyotlarının ve kütle katılım oranlarının karşılaştırılması.	65
4.22: Sabit temelli ve sismik izolasyonlu bina modellerinin taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	65

1. GİRİŞ

1.1. Tanım

Deprem yer hareketi, ardında bıraktığı etki bakımından insanlar için en önemli afetlerin başında gelmektedir. Sismik aktivitesi fazla olan bölgelerde geçmişten günümüze kadar meydana gelmiş büyük depremler can ve mal kaybına neden olmuş, insanların sosyal hayatlarını da olumsuz bir şekilde etkilemiştir. Afet sonrası çevre şartlarının olumsuzluğundan dolayı insanlar hayatlarına kaldığı yerden devam etmekte zorlanmış, depremin yarattığı sosyal, psikolojik ve maddi yöndeki olumsuz etkilerin atlatılması uzun yıllar sürmüştür. Deprem yer hareketi kaçınılmaz bir doğa olayıdır ve insanların güvenli bir şekilde deprem ile iç içe yaşaması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı sismik aktifliği fazla olan ülkeler depreme dayanıklı bina tasarımına önem vermiş olup bu konuda birçok çalışmalar yapılmaktadır.

Teknolojinin gelişimi ve günümüz şartlarının gereksinimleri ele alındığında herhangi bir afet sonrasında hemen kullanılacak olan, faaliyetine kesintisiz bir şekilde devam etmesi gereken ve içerisinde önemli yapısal olmayan elemanları barındıran hayatın bir parçası haline gelmiş binalar mevcuttur. Büyük bir deprem sırasında bu tarz binaların yapısal olmayan elemanlarında oluşabilecek hasarlar yangın, patlama ve tümünden göçmeye neden olup mal ve can kayıplarını fazlasıyla arttırabilir. Ayrıca bu hasarlar deprem esnasında kaçışı engelleyebilir ve kurtarma operasyonunda da zorluklar çıkartabilir.

Ülkemiz sismik aktivenin yoğun olduğu önemli fay hatlarını topraklarında barındıran bir deprem ülkesidir. Ayrıca sanayi yapıları, fabrikalar, önemli binalar ve ülke nüfusunun çok büyük bir oranı ülkemizdeki aktif deprem kuşağı içerisinde bulunmaktadır. Bu sebeple depremin hayatımızdaki konumu ve önemi kaçınılmaz bir gerçektir. 17 Ağustos 1999'da ülkemizde gerçekleşmiş olan depremde binaların çok az bir yüzdesi toptan göçmüştür. Diğer hasarlı binalarda ise yapısal olmayan elemanlar çok ciddi yaralanmalara, maddi kayıplara ve can kayıplarına neden olmuştur. Hastaneler, fabrikalar, veri merkezi gibi afet sonrası hemen kullanılması gereken ve içerisinde önemli yapısal olmayan elemanlar barındıran binalar hasar almış ve faaliyetlerini gerçekleştiremediği için maddi ve manevi ülke ekonomisine ve sosyal hayata zarar vermiştir.

Konusunda uzman kişiler tarafından binaların deprem yer hareketlerine karşı verdiği tepkileri azaltmak için birçok çalışmalar yapılmış, depreme dayanıklı sismik izolasyon tasarımı da bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Depreme dayanıklı sismik izolasyon kavramını basit bir şekilde ele almak gerekirse; ek sönümleme içeren izolasyon birimleri ile binanın üstyapısını zeminden ayırarak binanın periyodunu arttırıp, deprem yer hareketi etkilerini azaltmasıdır. Bu sayede binadaki kat ivmeleri azalarak binadaki yapısal olmayan elemanlara etki eden deprem kuvvetleri azalmaktadır.

Geçmiş deneyimlerden yola çıkarak binalar için yapısal olmayan elemanların önemi ve depreme dayanıklı sismik izolasyonlu bina tasarımının farkındalığı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde, veri merkezi gibi günlük hayat için büyük öneme sahip binalarda hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanların deprem güvenliğinin sağlanması için sismik izolasyon yöntemi kullanılmaktadır. Ayrıca bu tasarım yöntemi konusuna 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde yer verilmiştir.

1.2. Kapsam

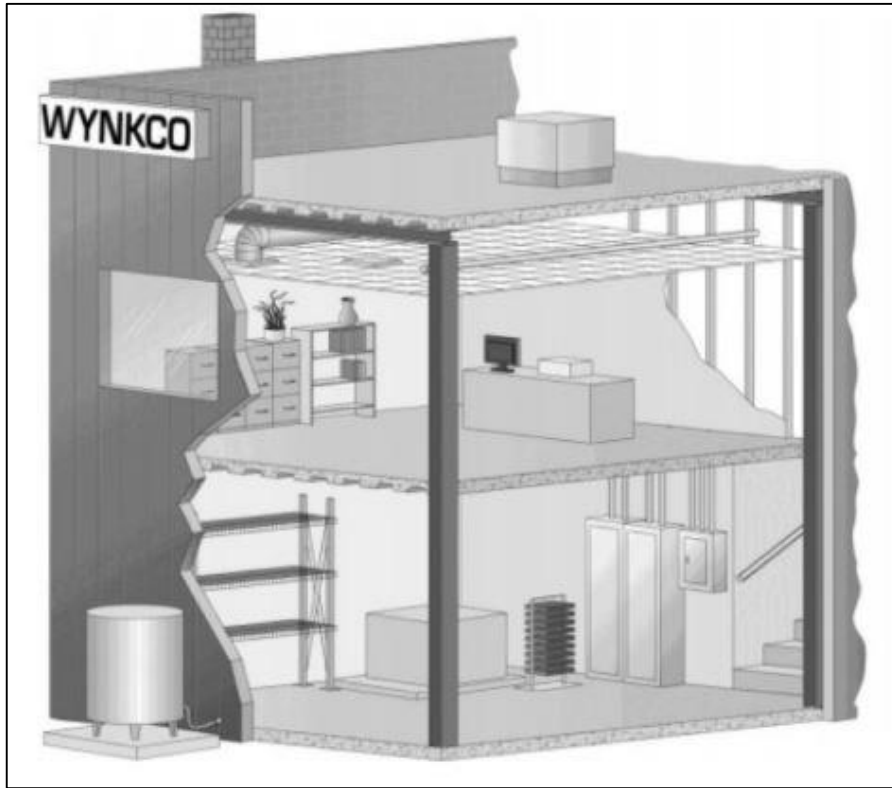
Bu çalışma kapsamında, yeni yapılması planlanan betonarme çerçeve sisteme sahip 6 katlı bir veri merkezi binasının sabit temelli ve eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimli modelleri oluşturup TBDY-2018'e göre zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılarak bina modellerindeki yapısal ve en önemlisi yapısal olmayan elemanların deprem etkisi altında davranışları her iki bina modeli için karşılaştırılacaktır.

2. YAPISAL OLMAYAN ELEMANLARA VE SİSMİK İZOLASYON YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ

2.1. Yapısal Olmayan Elemanların Sınıflandırılması

İnşaat mühendisliği temel olarak iki ana sistem üzerinde durmaktadır. Bunlardan birincisi yapısal elemanlar, ikincisi ise yapısal olmayan elemanlardır. Binalardaki kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlar yük taşıyıcı elemanlardır. İkincisi ise taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarının dışındaki bileşenleri ifade etmekte ve yük taşıyıcı özelliği olmayıp işlevsellik açısından büyük öneme sahip olan elemanlardır. Hatta yer yer “ikincil yapı” olarak da adlandırılmaktadır.

Söz konusu olan bu yapısal olmayan elemanlar mimari, mekanik, elektrik tesisatı vb. gibi sistemleri içermektedir. Bunun dışında bina sahibine ait olan mobilya gibi sabit eşyalar da yapısal olmayan elemanları oluşturmaktadır [1] (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Tipik yapısal ve yapısal olmayan elemanların gösterimi.

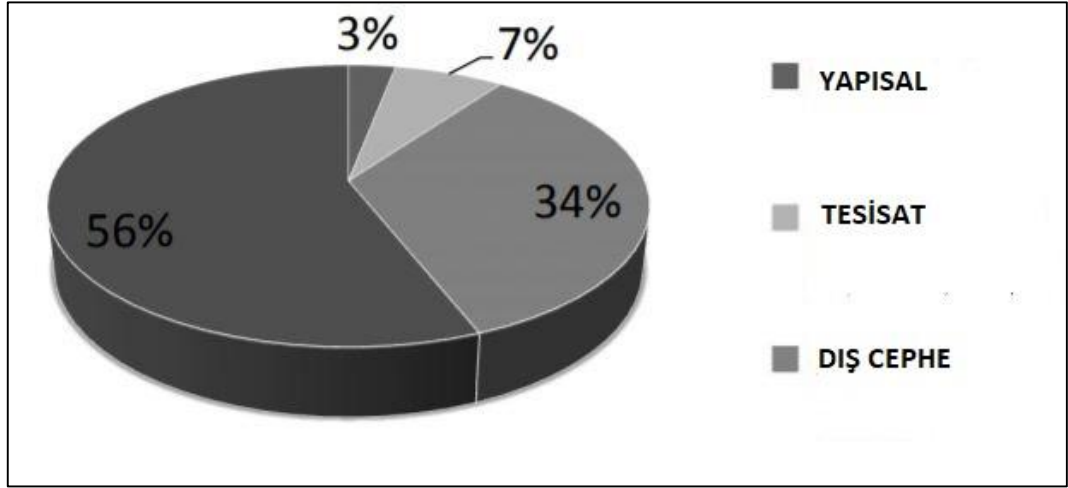
Yapısal olmayan elemanlar üç ana başlık altında aşağıdaki gibi ele alınmaktadır.

- Mimari Yapısal Olmayan Elemanlar
 - Pencereler
 - Asma Tavanlar
 - İşyeri Tabelaları
 - Çatı Sistemleri
 - Dış Cephe Kaplamaları
 - Tuğla ya da Alçıpan Duvarlar
- Elektromekanik Yapısal Olmayan Elemanlar
 - Yangın Söndürme Sistemleri
 - Havalandırma Sistemleri
 - Kablo Tavası
 - Isıtma ve Soğutma Sistemleri
 - Asansörler
- Mobilya ve Sabit Eşyalar

2.2. Yapısal Olmayan Elemanların Önemi

Yakın geçmişteki büyük depremlerin neden olduğu can güvenliğini tehlikeye atan yapısal olmayan elemanlardaki hasarlar incelendiğinde, can kayıplarına ve çok büyük maddi zararlara neden olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, yapısal olmayan elemanların deprem sırasında aldığı hasarlar deprem sonrasında meydana gelebilecek patlama, yangın, zehirli gaz salınımı gibi olaylara da neden olabilmektedir.

1971 San Fernando depremi sonrası yapılan çalışmalarda ekonomik kaybın %97'si yapısal olmayan elemanların hasarından dolayı yaşanmıştır. Sadece %3'lük gibi bir kayıp ise yapısal elemanların hasarından dolayıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: 1971 San Fernando depremi sonrası ekonomik kaybın yüzdesel dağılımı.

1994 yılında ABD sınırları içerisinde gerçekleşmiş Northridge depreminden sonra, yapısal elemanlarında hasar olmayan, insanlar için öneme sahip 10 hastane yapısal olmayan elemanların hasarından dolayı en ihtiyaç duyulan zamanda kapatılıp faaliyetlerine ara verilmiştir. Şekil 2.3’de 1994 Nortridge depreminde yıkılan duvarlar ve asma tavanlar belirtilmiştir. Ayrıca bu depremde bazı binalardaki yangın söndürme sistemleri gibi tesisat sistemleri de hasar görmüştür (Şekil 2.4).



Şekil 2.3: 1994 Northridge depreminde yıkılan duvarlar ve asma tavanlar.



Şekil 2.4: 1994 Northridge depreminde yangın söndürme sistemi hasarı.

1995 yılında gerçekleşen Kobe depreminde yapısal elemanlarda oluşan hasarlardan dolayı doğalgaz borularında yangın çıkmıştır [1], [2] (Şekil 2.5).

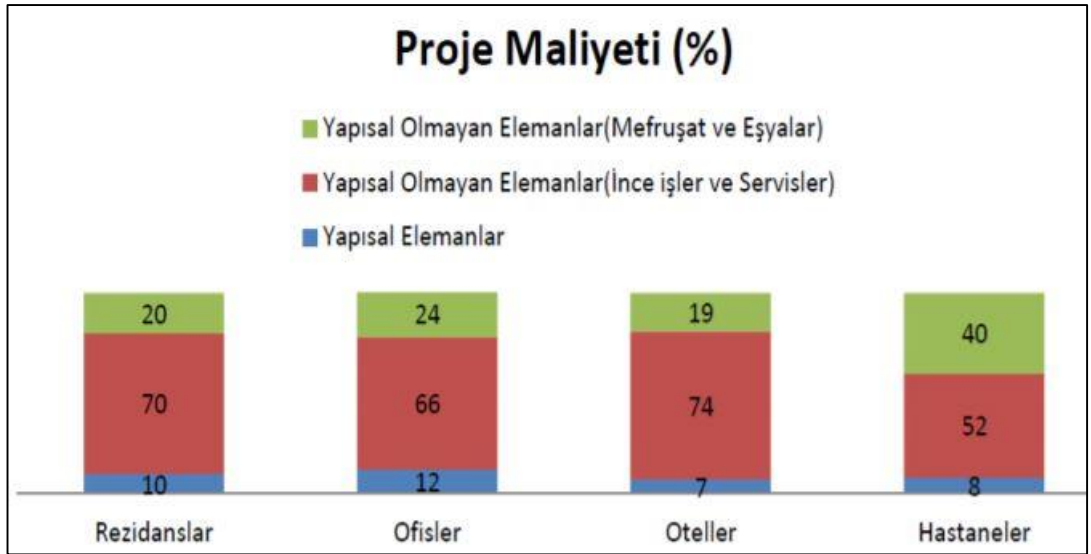


Şekil 2.5: 1995 Kobe depreminde doğal gaz boruları yangını.

17 Ağustos 1999 depremi ülkemiz açısından bir dönüm noktası olarak nitelendirilmektedir. Bu deprem ile birlikte hem yapısal elemanların hem de yapısal olmayan elemanların deprem güvenliği açısından yetersizliği ortaya konmuştur.

Yapılan araştırmalara göre 17 Ağustos 1999 depremindeki yaralanmaların %50'si ve can kayıpların da %3'ü yapısal olmayan elemanların hasarlarından kaynaklanmıştır. Ayrıca hayatta kalan insanların maddi kayıplarının %30'u sahip oldukları eşyaların hasarlarından dolayı oluşmuştur.

Bina içerisinde kullanılan yapısal olmayan elemanların maliyetleri binanın kullanım amacına göre farklılık göstermektedir. Hastaneler, veri merkezleri, okullar gibi deprem sonrasında faaliyetlerine devam etmesi gereken önemli binalar içerisinde maliyetli ekipmanlar bulundurmaktadır. Hatta bu ekipmanların maliyetleri bina taşıyıcı sistem maliyetinden çok daha fazladır. Şekil 2.6'da farklı kullanım amaçlarına sahip binalardaki yapısal olmayan elemanların bir projenin maliyeti içindeki oranları gösterilmiştir [3].



Şekil 2.6: Farklı türde binaların yapısal ve yapısal olmayan maliyet değerlendirilmesi.

Yapısal olmayan elemanlarda oluşan hasarların onarılması için gerekli olan mali ihtiyaç sanılanın aksine çok daha fazladır. Şekil 2.7'de farklı türde kullanılan ağır hasara sahip binalardaki yapısal, ivmeye hassas ve ötelemeye hassas elemanların onarım oranlarının, binanın yeniden yapım maliyetine oranları gösterilmiştir [4].

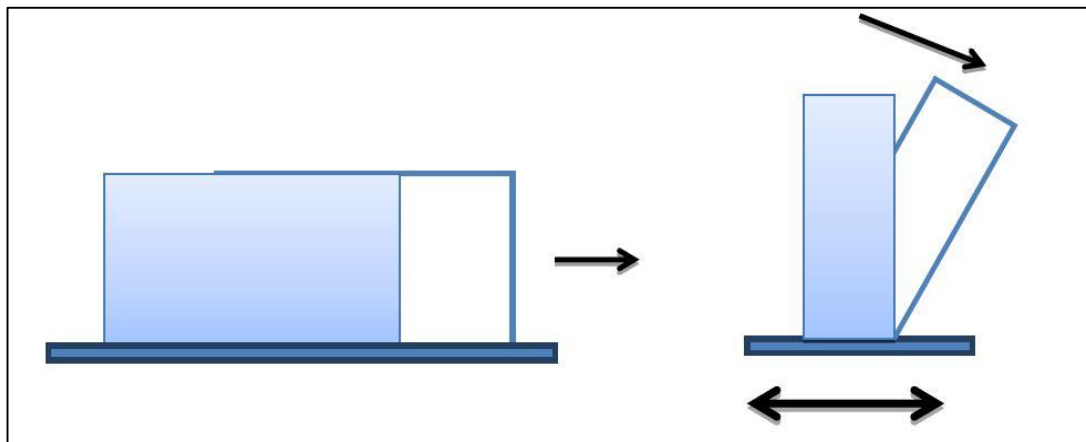
Kullanım Sınıfı	Yapısal	İvmeye Hassas	Ötelemeye Hassas
Konut (Apartman)	14%	44%	43%
İş Merkezleri	19%	48%	33%
Banka/Finans Merkezleri	14%	52%	35%
Hastaneler	14%	51%	35%
Sanayi Tesisleri	16%	73%	12%
Kamu Binaları	18%	49%	33%
Okullar	19%	32%	49%

Şekil 2.7: Farklı türde ağır hasarlı binalar için yapısal, ivmeye hassas ve ötelemeye hassas elemanlarının onarım oranının bina yeniden yapım maliyetine oranı.

Ayrıca, Yapısal olmayan elemanlarda oluşacak hasarlar çalışma faaliyetlerini durdurarak ve geciktirerek çalışma kaybının oluşmasına da yol açmaktadır. Bunun sonucunda da toplumlar için zaman ve ekonomik kayıplar oluşmaktadır [2].

2.3. Yapısal Olmayan Elemanlarda Oluşan Hasarlar

Bina katlarına sabitlenmiş olan yapısal olmayan elemanlarda oluşan hasarlar genel olarak iki şekilde olmaktadır. Kısa ama sağlam yapılı yapısal olmayan elemanlar yer hareketi sırasında yana doğru kayabilmektedir. Ayrıca, ince ve uzun yapılı yapısal olmayan elemanlar ise yer hareketi sırasında devrilebilir ve yakınlarında bulunan diğer nesnelerin üzerine düşebilmektedir [1] (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Deprem yer hareketi sırasında yapısal olmayan elemanların kayması ve devrilmesi.

2.4. Yapısal Olmayan Elemanlarda Alınabilecek Önlemler

Büyük deprem yer hareketlerinden önce önemli binalardaki yapısal olmayan elemanlar için yapılacak çalışmalar ve alınabilecek önlemler ile birlikte deprem sonrasında meydana gelebilecek hasarlar ve kayıplar azaltılmaktadır. Riskleri azaltmak için alınabilecek önlemler yapısal olmayan elemanların türüne ve konumuna göre değişmektedir. Yapısal olmayan elemanların meydana getirebileceği tehlikeleri azaltmak için kullanılan en genel yöntem; elemanları binaya sabitleyerek deprem yer hareketi sırasında yapıyla bütün olarak birlikte hareket etmesini sağlayarak can ve maddi kayıpları en aza indirmesidir.

Tesisat için kullanılacak yapısal olmayan elemanlar da binaya esnek detaylar ile bina bağlanmalıdır. Kullanılacak detaylar deprem yer hareketi etkisiyle meydana gelecek ötelenmeleri karşılayabilecek esneklikte olmalıdır. Bu elemanların birleşimleri korozyona ve zamana bağlı oluşabilecek deformasyonlara karşı da tedbir alınarak detaylandırılmalıdır (Şekil 2.9).



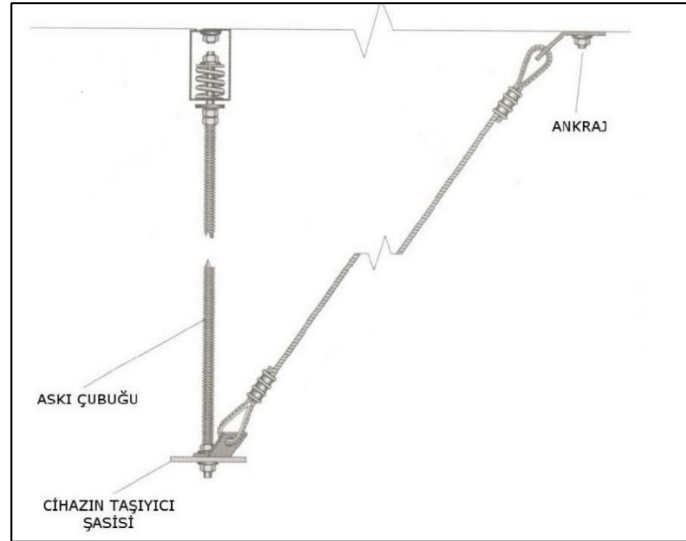
Şekil 2.9: Korozyona ve zamana bağlı deformasyonlara dayanıklı esnek borular ve bağlantı elemanları.

Makine ve ekipmanlar için ise yerine göre belirlenecek esnek bağlantı detayları ile binaya sabitlenmiştir [3] (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Makine ve ekipmanlar için esnek bağlantı detayı örneği.

Ayrıca borular, havalandırma kanalları veya kablo tavaları gibi asılı sistemler için kullanılan bağlantı detayı Şekil 2.11’de belirtilmiştir.



Şekil 2.11: Asılı sistemler için esnek bağlantı detayı örneği.

2.5. Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Güvenliği

Gelişen teknoloji ve çağın gerekleri göz önüne alındığında sanayi yapıları, hastaneler, okullar ve veri merkezleri gibi binaların faaliyetleri ve insanların hayatlarındaki kritik önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeple, sadece geleneksel

yöntemle depreme dayanıklı bina tasarlamak deprem riskini azaltmak için yeterli değildir.

Yapısal olmayan elemanlardan kaynaklanacak olan kayıpların azaltılması için yapısal elemanlarda olduğu gibi deprem güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Özellikle içerisinde önemli ve pahalı yapısal olmayan elemanları barındıran kritik öneme sahip binalarda deprem güvenliğinin sağlanıp riskin azaltılması gereklidir.

Büyük deprem yer hareketlerinde, binalardaki hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarları hatta göçmeleri önlemek için en güvenilir ve en ekonomik çözüm depreme dayanıklı sismik izolasyonlu bina tasarımı yöntemidir. Sismik izolasyonla birlikte binaya etkiyecek deprem ivmeleri ile deprem kuvvetleri büyük oranda sönümlenmektedir. Bu sayede, sadece bina taşıyıcı sistem elemanlarının değil yapısal olmayan elemanların da deprem sırasında korunması sağlanmaktadır [4].

2.6. Sismik İzolasyon Kavramı

Bilindiği üzere deprem herhangi bir zaman dilimi içerisinde gerçekleşebilir, öngörülemez, kontrol edilemez ve durdurulamazdır. Bu sebepten dolayı deprem ile iç içe yaşamak kaçınılmazdır. Deprem, birdenbire zeminden başlayıp temele ulaşan ve bütün binayı yer hareketi ivmelerinin neden olduğu titreşimler ile etkisi altına alan, binaya hasar veren kuvvetler oluşturan bir doğa olayıdır. Binaların tasarımı yapılırken de depremin yarattığı bu kuvvetlerin göz önüne alınması gerekmektedir [5], [6].

Deprem yer hareketinin etkisi altında binalarda oluşan deprem kuvvetlerinin şiddeti aşağıdaki parametrelere bağlıdır;

- Bina kütlesi,
- Bina periyodu,
- Deprem yer ivmesinin mutlak en büyük değeri.

Bina periyodu ise; temel olarak binanın kütlesine ve rijitliğine bağlıdır.

$$T = 2\pi \sqrt{m/k} \quad (2.1)$$

Sismik aktivite yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde, şiddetli deprem yer hareketlerine karşı hasar almayacak, ortalama yüksekliklerde ve sabit temelli binaların tasarımını geleneksel yöntemlerle yapmak, öngörülen maliyetlerin çok üzerindedir.

Sismik izolasyon, uygulandığı binanın deprem yer hareketine karşı dayanımı arttırmak yerine, yer hareketinin binadan talebini azaltmaya yönelik olan yeni bir depreme karşı dayanıklı bina tasarımı yöntemidir. [7].

Yeni ve teknolojik bir tasarım yaklaşımı olan sismik izolasyon kavramı, binanın belirli seviyelerine eklenen aygıtlar ile ek sönüm kazandırıp, kuvvetli deprem yer hareketleri sırasında sismik kuvvetleri izolasyon seviyesi üzerindeki yapısal elemanlarda sınırlandırarak elastik ötesi davranışı izolasyon birimi üzerinde yoğunlaştırmaktır. Sismik izolasyon tasarım yaklaşımı sayesinde, izolasyon birimi üzerindeki yapısal elemanlarda elastik bir davranış sağlamakla birlikte yapısal olmayan elemanlar üzerinde etki edebilecek olan kat ivmelerini de sınırlandırmaktadır [8].

Sismik izolasyonlu binalarda kuvvetli deprem yer hareketlerine karşı bina rijit bir kutu yani tek serbestlik dereceli bir yapı gibi davranacağından binanın içindeki yapısal olmayan elemanlar ve binadaki sakinler güvende kalır ve şiddetli yer hareketinin gerçekleştiği sırada ve hemen sonrasında bile bina faaliyetlerine devam etmektedir [9].

Sismik izolasyon uygulanan binanın doğal hâkim titreşim periyodu uzun periyot bölgesine doğru artmaktadır. Bu sayede de kısa periyot bölgesinde bulunan yapısal olmayan elemanlara yükseltgenmiş bir etki etmeyerek bu elemanların deprem güvenliği de sağlanmaktadır [10].

Kısaca sismik izolasyonun avantajları aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

- Konvansiyonel bina tasarımına nazaran sismik izolasyonlu binaların yapısal elemanlarında oluşacak iç kuvvetler daha az olur ve az şiddetli deprem yer hareketlerinde bile yapı elemanları daha az zorlanırlar.
- Çok büyük deprem yer hareketleri sırasında bile kamu tarafından önemli olan sismik izolasyon yöntemi uygulanmış sağlık ocakları, acil yardım merkezleri ve hastane gibi binalarda acil müdahalelere devam edebilmektedir.
- Yine çok büyük deprem yer hareketi sonrası sismik izolasyonlu önemli binalar hemen kullanılabilirler.

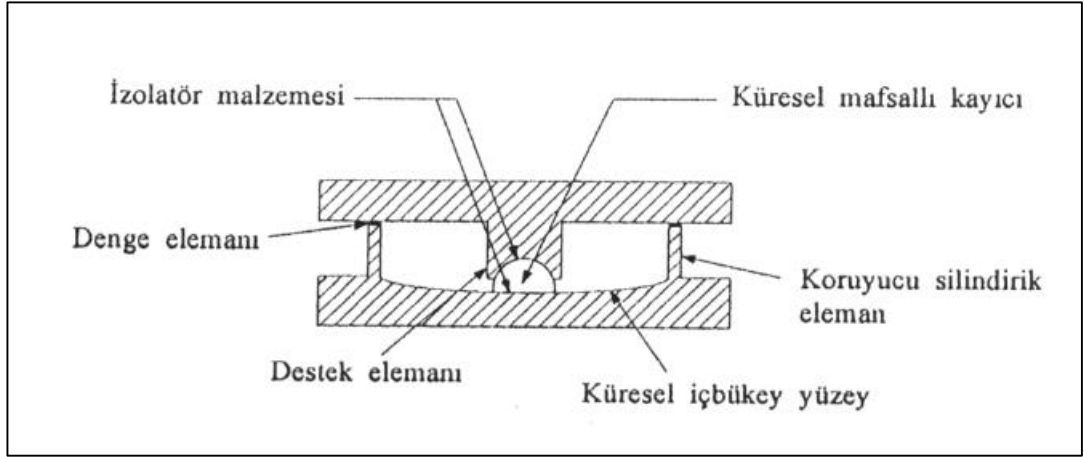
- Sismik izolasyon birimi üstündeki bina, izolasyon birimine göre daha rijit olduğu için bina içerisinde yapısal olmayan elemanların hasar almaması, korunması sağlanmıştır.
 - Sismik izolasyon uygulaması yapılmış üretim yapan yapılarda deprem sonrası hemen üretime devam edilebilmektedir.
- Sismik izolasyon birimi üzerindeki binanın deprem yer hareketi etkilerinden etkilenmesi engellenmektedir [6].

2.6.1. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli İzolasyon Birimi

Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon sistemlerinde eğri yüzeyinden dolayı belirli bir mertebenin üzerindeki kesme kuvvetlerinin iletilmesi sağlanmaktadır ve bu kesme kuvvetlerinin üstyapıya yansıtılması oldukça engellenmiştir. Bu tip sismik izolasyon birimi çok az miktarda sürtünme katsayısı kullanılarak az bir taban kesme kuvvetiyle tasarlanabilmektedir. Kuvvetli bir deprem yer hareketi sırasında izolasyon birimi üzerindeki üstyapıya etki eden kesme kuvvetinin büyüklüğü depreme bağlı değildir. Buna sebep olan şey ise, izolasyon sisteminde kullanılan sürtünme katsayısıdır [11].

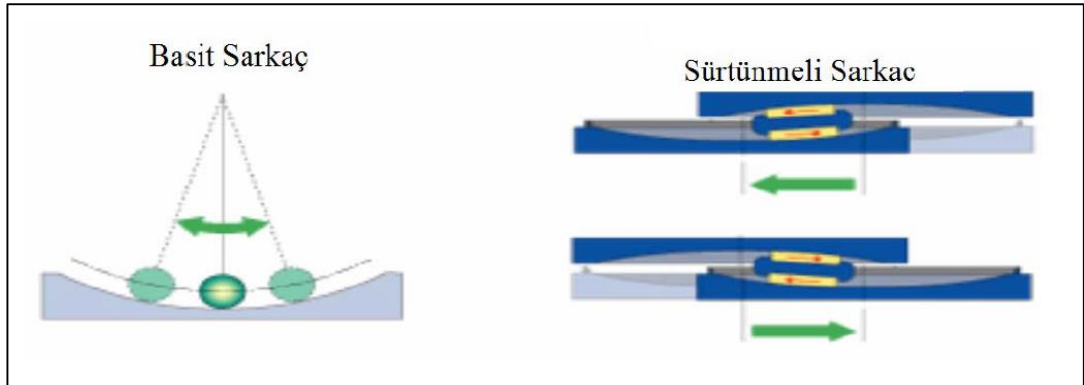
Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi çelik mesnetlerdir. Paslanmaz çelik malzemeden yapılmış, yüksek yükleme kapasitesi ile düşük sürtünmeli olan bu izolasyon biriminin iç bükey yatak üzerinde kayıcılığı sağlanmıştır [7] (Şekil 2.12).

Kuvvetli deprem yer hareketi sırasında üstyapıyı başlangıç pozisyonuna geri getirecek izolasyon birimi içerisinde geri getirici bir kuvvetin olması gerekmektedir. Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimlerinde ise bu geri döndürücü kuvvet küresel iç bükey yüzeyi sayesinde sağlanmaktadır. Bu izolasyon sisteminin geometrisi, merkezleme eylemi üreten paslanmaz çelik küresel iç bükey bir yüzeyden ve yüzey içerisinde hareket edecek kayıcı bir mafsaldan oluşmaktadır.



Şekil 2.12: Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi kesiti.

Kuvvetli bir deprem yer hareketi sırasında bu üstyapı, izolasyon birimi üzerinde kaymaktadır. Sürtünme kuvvetini de göz önüne alarak üstyapı, bir basit sarkaç hareketi yapmaktadır [11] (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon biriminin çalışma prensibi.

Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon biriminin bir diğer çalışma mekanizması ise iç bükey yüzeydeki sürtünme kuvveti sayesinde deprem yer hareketinin enerjisini yutmaktır. İzolasyon birimi üzerindeki ağırlık ve yanal rijitlik parametreleri ile bağlantılıdır. Bu sebeple, binanın ağırlık merkezi ve yanal rijitlik merkezi çakışmalıdır. Bundan dolayı da binanın burulma hareketi ortadan kalkmış olur [7].

3. SİSMİK İZOLASYONLU BİNALARDA YAPISAL OLMAYAN ELEMANLARIN TASARIMI

3.1. Sismik İzolasyon ile İlgili Şartnamelerin Gelişimi

3.1.1. ABD’deki Şartnamelerin Gelişimi

ABD’deki sismik izolasyon araştırmalarının artması, bu konu hakkında bilincin oluşması ve izolasyon sistemleri için malzemelerinin gelişimi sonrası sismik izolasyon kavramı kısa bir süre içerisinde dikkat çekmeye başlamıştır. Daha önce de anlatıldığı gibi üstün sismik performansa sahip olan sismik izolasyon yöntemi birçok projede kullanılmaya başlanmış ve popülerliğinin artmasıyla birlikte de bir denetleme mekanizmasına yani otoriteye ihtiyaç duyulmuştur. Bu sayede mevcut bina şartnamelerine sismik izolasyon tasarımı hakkında gereksinimleri karşılamak için ilaveler yapılmaya başlanmıştır.

ABD’de “Mavi Kitap” olarak da adlandırılan “Recommended Lateral Design Requirement and Commentary” şartnamesi 1985 yılında yayınlanmıştır.

Ayrıca “Sarı Kitap” olarak bilinen “Tentative Seismic Isolation Design Requirements” şartnamesi 1986 yılında mavi kitabın 4. baskısına ek olacak şekilde yayınlanmıştır. Bu şartname kapsamında kullanılması ön görülen deprem yükleri 50 yıllık periyoda sahip aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyine göre baz alınmıştır. Çağın gereksinimlerine göre birçok revizeye uğrayan sismik izolasyon ile ilgili kurallar “Uniform Building Code’a ek bölüm olarak kabul edilmiş ve son geçerli durumu ise 1997 UBC’de yayınlanmıştır [7].

3.1.2. Japonya’daki Şartnamelerin Gelişimi

Japonya bilindiği üzere sismik aktivitesi en yüksek olan ülkelerin başında gelmektedir. Bu sebepten dolayı Japonya, sismik izolasyon gibi bina tasarımı yönteminin bulunması, geliştirilmesi ve uygulanmasında en öncü ülkelerden biridir. Uygulamanın bu kadar çok olduğu bir ülkede de bir karar ve onay mekanizmasının olması kaçınılmazdır. Japonya bakanlığına bağlı bir oluşum içerisinde ortalama 20

tane konusunda uzman profesörden oluşmak kaydıyla onay mekanizması için farklı komiteler kurulmaktadır. Betonarme binalar, çelik binalar, yüksek binalar ve sismik izolasyonlu binalar için 4 tane komite bulunmaktadır. Bu komiteler belirli periyotlar halinde toplanarak gelen tasarım başvurularını incelemekte ve değerlendirmektedir.

Japonya’da belirli bir şartnamenin olmamasıyla birlikte, bu komiteler ve Japonya bakanlığına bağlı kurumlar tarafında bina tasarımı ile ilgili sürekli tavsiye niteliğinde raporlar yayınlanmaktadır [7].

3.1.3. Yeni Zelanda’daki Şartnamelerin Gelişimi

ABD ve Japonya gibi Yeni Zelanda da sismik aktivitenin fazla olduğu ülkelerden biridir. Fakat sismik izolasyon ile ilgili hususlar, Yeni Zelanda’nın şartnamelerinde sadece betonarme binalar için 1995 yılında yayınlanan NZS3101’in 4.4.12. numaralı maddesinde yer almaktadır. Bu maddeye göre;

- Kullanılacak olan enerji sönümleme cihazlarının daha önceden performans testlerinin yapılması ve performanslarının kanıtlanması gerekmektedir.
- Binaya uygun olan deprem tasarım sınıfları üzerinde gerekli çalışmalar yapılması gerekmektedir.
- Yapısal olan elemanların akmaya karşı dayanımları, enerji sönümleyici cihazların olmadığı konvansiyonel sismik bina tasarımı anlayışına göre inşa edilecek olan binalar için belirtilen seviyelerde olması gerekmektedir.
- İnşa edilecek olan binanın yapısal elemanlarının, tasarım depreminden daha kuvvetli bir deprem yer hareketi altında kontrollü bir şekilde deforme olacak biçimde detaylandırılması gerekmektedir [7].

3.1.4. Türkiye’deki Şartnamelerin Gelişimi

Bilindiği üzere Türkiye de sismik aktivite oranının yüksek olduğu, şiddetli depremlerin olduğu ve her gün deprem gerçeği ile iç içe yaşandığı bir bölgede bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı devlet tarafından 1947 yılından beri belirli periyotlar ile güncellenerek birçok deprem yönetmeliği yayınlanmıştır. Yakın tarihte meydana gelen maddi ve manevi kayıplara yol açmış yıkıcı depremlerden sonra bu

yönetmeliklerin önemi daha çok anlaşılmıştır. Gelişen teknoloji, artan talep ve farklı tasarım yöntemlerinin gelişimiyle birlikte depreme karşı sismik izolasyon tasarımı yöntemleri, 2018 yılında güncellenip yürürlüğe giren “Türk Bina Deprem Yönetmeliği” Bölüm 14 ile birlikte yayınlanmıştır.

3.2. Yapısal Olmayan Elemanların Tasarımı ile İlgili Şartnameler

Binaların yapısal elemanları ile ilgili deprem güvenliği hakkında kapsamlı yönetmelikler ve şartnameler mevcutken, tesisatlar ile ilgili sismik koruma için ABD kökenli yönetmelikler ön plandadır. ABD kökenli bazı yayınlar aşağıdaki gibidir;

- FEMA 412 Mekanik Ekipmanlarda Sismik Sınırlandırma, (2002)
- FEMA 413 Elektrik Ekipmanlarda Sismik Sınırlandırma, (2004)
- FEMA 414 Hava Kanallarında ve Borularda Sismik Sınırlandırma, (2004).

Ayrıca, 2018 yılında yürürlüğe giren TBDY kapsamında da ülkemizde yapısal olmayan elemanların deprem güvenliği ile ilgili tasarım kuralları belirlenmiştir [12].

3.3. TBDY-2018’e Göre Deprem Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu bölüm kapsamında TBDY-2018’e göre sismik izolasyonlu binalarda deprem parametrelerinin belirlenmesine ilişkin esaslar yönetmelikte belirtilen kurallar çerçevesinde ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır. Deprem yer hareketi ivmeleri ile bu ivmelere bağlı deprem yer hareketi spektrumları belirlenirken iki farklı yol kullanılabilmektedir.

- Standart Deprem Yer Hareketi Spektrumu
- Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu

3.3.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyi Tanımı

TBDY-2018 kapsamında sismik risk düzeyinin belirlenmesi için dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

- DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi

50 yıllık zaman dilimi içerisinde aşılma olasılığının %2 ve buna karşılık gelen tekrarlama periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketi olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca bu deprem yer hareketi düzeyi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

- DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi

50 yıllık zaman dilimi içerisinde aşılma olasılığının %10 ve buna karşılık gelen tekrarlama periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem hareketi olarak nitelendirilmektedir. Ayrıca bu deprem yer hareketi düzeyi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

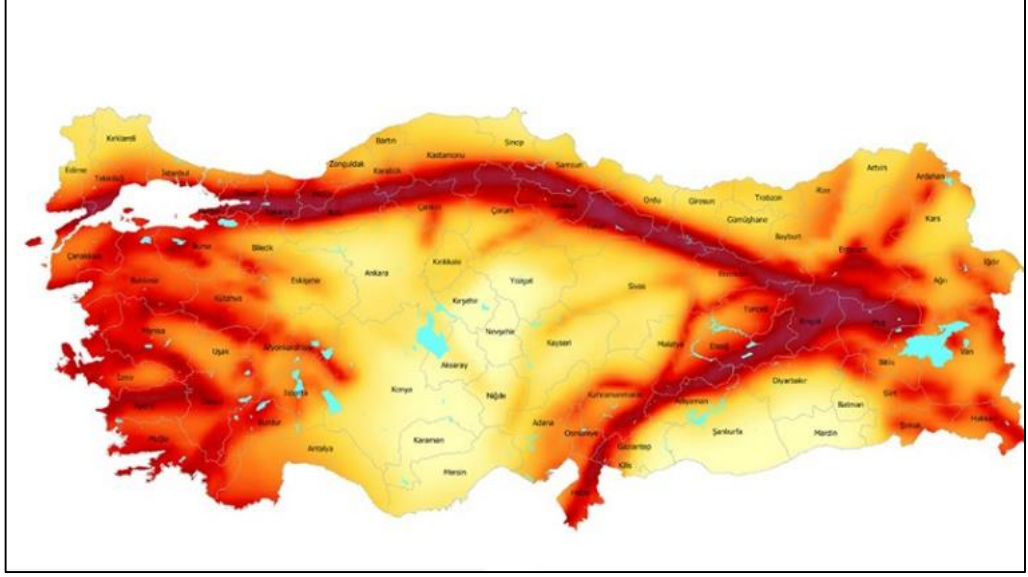
- DD-3 Deprem Yer Hareketi Düzeyi

50 yıllık zaman dilimi içerisinde aşılma olasılığının %50 ve buna karşılık gelen tekrarlama periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketi olarak nitelendirilmektedir.

- DD-4 Deprem Yer Hareketi Düzeyi

50 yıllık zaman dilimi içerisinde aşılma olasılığının %68 ve buna karşılık gelen tekrarlama periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketi olarak nitelendirilmektedir.

Yukarıda da açıklamalarıyla belirtilen dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile belirlenmektedir (Şekil 3.1). Bu tehlike haritaları ile birlikte Türkiye sınırları içerisinde binaya etkiyecek standart deprem yer hareketi spektrumları bulunabilmektedir [13].



Şekil 3.1: Türkiye deprem tehlikesi haritası.

3.3.2. Standart Deprem Yer Hareketi Spektrumu

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları yerel zemin sınıfı bilgileriyle birlikte kullanılarak harita spektral ivme katsayılarına ve tasarım spektral ivme katsayılarına ulaşılabilmektedir. Deprem yer hareketi spektrumları, herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayıları ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart bir şekilde tanımlanmaktadır.

Boyutsuz harita spektral katsayıları;

- Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s
- 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1

olmak üzere iki şekilde tanımlanmaktadır. Tanımlanan harita spektral ivme katsayıları, yerel zemin etki katsayıları ile birlikte hesaplanarak tasarım spektral ivme katsayıları olan S_{DS} ve S_{D1} ’e dönüştürülürler.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_s F_s \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Tablo 3.1 kapsamında belirtilen özellikler ile birlikte, TBDY-2018'e göre 6 farklı zemin sınıfı vardır. Bu zemin sınıfları ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olarak adlandırılmaktadır.

Tablo 3.1: Yerel zemin sınıfları.

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		(V _s) ₃₀	(N ₆₀) ₃₀	(c _u) ₃₀
		[m/s]	[darbe /30 cm]	[kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	<i>Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya PI > 20 ve w > % 40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (c_u < 25 kPa) içeren profiller</i>	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşılabılır zeminler, yüksek derecede hassas killler, göçebılır zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriğı yüksek killler, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI > 50) killler, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killler.			

5 farklı yerel zemin sınıfları için yerel zemin etki katsayıları F_s ve F_1 sırası ile, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları.

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	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.</i>					

Tablo 3.3: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları.

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
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	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.</i>					

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi cinsinden tanımlanmıştır (Şekil 3.2).

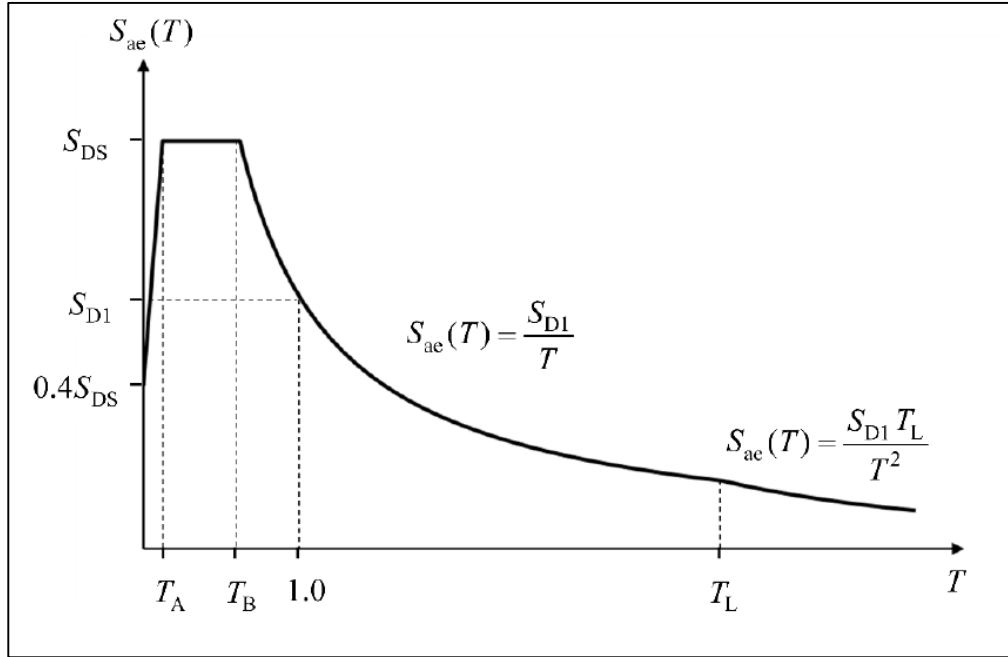
$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Yukarıda da belirtilen yatay tasarım spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B , tasarım spektral ivme katsayılarına bağlıdır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.3)$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Sabit yer değıştirme bölgesine geçiş periyodu olarak adlandırılan T_L , 6 saniye olarak alınacaktır [13].



Şekil 3.2: Yatay elastik tasarım spektrumu.

3.3.3. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu

Önceki bölümlerde de bahsedilen Deprem Tehlike Haritaları yardımıyla, belirli bir koordinatın yerel zemin sınıfıyla birlikte herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri belirlenmektedir. Fakat sismik izolasyonlu bina tasarımı gibi bazı özel durumlar için sahaya özel deprem tehlike analizleri ile sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları tanımlanabilmektedir.

Ayrıca, sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatları, hiçbir zaman deprem tehlike haritaları ile tanımlanan standart tasarım spektrumunun ordinatlarının %90'ından daha küçük olmayacak şekilde tanımlanmalıdır [13].

3.4. TBDY-2018 Kapsamında Sismik İzolasyonlu Binaların Tasarım Esasları

3.4.1. Bina Önem Katsayısı

Tablo 3.4: Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar	1.2
BKS = 3	Diğer binalar	1.0

Tablo 3.4’de bina önem katsayıları ile bunlara bağlı olan bina kullanım sınıfları verilmiştir. TBDY-2018’e göre de sismik izolasyon uygulanan binalar için bina önem katsayısı $I=1$ olarak belirlenmiştir [13].

3.4.2. Deprem Tasarım Sınıfı

DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan kısa periyot tasarım ivme katsayısına göre deprem etkisi altında tasarıma esas alınacak deprem tasarım sınıfları Tablo 3.5’de belirtilmiştir [13].

Tablo 3.5: Deprem tasarım sınıfları.

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

3.4.3. Bina Performans Hedefleri

TBDY-2018 kapsamında binalar için hedeflenmesi gereken performans düzeyleri aşağıda açıklamaları ile birlikte belirtilmiştir.

- Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı durumlar için tanımlanmaktadır.

- Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Hedeflenen bu performans düzeyinde ise, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, başka bir deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.

- Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Kontrollü hasar performans düzeyi, can güvenliğinin sağlanması amacıyla bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve onarımı mümkün olan hasar düzeyi olarak tanımlanmaktadır.

- Göçmenin Önlemesi (GÖ) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyinde ise, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ve ağır hasarların meydana gelmesi ile binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir [13].

Yeni yapılacak depreme dayanıklı sismik izolasyonlu binalarda üstyapı ve altyapı için belirtilen performans hedefleri ile tasarım yaklaşımları sırasıyla Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.6: Yeni yapılacak sismik izolasyonlu binalar – Üstyapı.

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme Tasarım Yaklaşımı
DD-2	SH	DGT	KK	DGT
DD-1	—	—	—	—

Tablo 3.7: Yeni yapılacak sismik izolasyonlu binalar – Altyapı.

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme Tasarım Yaklaşımı
DD-2	—	—	—	—
DD-1	KK	ŞGDT–DGT	KK	ŞGDT–DGT

3.4.4. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

Sismik izolasyonlu binaların üstyapı ve tasarımında kullanılacak olan taşıyıcı sistem davranış katsayıları R ve dayanım fazlalığı katsayıları D performans hedeflerine göre değerleri aşağıdaki gibidir.

Sismik izolasyon birinin altında kalan altyapı için $R=1$ olarak göz önüne alınmalıdır [13].

Tablo 3.8: Sismik izolasyonlu binalar için deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları.

Performans Hedefi	R	D
KK	1.2	1.2
SH	1.5	1.5

3.4.5. Etkin Kesit Rijitlikleri

TBDY-2018 kapsamında karşılaşılan yeni kavramlardan biri de betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin modellenmesinde kullanılan etkin kesit rijitliği çarpanıdır.

Tablo 3.9’de depreme dayanıklı sismik izolasyonlu bina tasarımı için kullanılacak olan etkin kesit rijitliği çarpanları gösterilmiştir [13].

Tablo 3.9: Sismik izolasyonlu bina tasarımı için etkin kesit rijitliği çarpanları.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma
Perde	0.75	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	0.80
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	1.00	1.00
Bodrum perdesi	1.00	1.00
Döşeme	0.50	1.00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0.30	1.00
Çerçeve kirişi	0.70	1.00
Çerçeve kolonu	0.90	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.80	1.00

Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’de de görüldüğü üzere, TBDY-2018 kapsamında yeni yapılacak depreme dayanıklı sismik izolasyonlu binaların tasarımı için iki farklı tasarım yöntemi kullanılmaktadır. Bu tasarım yöntemleri aşağıdaki gibidir.

- Dayanıma Göre Tasarım (DGT)
- Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT)

TBDY-2018’e göre depreme dayanıklı sismik izolasyonlu bina tasarımı yönteminde DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için çeşitli analizlerin yapılması zorunlu tutulmuştur.

3.5. Sismik İzolasyonlu Binalarda Dayanıma Göre Tasarım Yöntemi

Yeni yapılacak depreme dayanıklı sismik izolasyonlu binaların tasarımı için kullanan yöntemlerden biri de DGT'dir. Dayanıma göre tasarım yöntemi, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7'de de görüldüğü üzere binanın sismik izolasyon birimi üzerindeki üstyapının tasarımı ve sismik izolasyon birimi altında kalan altyapı için kullanılmaktadır.

Ayrıca, statik analiz yöntemi olan DGT, öntasarım aşamasında ve izolasyon sistemi için bazı durumlarda ve kontrollerin yapılmasında kullanılmaktadır.

Depreme dayanıklı sismik izolasyonlu binaların analizi için kullanılan DGT yaklaşımı aşağıdaki gibi iki farklı yöntemle ele alınabilmektedir.

- Etkin Deprem Yüğü Yöntemi
- Mod Birleştirme Yöntemi

3.5.1. Etkin Deprem Yüğü Yöntemi

Aşağıda tanımlamaları yapılan şartların tümünün sağlanması durumunda, sismik izolasyonlu üstyapının ve altyapının deprem hesabı etkin deprem yüğü yöntemi ile yapılabilmektedir.

- Bina ZA, ZB, ZC veya ZD türü zeminde bulunmaktadır.
- Sismik izolasyonlu binanın DD-1 deprem yer hareketi etkisi altındaki etkin periyodu 4.0 saniyeden küçüktür.
- İzolasyon sistemi üzerindeki binanın kat adedi en fazla 4, izolasyon birimi üzerindeki toplam yüksekliği en fazla 20 metredir.
- İzolasyon birimlerinde kalkma veya çekme oluşmamaktadır.
- Etkin sönüm oranı %30 değerinin altındadır.
- İzolasyon sistemi üzerindeki binanın her katında burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 2.0$ koşulu sağlanmaktadır ve binada B2 türü düzensizlik yoktur.
- Bnının düşey doğrultudaki titreşim periyodu $T_v \leq 0.1s$ 'dir.

Yukarıda verilen birinci, ikinci ve dördüncü maddelerin koşullarının sağlandığı durumlarda üstyapı ve altyapı Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanabilir.

Sismik izolasyon sisteminin oluşturduğu efektif sönüm katsayıları DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için η_M ve DD-2 deprem yer hareketi için η_D olarak ifade edilmektedir.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \quad (3.4)$$

Burada ξ , DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketleri düzeylerindeki sismik izolasyon birimi yerdeğiştirmeleri için hesaplanan etkin sönüm yüzdesidir.

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine karşı gelen bina etkin periyotları sırasıyla T_M ve T_D ile ifade edilmektedir. Aşağıdaki formülde W sismik izolasyon birimi üzerindeki binanın ağırlığını, K izolasyon sisteminin nominal etkin rijitliğini, g ise yerçekimi ivmesini temsil etmektedir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}} \quad (3.5)$$

TBDY-2018 kapsamında depreme dayanıklı sismik izolasyon sistemleri için hesaplanması gereken en önemli parametre yerdeğiştirmedir. DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanacak olan yerdeğiştirme D_M , DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için ise D_D olarak belirtilmektedir.

$$D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_D^2 \eta_D S_{ae}(T_D) \quad (3.6)$$

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketleri düzeylerindeki izolasyon birimi için hesaplanacak toplam yerdeğiştirme sırasıyla D_{TM} ve D_{TD} olarak ifade edilmektedir.

$$D_T = D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (3.7)$$

Eğer DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi için sistemin gerçek burulma rijitliği hesaplanıp yukarıdaki formül ile hesaplanan değerlerden küçük ise, kullanılmasına izin verilebilmektedir. Fakat büyük ise maksimum $1.1D_{TM}$ ve $1.1D_{TD}$ değerlerini geçmemelidir.

DD-1 ve D-2 deprem yer hareketi düzeyinde, üstyapı ve sismik izolasyon sisteminin altında kalan elemanların tasarımı için kullanılacak olan tasarım kuvvetleri sismik izolasyon yerdeğiştirmesine bağlıdır.

$$V = \frac{S_{ae}(T_D)W\eta_D}{R} \quad (3.8)$$

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde üstyapıya etki etmek için hesaplanan kuvvetler aşağıdaki formüle uygun olacak bir şekilde katlara dağıtılacaktır.

$$F_s = \frac{Vw_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (3.9)$$

Sismik izolasyonlu binaların üstyapılarındaki görelî kat ötelenmeleri sınırları farklı performans hedefleri için farklı değerler almaktadır.

- Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesi için $0.005h_i$
- Sınırlı Hasar (SH) performans seviyesi için $0.01h_i$
- Kontrollü Hasar (KH) performans seviyesi için $0.015h_i$

Depreme dayanıklı sismik izolasyonlu binalarda bırakılacak deprem derzlerinin boyutlarının belirlenmesinde, izolasyon sisteminin toplam en büyük yerdeğiştirmesine ek olarak görelî kat ötelemeleri de dikkate alınmalıdır. Derz genişliği, derzin her iki tarafındaki binalar için hesaplanan mutlak en büyük yerdeğiştirmelerin toplamında küçük olmamalıdır [13].

3.5.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan yerdeğiştirmeler, binada düzensizlik bulunmaması halinde etkin deprem yükü yöntemine göre hesaplanan değerlerin

%80'inden, binada A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden en az birinin bulunması halinde ise etkin deprem yükü yöntemine göre hesaplanan değerlerin %90'ından az olmamalıdır.

Ayrıca, mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan üstyapı ve altyapı kuvvetleri binada düzensizlik bulunmaması halinde etkin deprem yükü yöntemine göre hesaplanan değerlerin %80'inden, binada A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden en az birinin bulunması halinde ise etkin deprem yükü yöntemine göre hesaplanan değerlerin %90'ından az olmamalıdır.

Mod birleştirme yöntemi kapsamında etkin sönüm oranı %30 değeri ile sınırlı kalmalıdır [13].

3.6. Sismik İzolasyonlu Binalarda Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım Yöntemi

TBDY-2018 kapsamında depreme dayanıklı sismik izolasyonlu binaların özellikle izolasyon birimi için şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımın kullanılması gerekmektedir. ŞGDT yaklaşımında zaman tanım alanında analiz yöntemi ön plana çıkmaktadır. Bu sebeple, yönetmelik ile birlikte kuralları belirlenmiş, dinamik analiz olan zaman tanım alanında analiz yönteminin sismik izolasyonlu binalar için kullanılması istenmiştir.

3.6.1. Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artırımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi göz önüne alınır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap için her deprem yer hareketi seviyesinde ve her doğrultuda en az on bir kayıt çifti kullanılmalıdır. İlgili deprem seviyesinde ve doğrultuda yapılacak hesaplarda elde edilen en büyük değerlerin ortalamaları tasarıma esas değer olarak göz önüne alınmalıdır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizi sonucu elde edilecek sismik izolasyon birimi yerdeğiştirmeleri, her bir zaman adımında meydana gelen

birbirine dik doğrultudaki yerdeğıştirmelerin vektörel bileşkesi olarak hesaplanmalıdır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile hesaplanan yerdeğıştirmeler, etkin deprem yükü yöntemine göre hesaplanan değerlerin %80'inden az olmamalıdır.

Ayrıca, Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile hesaplanan üstyapı ve altyapı kuvvetleri binada düzensizlik bulunmaması halinde etkin deprem yükü yöntemine göre hesaplanan değerlerin %80'inden az olmamalıdır.

Bu dinamik analiz yöntemi için kullanılacak olan deprem kayıtlarının seçimi sahaya uygun yapılmalı ve ölçeklendirilmelidir [13].

3.6.2. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılmalıdır. Depreme dayanıklı sismik izolasyonlu binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtların kullanılması gerekmektedir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde en az on bir deprem yer hareketi takımı kullanılmalıdır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin X ve Y asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilmelidir. Daha sonra da ivme kayıtlarının eksenleri 90^0 döndürülerek hesap tekrarlanacaktır.

TBDY-2018 kapsamında deprem kayıtları ölçeklendirilirken iki farklı ölçeklendirme yöntemi belirtilmiştir.

- Basit Ölçeklendirme Yöntemi
- Spektral Uyuşum Yöntemi

Depreme dayanıklı sismik izolasyonlu binalarda zaman tanım alanında doğrusal olmayan bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının $0.5 T_M$ ile $2.5 T_M$ periyotları arasındaki genliklerinin, standart deprem

yer hareketi spektrumuna göre veya sahaya özel deprem spektrumuna göre tanımlanan tasarım spektrumlarının aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralı göz önüne alınarak deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilmelidir.

Üç boyutlu hesap için seçilen her bir kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumlarının ortalamasının $0.5 T_M$ ile $2.5 T_M$ arasındaki genliklerinin, standart deprem yer hareketi spektrumuna göre veya sahaya özel deprem spektrumuna göre tanımlanan tasarım spektrumlarının aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3'ten daha küçük olmaması kuralı göz önüne alınarak deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilmelidir. Ayrıca her iki deprem bileşeni için aynı ölçek katsayısı kullanılmalıdır.

Sahaya özel ve uygun seçilmiş deprem kayıtları, spektral uyuşum yöntemi kullanılarak standart deprem spektrumuna veya sahaya özel deprem spektrumuna dönüştürülebilir. Spektral uyuşum sayesinde dönüştüren deprem yer hareketi kayıtlarının spektrumlarının ortalamaları, tüm periyot değerleri için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmayacaktır [13].

3.7. TBDY-2018'e Göre Eğri Yüzeyli Sürtünmeli İzolasyon Birimi Tasarımı

Daha önce de bahsedildiği gibi TBDY-2018 kapsamında, depreme dayanıklı sismik izolasyonlu binalarda tasarım için iki farklı deprem yer hareketi düzeyi kullanılmaktadır. Konvansiyonel bina tasarım ilkesine nazaran sismik izolasyonlu bina tasarımında bina önem katsayısı $I = 1$ alınmalıdır.

Sismik izolasyon birimi sisteminin en büyük yerdeğiştirme hesabı DD-1 deprem yer hareketi düzeyinde izolasyon birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri ile, üstyapıya etki edecek en büyük yatay kesme hesabı için ise DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde izolasyon birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri ile yapılmalıdır.

Hesaplarda kullanılacak olan izolasyon birimleri parametrelerinin üst sınır ve alt sınır değerleri, izolasyon birimi parametreleri nominal değerlerinin sırasıyla $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} katsayıları ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Bu değerler Tablo 3.10'deki veriler kullanılarak aşağıda belirtilen formüller ile hesaplanabilir.

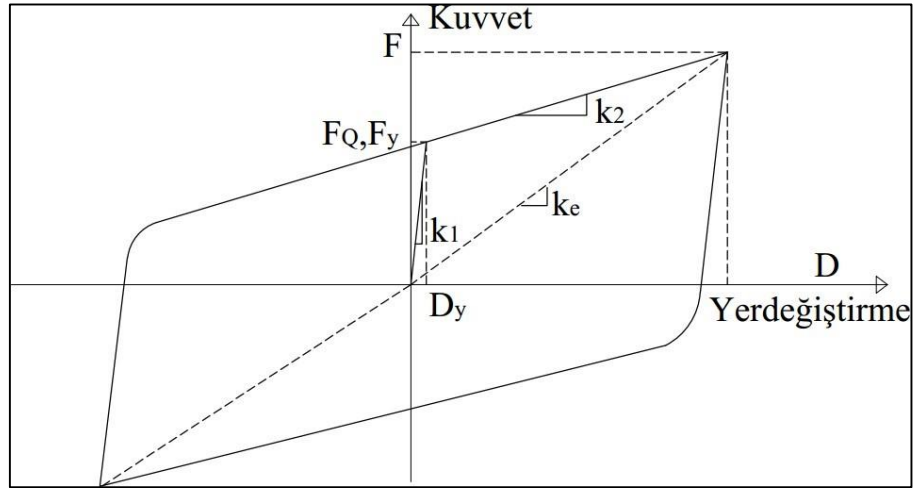
$$\begin{aligned}\lambda_{üst} &= [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deney,üst}\lambda_{spek,üst} \\ \lambda_{alt} &= [1 - 0.75(\lambda_{ae,alt} - 1)]\lambda_{deney,alt}\lambda_{spek,alt}\end{aligned}\quad (3.10)$$

Tablo 3.10: Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimleri için Alt ve Üst sınır öneri değerleri.

	μ	
	Alt	Üst
λ_{ae}	1	1.2
λ_{deney}	0.7	1.3
λ_{spek}	0.85	1.15

Tablo 3.10’da belirtilen μ eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi etkin sürtünme katsayısını belirtmektedir. λ_{ae} yaşlanma ve çevresel etkiler, λ_{deney} yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler ve λ_{spek} üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir.

Şekil 3.3’da sürtünmeli eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi için kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi belirtilmiştir.



Şekil 3.3: Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimlerinin basitleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi.

Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı aşağıda belirtildiği gibi etkin sürtünme katsayısı μ_e ile izolasyon birimi üzerine etkiyen düşey kuvvetin çarpımına eşittir.

$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad (3.11)$$

Başlangıç rijitliği, hesaplarda çok yüksek bir değer olan sanal bir rijitliktir. İkincil rijitlik aşağıdaki denklemde belirtildiği gibi düşey kuvvetin eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi kayma yüzeylerinin etkin eğrilik yarıçapına bölünmesi ile belirlenmektedir.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad (3.12)$$

Verilen bir yükleme döngüsündeki etkin rijitlik aşağıda belirtildiği gibi söz konusu döngüde uygulanan maksimum yatay kuvvetin ulaşılan maksimum yatay yerdeğiştirmeye bölünmesi ile elde edilmektedir.

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \quad (3.13)$$

Son olarak, etkin sönüm oranı da aşağıda belirtilen denklem ile hesaplanmaktadır [13].

$$\beta_e = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + D/R_c} \right] \quad (3.14)$$

3.7.1. Tasarımda Kullanılacak Yük Birleşimleri

Üstyapı tasarımında kullanılacak olan ve deprem etkilerini içeren yük birleşimleri aşağıdaki verilmiştir [13].

$$\begin{aligned} G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \\ 0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \end{aligned} \quad (3.15)$$

3.8. Yapısal Olmayan Elemanların Tasarımı

Yapısal olmayan elemanların deprem güvenliği açısından analizleri iki farklı yöntemle yapılmaktadır. Birincisi, yapı ve yapısal olmayan elemanlar ayrı ayrı analiz edilip sonuçlar ayrı bir şekilde kontrol edilebilir. İkincisi, yapı ile yapısal olmayan elemanların birleşik bir modeli oluşturularak analizler yapıp sonuçlar birleşik bir şekilde kontrol edilebilir.

- Dinamik Analiz Yöntemi
- Eşdeğer Statik Analiz Yöntemi

Bu iki farklı yöntemin de birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Örneğin; ilk analiz yönteminde yapı ile yapısal olmayan eleman arasındaki etkileşimler göz ardı edilmektedir.

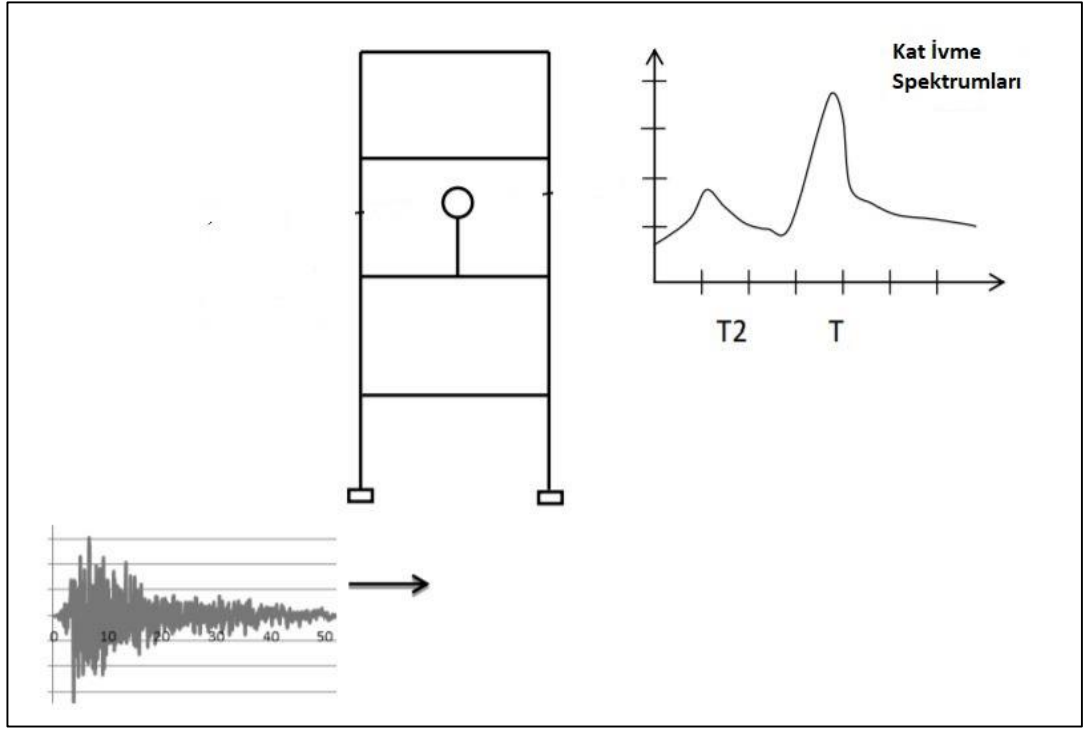
Kısaca, yapısal olmayan elemanların yapı modeliyle birlikte etkileşimini de göz önüne alarak gerçek depremler altındaki deprem davranışı dinamik analiz yöntemi ile daha sağlıklı bir şekilde incelenmektedir [1].

3.8.1. Dinamik Analiz Yöntemi

Bu yöntemde bina modeli oluşturulurken yapısal olmayan elemanlar da gerçekçi bir şekilde bina modeli üzerinde modellenmelidir. Modellemeler yapıldıktan sonra da bina konumunun depremselliğine uygun ve ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtları ile zaman tanım alanında dinamik analizlerin yapılması gerekmektedir [1].

Farklı deprem yer hareketi düzeyleri için 11 çift deprem ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi TBDY-2018' göre yapılmıştır. Bu çalışmada, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için seçilecek ve uygun bir şekilde ölçeklendirilecek deprem ivme kayıtları, yapısal olmayan elemanların dinamik analizinde kullanılacaktır.

Şekil 3.4'de birleşik bina modeli ve yapısal olmayan elemanların dinamik analizi şematik bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Birleşik bina modeli ve yapısal olmayan elemanların dinamik analizinin şematik gösterimi.

3.8.2. TBDY-2018'e Göre Yapısal Olmayan Elemanların Eşdeğer Statik Analiz Yöntemi

TBDY-2018 kapsamında yapısal olmayan eleman veya donanımın ağırlık merkezine yatay olarak etkiyen eşdeğer deprem yükü aşağıdaki formül ile belirlenmektedir.

$$F_{ie} = \frac{m_e A_{ie} B_e}{R_e} \quad (3.16)$$

Bu formülde m_e yapısal olmayan elemanın çalışır durumdaki kütlesi, A_{ie} DD-2 deprem yer hareketi düzeyi altında i 'nci kattaki yapısal olmayan elemanın döşemeye bağlandığı bölgeye etkiyen en büyük toplam ivmeyi, B_e büyütme katsayısı ve R_e ise davranış katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 3.11: Mimari elemanlar için büyütme davranış katsayıları.

Mimari Eleman	B_e	R_e
Yapısal olmayan yığma iç duvarlar ve bölmeler	1.0	1.5
Yapısal olmayan diğer iç duvarlar ve bölmeler	1.0	2.5
Yanal desteği olmayan veya yanal desteği ağırlık merkezinin altında olan konsol elemanlar (parapetler, konsol iç duvarlar, bacalar vb)	2.5	2.5
Yanal desteği ağırlık merkezinin üstünde olan konsol elemanlar (parapetler, konsol dış duvarlar, bacalar vb)	1.0	2.5
Dış duvarlar ve bağlantıları	1.0	2.5
Cephe kaplama panelleri	1.0	1.5
Yapı sisteminden bağımsız çatı katları	2.5	3.5
Asma tavanlar	1.0	2.5
Depolama kabinleri ve laboratuvar ekipmanları	1.0	2.5
Erişim katları	1.0	1.5
Reklam panoları	2.5	2.5
Diğer rijit mimari elemanlar	1.0	2.5
Diğer esnek mimari elemanlar	2.5	2.5

Ayrıca hesaplanan eşdeğer deprem yükü aşağıda verilen değerden daha küçük olmayacaktır [13].

$$F_{ie} \geq 0.3m_{ie}IS_{Ds}g \quad (3.17)$$

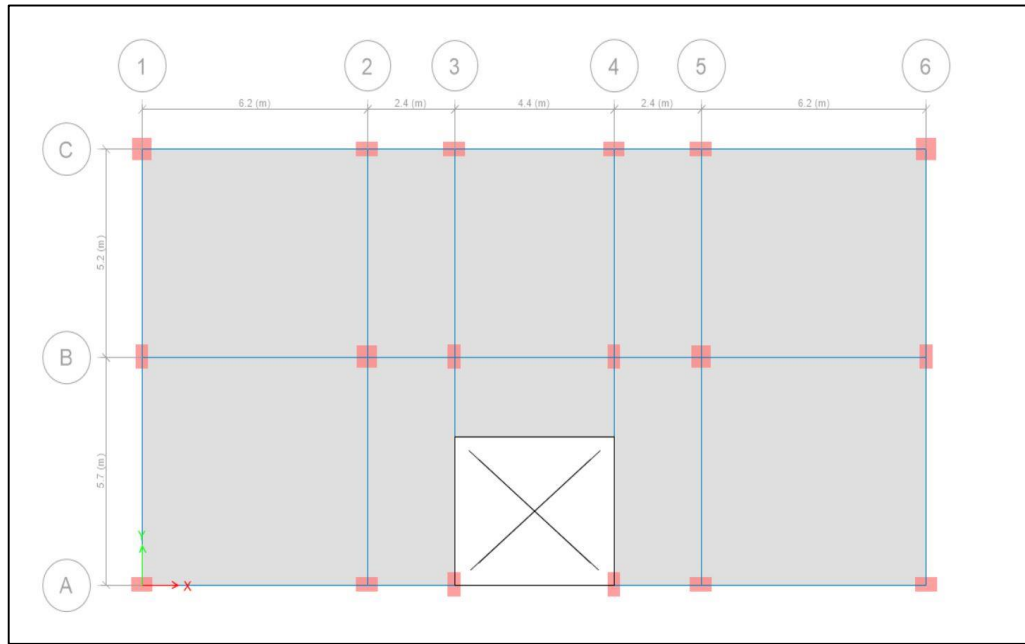
Tablo 3.12: Mekanik ve elektrik donanımlar için büyütme davranış katsayıları.

Mekanik veya Elektrik Donanım	B_e	R_e
Havalandırma, ısıtma, soğutma sistemleri gibi sacdan yapılmış mekanik sistemler.	2.5	6.0
Su ısıtıcıları, su soğutucuları, ısı değiştirme sistemleri gibi esnek malzemelerden yapılmış mekanik sistemler.	1.0	2.5
Motorlar, türbinler, pompalar, kompresörler, vb. elemanlar	1.0	2.5
Asansörler ve yürüyen merdiven aksamaları	1.0	2.5
Jeneratörler, transformatörler, ve benzeri elektrik donanımları	1.0	2.5
İnce sacdan yapılmış kontrol panelleri, enstrüman kabineleri, bağlantı ve değiştirme kutuları, ve benzeri donanımlar	2.5	6.0
Haberleşme ekipmanları, bilgisayarlar, cihazlar ve kontrol sistemleri	1.0	2.5
Ağırlık merkezinin altından yatay olarak desteklenen çatıya inşa edilmiş bacalar, kuleler, soğutma ve elektrik sistemleri	2.5	3.0
Ağırlık merkezinin üstünden yatay olarak desteklenen çatıya inşa edilmiş bacalar, kuleler, soğutma ve elektrik sistemleri	1.0	2.5
Aydınlatma sistemleri	1.0	1.5
Diğer mekanik ve elektrik sistemler	1.0	1.5
Titreşim yalıtımı uygulanmış donanımlar	2.5	2.5
İçinden yalıtılmış donanımlar.	2.5	2.0
Titreşim yalıtımlı askı sistemleri tarafından taşınan veya içinden yalıtılmış asılı donanımlar.	2.5	2.5
Şekildeğiştirme kapasitesi düşük malzemelerden (örn. dökme demir, cam, rijit plastik gibi) yapılmış boru ve tüp sistemleri	2.5	3.0
Şekildeğiştirme kapasitesi yüksek malzemelerden yapılmış ve birbirine kaynak veya sert lehimle bağlanmış kanal dağıtım sistemleri	2.5	9.0
Şekildeğiştirme kapasitesi yüksek malzemelerden yapılmış ve birbirine kaynak veya sert lehim dışında maddelerle bağlanmış kanal dağıtım sistemleri	2.5	6.0
Şekildeğiştirme kapasitesi düşük malzemelerden (örn. dökme demir, cam, rijit plastik gibi) yapılmış kanal dağıtım sistemleri	2.5	3.0
Elektrik iletim boruları, su boruları, rijit olarak bağlanmış kablo tepsileri	1.0	2.5
Asılı kablo tepsileri	2.5	6.0

4. SAYISAL UYGULAMALAR

4.1. Örnek Bina Genel Özellikleri

Analizlerde kullanılacak olan bina veri merkezi olarak düşünülmüş, genel olarak kolon, kiriş ve döşemelerden oluşan betonarme çerçeve bir binadır. Bina toplam 6 kattan oluşmakla birlikte zemin üzerindeki toplam kat yüksekliği 18.5 metredir. Binanın ilk katı 3.5 metre olup diğer bütün katlarının kat yüksekliği 3 metredir. Bina X-X yönünde 5 açıklığa, Y-Y yönünde ise 2 açıklığa sahiptir. Binanın oturma alanı ise 21.6x10.9 m²'dir. Ayrıca bina yapısal olmayan elemanlar ile birlikte modellenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Analizde kullanılacak olan bina genel kat plan görünümü.

Beton ve çelik sınıfları sırasıyla C 35/45 ve B420C olarak alınan binanın bütün döşemelerinin kalınlıkları 15 cm olarak hesaplanmıştır. Sismik İzolasyonlu modelinde ise izolasyon birimi üzerinde zemin döşemesi olarak ele alınan 40 cm kalınlığında bir döşeme ek olarak modellenmiştir. Ayrıca yapıdaki kolon ve kiriş kesitleri aşağıda verilmiştir.

Yapıda 3 farklı geometriye sahip kiriş kesiti mevcuttur.

- 25×50 cm²
- 30×50 cm²
- 35×50 cm²

Yapıda 3 farklı kolon kesiti mevcuttur.

- 35×60 cm²
- 60×35 cm²
- 55×55 cm²

Beton sınıfı, 28 günlük silindirik basınç dayanımı 35 MPa olan daha önce de belirtildiği gibi C35/45 seçilmiştir.

$$\begin{aligned}f_{ck} &= 35 \text{ MPa} \\f_{ctk} &= 0.35\sqrt{f_{ck}} \text{ MPa} = 0.35\sqrt{35} = 2.07 \text{ MPa} \\E_c(\text{Elastisite Modülü}) &= 33000 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Beton malzeme güvenlik katsayısı $\gamma_{mc} = 1.50$ alınarak tasarım dayanımları f_{cd} ve f_{ctd} elde edilir.

$$\begin{aligned}f_{cd} &= \frac{35 \text{ MPa}}{1.5} = 23.3 \text{ MPa} \\f_{ctd} &= \frac{2.07 \text{ MPa}}{1.5} = 1.38 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Donatı çeliği, minimum karakteristik akma dayanımı 420 MPa, çekme dayanımı karakteristik akma dayanımının 1.15 ile 1.35 katı arasında olan ve çekme dayanımına karşılık gelen birim şekildeğiştirme %8 olan B420C çeliğidir.

$$\begin{aligned}f_{yk} &= 420 \text{ MPa} \\E_s(\text{Elastisite Modülü}) &= 200000 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı $\gamma_{mc} = 1.15$ alınarak tasarım dayanımı f_{yd} elde edilir.

$$f_{yd} = \frac{420 \text{ MPa}}{1.15} = 365 \text{ MPa}$$

Analizlerde kullanılan düşey sabit ve hareketli yükler aşağıdaki gibidir.

- Normal Katlar için sabit yayılı yük : 3.5 kN/m²
- Çatı Katı için sabit yayılı yük : 2.0 kN/m²
- Normal Katlar için hareketli yük : 2.0 kN/m²
- Çatı Katı için hareketli yük : 1.0 kN/m²

4.2. Yapısal Olmayan Elemanların Genel Özellikleri

Örnek binanın hem sabit temelli hem de sismik izolasyonlu modelleri için kullanılan yapısal olmayan elemanlar aşağıda verilmiştir.

- Yangın Söndürme Sistemi
- Havalandırma Sistemi
- Elektrik Kabinleri

Yangın söndürme sistemi için modellenen boruların malzemesi A53GrB olarak belirlenmiş, dış çapı 114.3 mm ve duvar kalınlığı 6 mm olan DN-100 anma çapına sahip boru sistemi seçilmiştir. Ayrıca bu yangın söndürme boru sistemini taşıyan tijlerin malzemesi S275 çelik sınıfı standardına sahip 10 mm çapındaki metrik 10 tijdir (M-10).

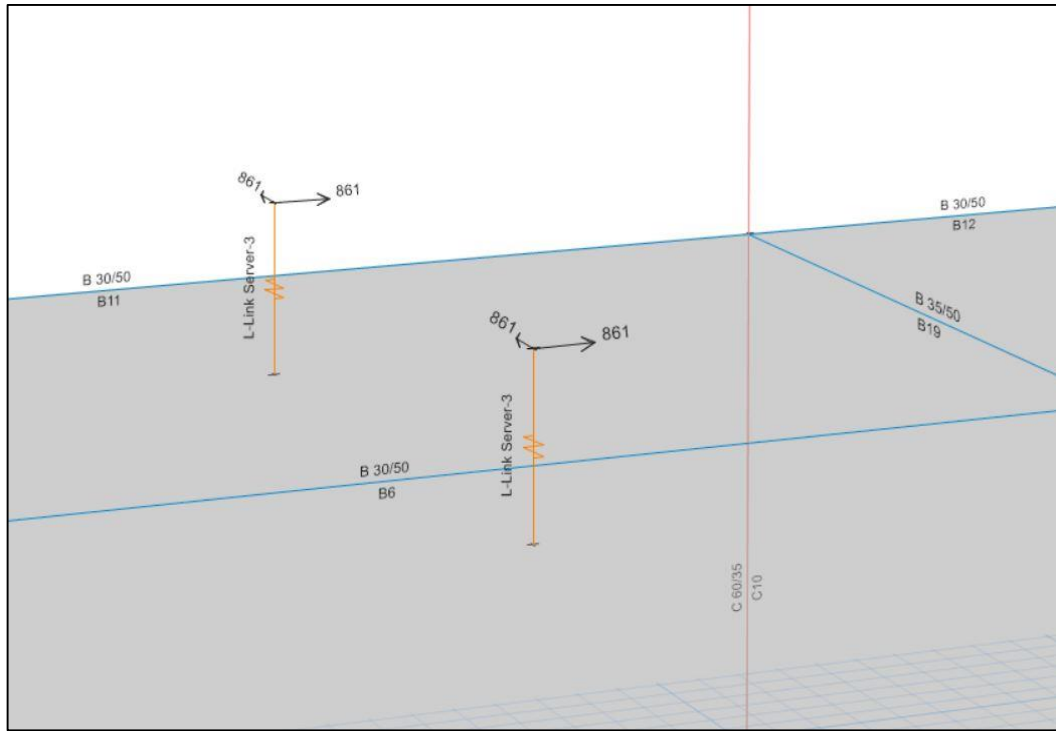
Havalandırma sistemleri için kullanılan plakaların malzemesi ise alüminyumdur ve 12 mm çapa sahip olan M-12'lik tij kullanılmıştır.

Her katta X-X doğrultusunda modellenen yapısal olmayan elemanlar için 1'er, Y-Y doğrultusunda bulunanlar için de 2'şer metre arayla tijler tanımlanmıştır. Yapısal olmayan elemanlar bu tijler ile döşemeye bağlanmışlardır.

Bu veri merkezinde kullanılan elektrik kabinlerinin parametreleri yapılan başka bir çalışmadan alınmıştır. 3 adet kabin grubuna ait kütle ve periyot değerleri aşağıda verilmiştir [14] (Şekil 4.2).

Tablo 4.1: Modellerde kullanılan elektrik kabini parametreleri.

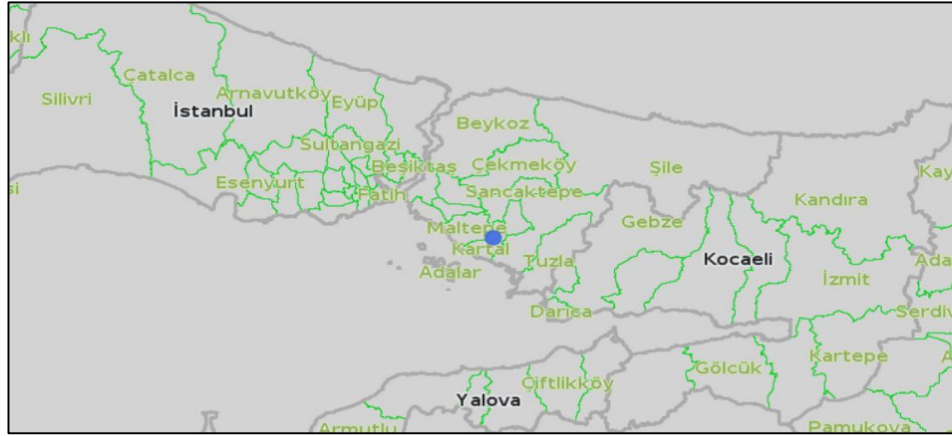
Kabin Adedi	Kütle (kg)	Periyot (s)
3 Kabin	861	0.046



Şekil 4.2: Elektrik kabinlerinin modellenmesi.

4.3. Analizlerde Kullanılacak Deprem Verileri

Analizleri yapılacak olan örnek bina, ZC zemin sınıfına sahip İstanbul İli, Kartal İlçesi içerisinde 40.926918^0 enlem ile 29.220082^0 boylamında yer alacak şekilde planlanmış (Şekil 4.3).

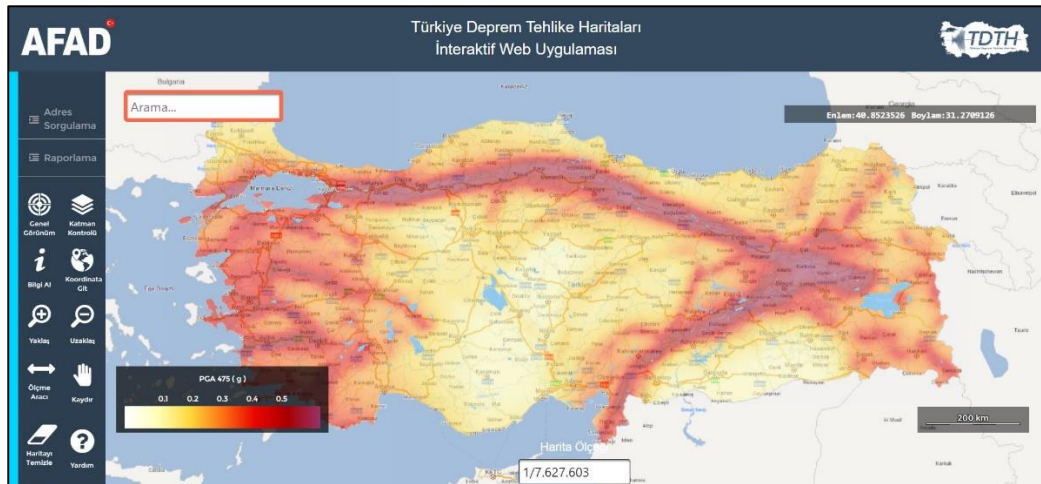


Şekil 4.3: Analizde kullanılacak olan bina lokasyonu.

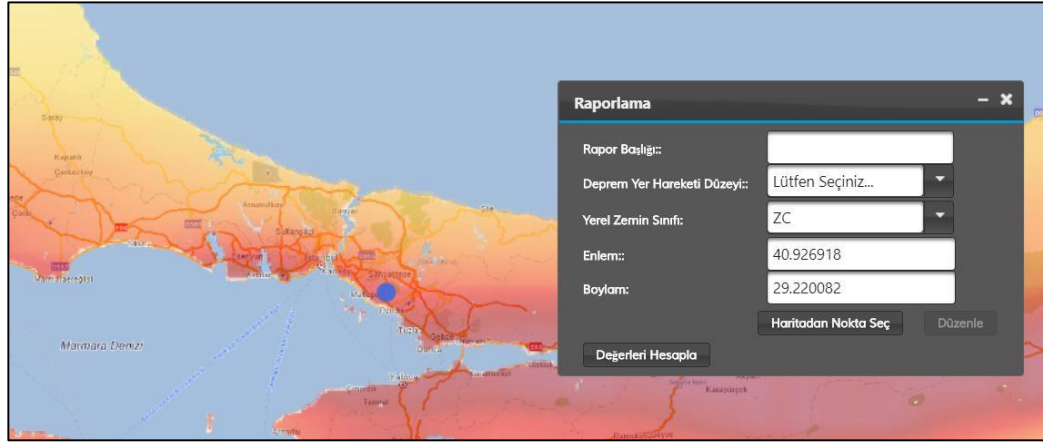
4.3.1. Standart Yatay Elastik Tasarım Spektrumunun Bulunması

İki farklı modele sahip olan binanın deprem analizlerinde kullanılacak olan tasarım spektrumları sahaya özel deprem tehlike analizi yapılarak bulunmuştur. Deprem tehlike analizinden önce verilerin karşılaştırılması ve TBDY-2018’de belirtilen kontrollerin yapılması için standart deprem yer hareketi spektrumu belirlenmiştir.

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde, standart deprem yer hareketi spektrumu için gerekli olan kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1 değerleri Türkiye Deprem Tehlike Haritaları’ndan yararlanılarak belirlenmiştir.[15] (Şekil 4.4, Şekil 4.5).



Şekil 4.4: AFAD Deprem tehlikesi haritası.

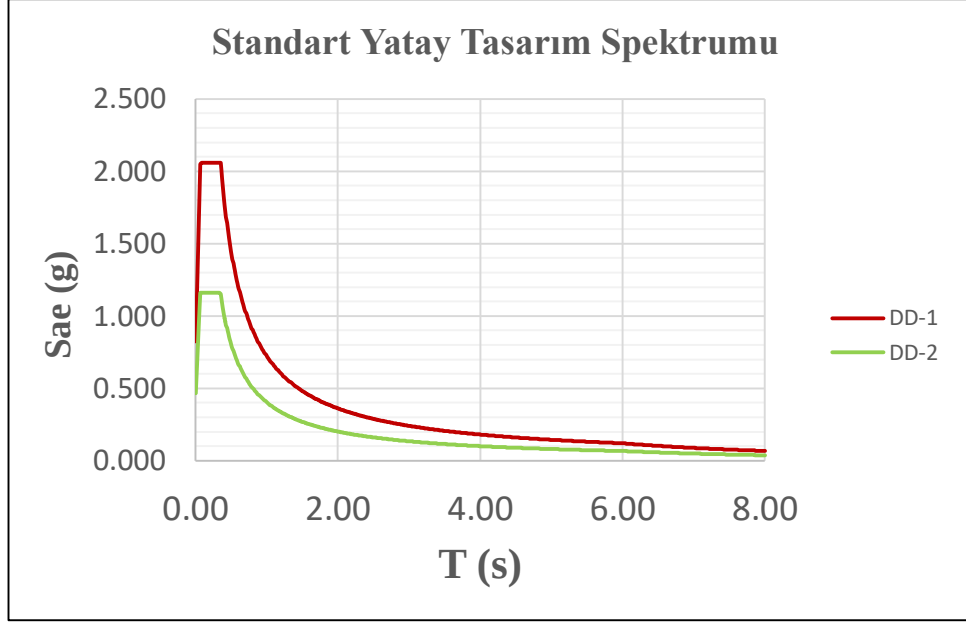


Şekil 4.5: AFAD Deprem tehlikesi haritası bilgi girişi.

Haritadan elde edilen ivme katsayıları ile ZC olarak planlanan zemin sınıfı için yerel zemin etki katsayıları F_s ve F_1 aşağıdaki gibi verilmiştir. S_{DS} ve S_{D1} değerleri hesaplanarak %5 sönümlü standart yatay elastik tasarım spektrumu bulunmuştur (Şekil 4.6). Ayrıca, standart yatay elastik tasarım spektrumu için köşe periyotları olan T_A ve T_B değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 4.2: Farklı deprem düzeyleri için standart yatay elastik tasarım spektrumu verileri.

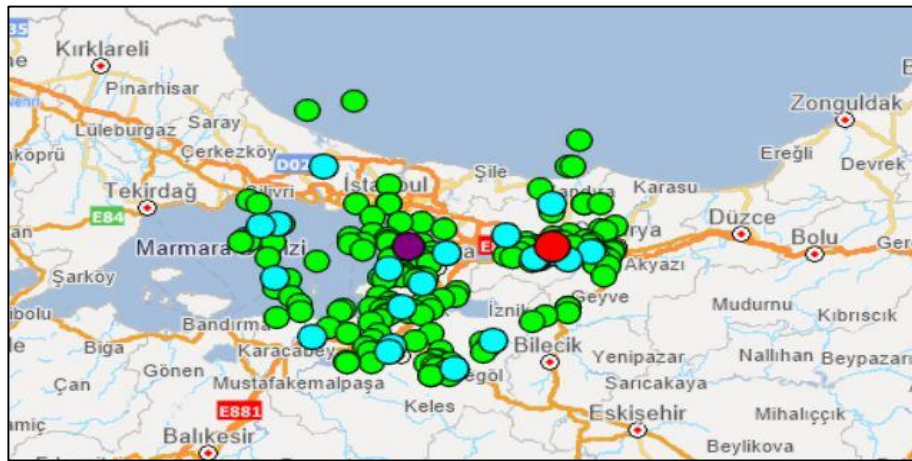
	S_s	F_s	S_1	F_1	S_{DS}	S_{D1}	T_A	T_B
DD-1 Deprem Yer Hareketi	1.714	1.200	0.482	1.500	2.0568	0.723	0.070	0.352
DD-2 Deprem Yer Hareketi	0.969	1.200	0.269	1.500	1.1628	0.404	0.069	0.347



Şekil 4.6: Farklı deprem düzeyleri için standart yatay elastik tasarım spektrumları.

4.3.2. Sahaya Özel Yatay Elastik Tasarım Spektrumunun Bulunması

Bu bölüm kapsamında, son 100 yıl içerisinde ve Rihcter ölçeğine göre $M \geq 4.0$ magnitüde sahip depremler belirlenmiştir. Buna ek olarak, örnek bina için ön görülen lokasyon merkez kabul edilip 100 km çapındaki daire içerisinde kalan depremler kullanılmıştır [16] (Şekil 4.7).



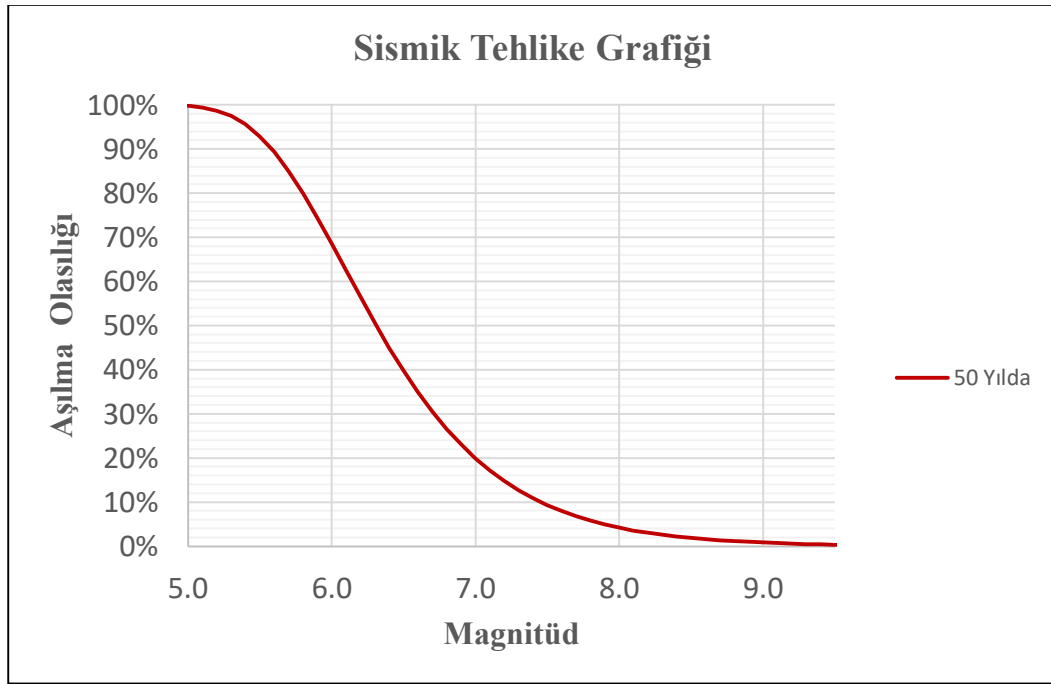
Şekil 4.7: Sismik tehlike analizi için kullanılacak deprem kataloğu ($M \geq 4.0$).

Gutenberg – Richter bağıntısına göre verilen formüller çerçevesinde deprem tehlikesini belirlemede kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir.

Tablo 4.3: Deprem tehlikesini belirlemede kullanılan parametreler.

a	b	a1	a'	a'1
4.8825	0.7168	2.8825	4.66489	2.66489

Deprem tehlikesini belirlemede kullanılan parametreler hesaplandıktan sonra 50 yıllık periyot için belirli magnitüd değerlerine karşılık gelen sismik tehlike değerleri bulunmuştur (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Deprem tehlikesi grafiği.

Sismik tehlikeler bulunduktan sonra binanın inşa edileceği lokasyonun Kuzey Anadolu Fay hattına uzaklığı ve fayın özelliği belirlenmiştir.

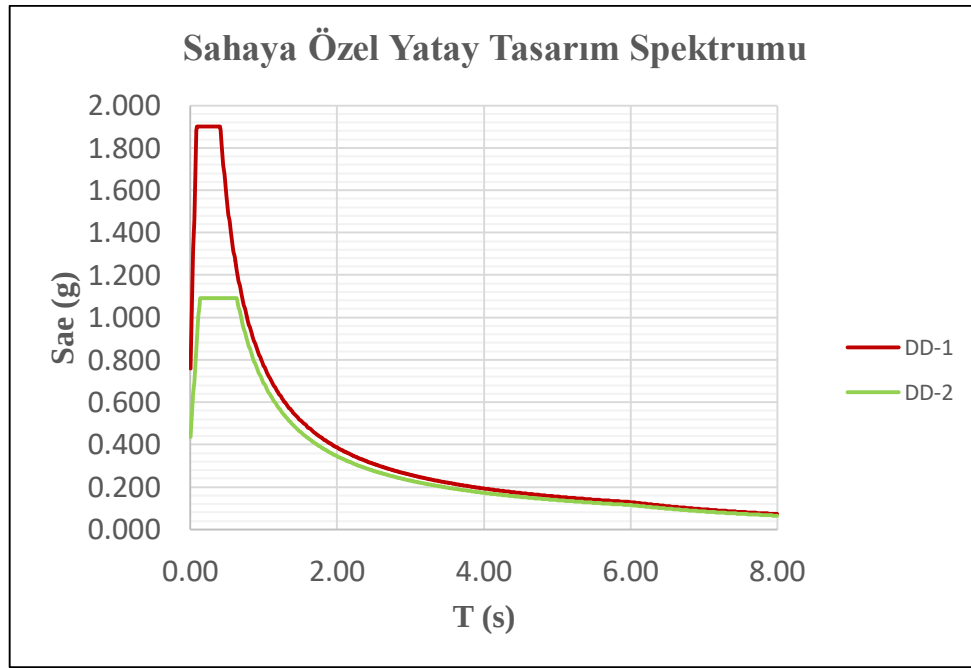
- Fayın özelliği : Doğrultu Atımlı Fay
- Kaynak lokasyonunun fay hattına uzaklığı : 19 km

ZC zemin sınıfına bağlı olarak da Akkar – Bommer azalım ilişkisi kullanılarak DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketleri için kısa periyot ve 1.0 saniye periyotlar için ivme değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 4.4: Farklı deprem düzeyleri için sahaya özel deprem tehlike analizine göre ivme değerleri.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	PGA (g)	0.2 Saniye (g)	1.0 Saniye (g)
DD-1	0.951	1.901	0.772
DD-2	0.476	1.090	0.690

İvme değerlerinin hesaplanması ile kontrolleri yapılarak iki farklı deprem yer hareketi düzeyi için sahaya özel tasarım spektrumları belirlenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Farklı deprem düzeyleri için sahaya özel yatay elastik tasarım spektrumları.

TBDY-2018 kapsamında her iki deprem yer hareketi düzeyi için sahaya özel deprem tehlike analizi sonucu ortaya çıkan elastik tasarım spektrumunun ordinatlarının değeri, standart elastik tasarım spektrumu ordinatlarının değerlerinin %90'ından büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sayede bina analizlerinde sahaya özel deprem tasarım spektrumları kullanılmıştır.

4.3.3. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Dinamik analizlerde kullanılmak için sahaya, fay yapısına ve faya uzaklığa uygun bir şekilde DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için deprem yer hareketi ivme kayıtları seçilmiş ve aşağıda belirtilmiştir.

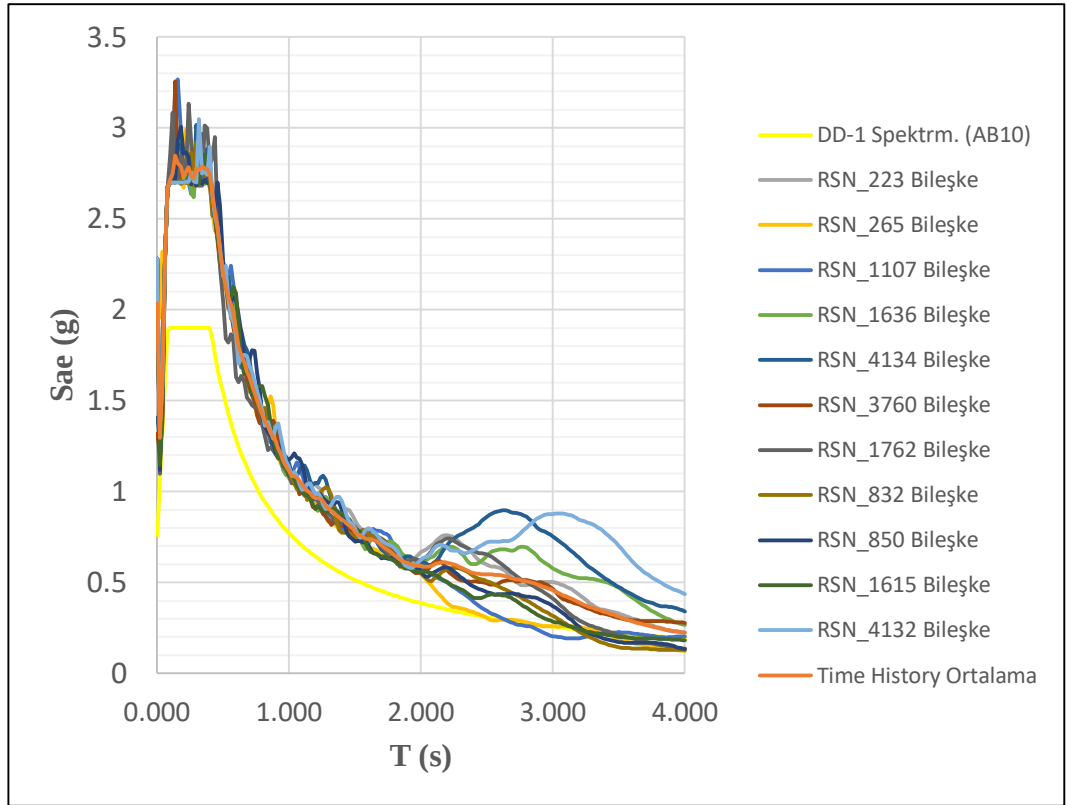
Tablo 4.5: DD-1 deprem düzeyi için seçilen deprem ivme takımı kayıtları.

Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	M	Fay Mekanizması
RSN 223	Livormore-02	1980	San Ramon - Eastman Kodak	5.42	Doğrultu Atımlı
RSN 265	Victoria	1980	Cerro Prieto	6.33	Doğrultu Atımlı
RSN 832	Landers	1992	Amboy	7.28	Doğrultu Atımlı
RSN 850	Landers	1992	Desert Hot Springs	7.28	Doğrultu Atımlı
RSN 1107	Kobe	1995	Kakogawa	6.90	Doğrultu Atımlı
RSN 1615	Düzce	1999	Lamont 1062	7.14	Doğrultu Atımlı
RSN 1636	Manjil	1990	Qazvin	7.37	Doğrultu Atımlı
RSN 1762	Hector Mine	1999	Amboy	7.13	Doğrultu Atımlı
RSN 3760	Landers	1992	Big Bear Lake - Civic Center	7.28	Doğrultu Atımlı
RSN 4132	Parkfield-02	2004	Parkfield - Vineyard Cany 2E	6.00	Doğrultu Atımlı
RSN 4134	Parkfield-02	2004	Parkfield - Vineyard Cany 3W	6.00	Doğrultu Atımlı

Tablo 4.6: DD-2 deprem düzeyi için seçilen deprem ivme takımı kayıtları.

Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	M	Fay Mekanizması
RSN 153	Coyote Lake	1979	San Juan Bautista - Hwy 101/156 Overpass	5.74	Doğrultu Atımlı
RSN 154	Coyote Lake	1979	San Juan Bautista - 24 Polk St.	5.74	Doğrultu Atımlı
RSN 164	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto	6.53	Doğrultu Atımlı
RSN 223	Livermore-02	1980	San Ramon - Eastman Kodak	5.42	Doğrultu Atımlı
RSN 832	Landers	1992	Amboy	7.28	Doğrultu Atımlı
RSN 900	Landers	1992	Yermo Fire Station	7.28	Doğrultu Atımlı
RSN 1762	Hector Mine	1999	Amboy	7.13	Doğrultu Atımlı
RSN 1783	Hector Mine	1999	Fort Irwin	7.13	Doğrultu Atımlı
RSN 4135	Parkfield-02	2004	Parkfield - Vineyard Cany 4W	6.00	Doğrultu Atımlı
RSN 6878	Joshua Tree	1992	Nort Palm Springs Fire Station #36	6.10	Doğrultu Atımlı
RSN 6948	Darfield	2010	OXZ	7.00	Doğrultu Atımlı

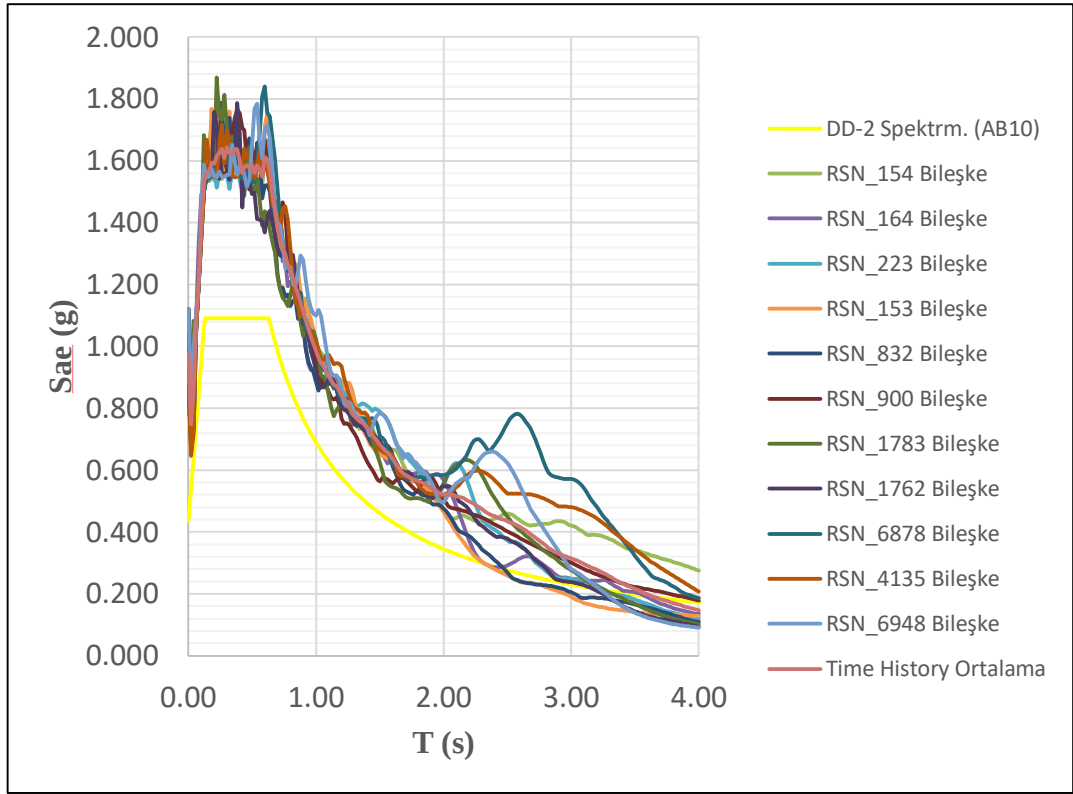
Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de seçilen 11 adet deprem kaydının yatay bileşenleri için spektral uyuşum yöntemi ile ölçeklendirilmiş halleri verilmiştir. Seçilen 11 adet deprem kaydının düşey bileşenleri ise basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir.



Şekil 4.10: DD-1 deprem düzeyi için spektral uyuşum yöntemiyle ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının spektrumları.

Tablo 4.7: DD-1 deprem düzeyi için seçilen düşey ivme kayıtlarının katsayıları.

Kayıt No	Deprem	Ölçeklendirme Katsayısı
RSN 223	Livormore-02	3.44
RSN 265	Victoria	1.72
RSN 832	Landers	4.77
RSN 850	Landers	3.96
RSN 1107	Kobe	2.42
RSN 1165	Düzce	3.25
RSN 1636	Manjil	4.49
RSN 1762	Hector Mine	3.67
RSN 3760	Landers	4.71
RSN 4132	Parkfield-02	2.89
RSN 4134	Parkfield-02	2.55



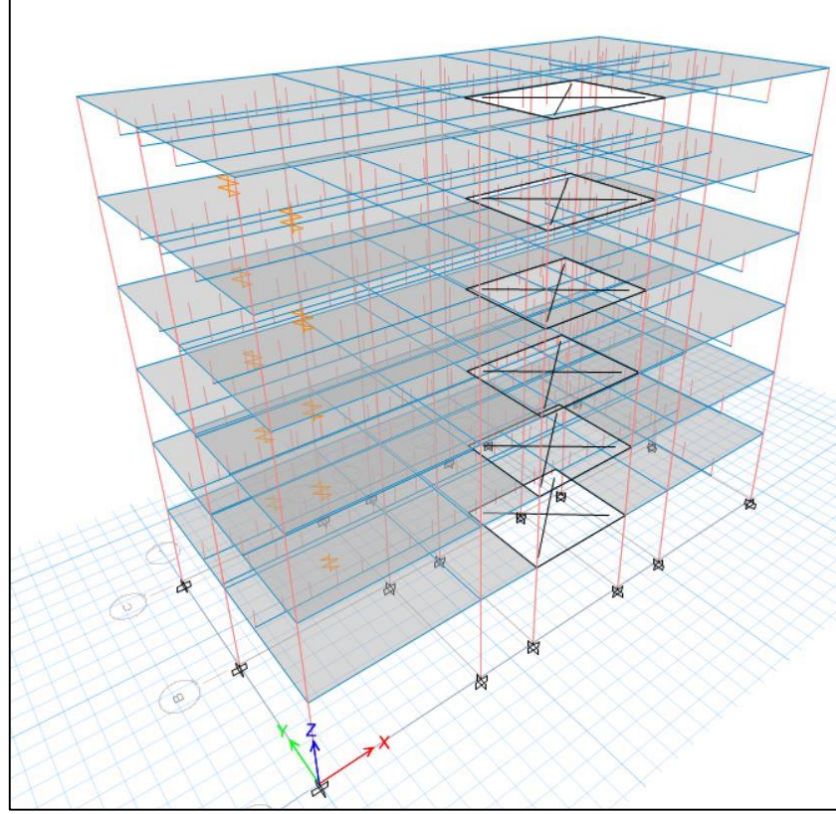
Şekil 4.11: DD-2 deprem düzeyi için spektral uyuşum yöntemiyle ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının spektrumları.

Tablo 4.8: DD-2 deprem düzeyi için seçilen düşey ivme kayıtlarının katsayıları.

Kayıt No	Deprem	Ölçeklendirme Katsayısı
RSN 153	Coyote Lake	4.99
RSN 154	Coyote Lake	4.65
RSN 164	Imperial Valley-06	2.35
RSN 223	Livermore-02	2.67
RSN 832	Landers	3.52
RSN 900	Landers	2.27
RSN 1762	Hector Mine	2.68
RSN 1783	Hector Mine	4.53
RSN 4135	Parkfield-02	4.79
RSN 6878	Joshua Tree	3.22
RSN 6948	Darfield	3.65

4.4. Sabit Temelli Bina Modelinin Analizleri

Şekil 4.12’de sabit temelli bina modelinin üç boyutlu genel görünüşü belirtilmiştir.



Şekil 4.12: Analizde kullanılacak olan sabit temelli bina genel görünüşü.

4.4.1. Sabit Temelli Bina Modelinin Modal Analizi

TBDY-2018 Bölüm 4’e göre yeterli titreşim modu sayısının belirlenmesi için her bir modda hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamı X ve Y deprem doğrultuları için %95 olmalıdır. Ayrıca %3’den büyük olan her mod dikkate alınmalıdır.

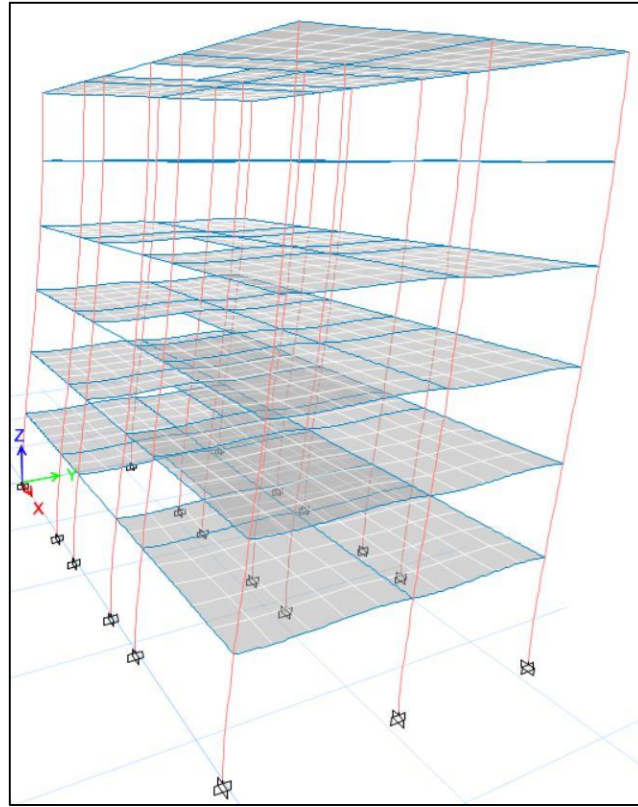
Sabit temelli bina modeli için Ritz Vektör metoduyla modal analiz yapılmış ve mod şekilleri belirlenmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15).

Tablo 4.9: Sabit temelli bina modeli için modal analiz sonuçları.

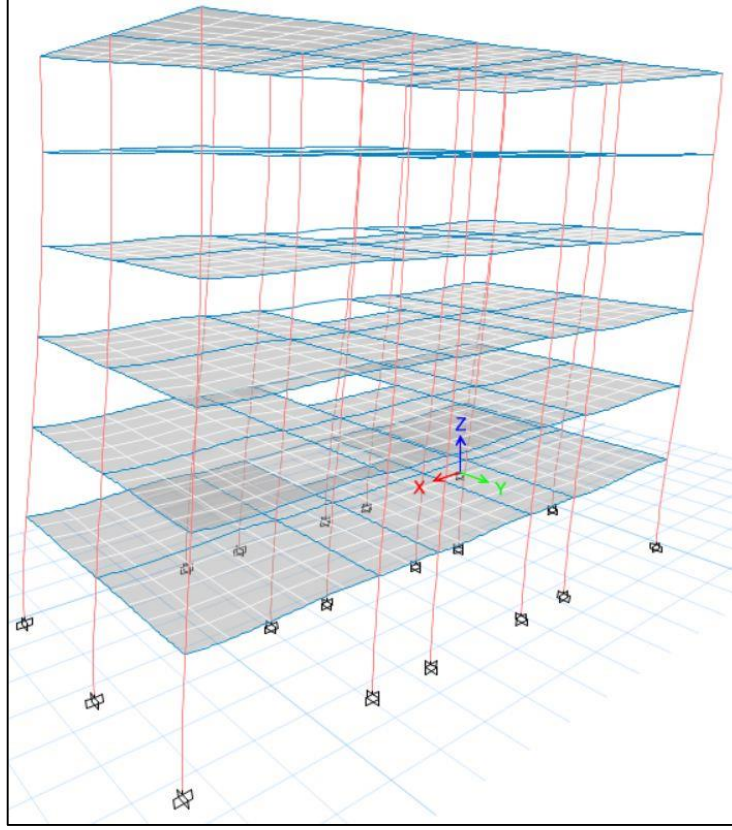
Analiz	Mod Sayısı	Periyot (s)	UX	UY
Modal	1	1.046	0%	83%
Modal	2	0.925	80%	0%
Modal	3	0.866	3%	0%
Modal	4	0.322	0%	11%
Modal	5	0.288	10%	0%
Modal	6	0.268	1%	0%
Modal	7	0.171	0%	4%
Modal	8	0.155	4%	0%

Tablo 4.10: Sabit temelli bina modeli için modal analiz toplam kütle katılım oranları.

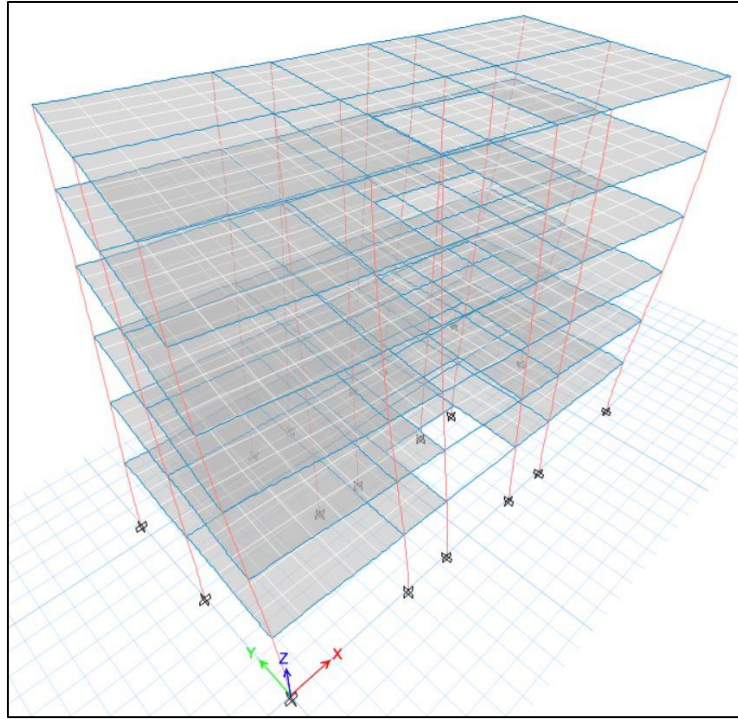
Toplam UX	Toplam UY
97%	98%



Şekil 4.13: Sabit temelli bina modelinin 1. mod şekli.



Şekil 4.14: Sabit temelli bina modelinin 2. mod şekli.



Şekil 4.15: Sabit temelli bina modelinin 3. mod şekli.

4.4.2. Sabit Temelli Bina Modelinin Doğrusal Analizi

Modellenmesi ve modal analizi yapılmış sabit temelli bina modelinin tasarımı için TBDY-2018 Bölüm 3'e göre bina özellikleri ve genel esaslar belirlenmiştir.

Daha önce de değinildiği gibi veri merkezi olarak düşünülen binanın üstyapı analizleri için belirlenen genel esaslar aşağıdaki gibidir.

Tablo 4.11: Sabit temelli bina modelinin üst yapı analizleri için genel esaslar.

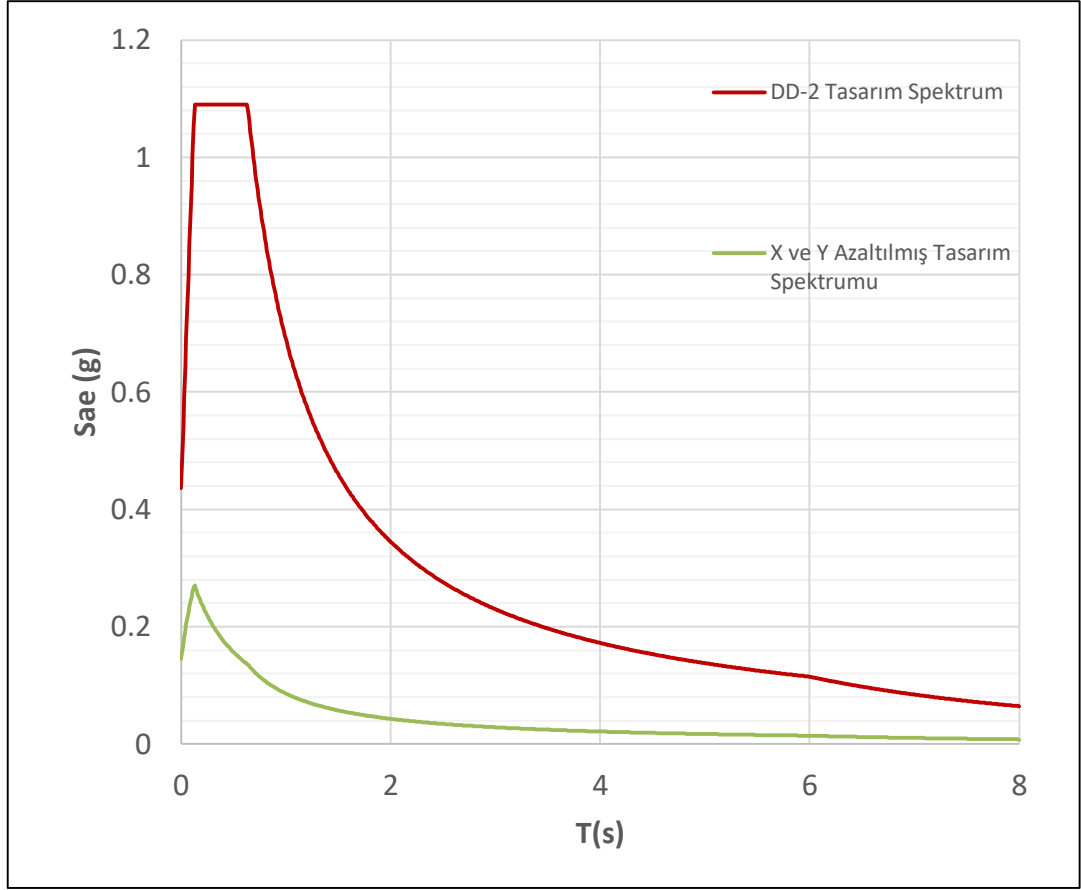
Bina Türü	İşyeri Binası
Bina Kullanım Amacı	Diğer Binalar
Bina Önem Katsayısı	1
Bina Kullanım Sınıfı	BKS=3
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı S_{DS}	1.090
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS=1
Bina Yüksekliği (m)	18.50
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS=5
Performans Yaklaşımı	Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme Binalar
Performans Düzeyi	Normal
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Normal Performans Hedefi	Kontrollü Hasar (KH)
Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	Dayanıma Göre Tasarım (DGT)

Tablo 4.11'de de görüldüğü gibi bu veri merkezi bina önem katsayısı $I=1$ ve bina kullanım sınıfı da BKS=3 olan işyeri binası olarak belirlenmiştir. Bölgenin depremselliğine göre de yapının deprem tasarım sınıfı DTS=1'dir. Ayrıca yine Tablo 4.11'de TBDY-2018 göre binanın tasarım yöntemi, deprem yer hareketi düzeyi ve performans hedefi belirtilmiştir.

Binanın her iki doğrultu için taşıyıcı sistemi yüksek süneklik düzeyine sahip moment aktaran betonarme çerçeve olarak belirlenmiş, TBDY-2018 Bölüm 4'e göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı da $R=8$, dayanım fazlalığı katsayısı ise $D=3$ 'dür.

Sabit temelli bina modelinin doğrusal analizi Tablo 4.11'de belirlenen performans hedefi göz önüne alınarak TBDY-2018 Bölüm 4 kapsamında yapılmıştır.

Bölgenin depremselliği sonucu DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için elde edilen yatay tasarım spektrumu ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile her iki deprem doğrultusu için azaltılmış tasarım ivme spektrumu aşağıda verilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Sabit temelli bina modelinin doğrusal analizi için azaltılmış tasarım spektrumu.

TBDY-2018 Bölüm 4'e göre eşdeğer deprem yükü yöntemi ile azaltılmış tasarım ivmeleri kullanılarak katlara gelen deprem yükleri belirlenmiştir.

X-X doğrultusu için toplam eşdeğer deprem yükü 1382 kN, Y-Y doğrultusu için ise 1223 kN olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.12: Sabit temelli bina modeli için katlara gelen eşdeğer deprem yükleri (X-X Doğrultusu).

Kat	h_i (m)	H_i (m)	m_i (t)	$H_i \times m_i$	$F_i^{(Ex)}$ (kN)
6	3	18.5	281.70	5211	464
5	3	15.5	250.96	3890	300
4	3	12.5	250.96	3137	242
3	3	9.5	250.96	2384	184
2	3	6.5	250.96	1631	126
1	3.5	3.5	250.96	878	68

Tablo 4.13: Sabit temelli bina modeli için katlara gelen eşdeğer deprem yükleri (Y-Y Doğrultusu).

Kat	h_i (m)	H_i (m)	m_i (t)	$H_i \times m_i$	$F_i^{(Ey)}$ (kN)
6	3	18.5	281.7	5211	410
5	3	15.5	250.96	3890	265
4	3	12.5	250.96	3137	214
3	3	9.5	250.96	2384	163
2	3	6.5	250.96	1631	111
1	3.5	3.5	250.96	878	60

4.4.3. Sabit Temelli Bina Modelinin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Analizi

Sabit temelli bina modelindeki yapısal olmayan elemanlara gelen etkileri görmek için zaman tanım alanında doğrusal analiz yöntemi kullanılmıştır (Şekil 4.17).

General

Load Case Name: TH_1

Load Case Type/Subtype: Time History / Linear Modal

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (Mass Source)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	1. RSN_153_1	9.81
Acceleration	U2	2. RSN_153_2	9.81
Acceleration	U3	RSN153_COYOTEL...	48.95

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Time History Motion Type: Transient

Number of Output Time Steps: 5360

Output Time Step Size: 0.01 sec

Modal Damping: Constant at 0.05

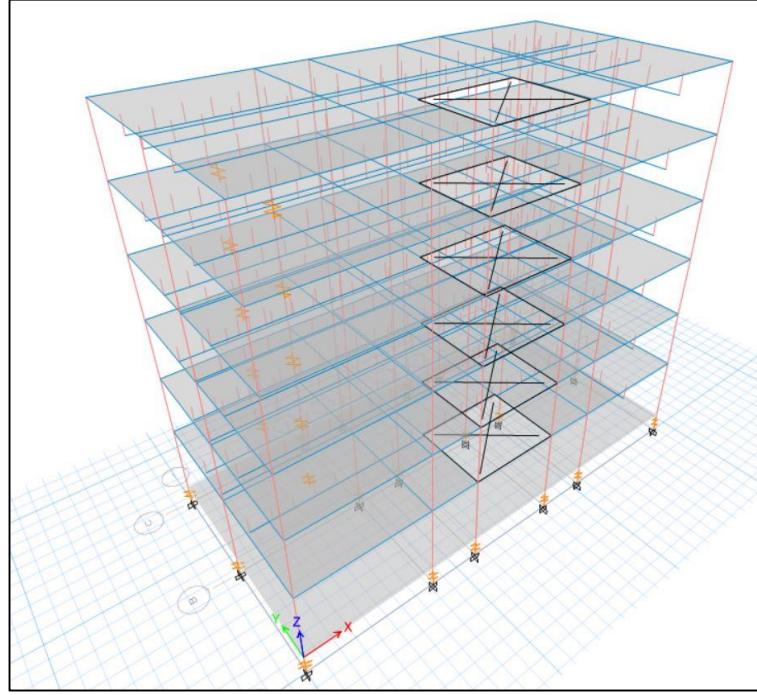
Şekil 4.17: Zaman tanım alanında doğrusal analiz yöntemi için deprem kayıtlarının tanımlanması.

Zaman tanım alanında doğrusal analiz yapılırken DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için bölgenin depremselliğine göre ölçeklendirilmiş 11'er ivme kaydı takımı tanımlanmıştır. Bu ivme takımlarının her birinin 3 doğrultudaki kayıtları modele yüklenmiştir.

Ölçeklendirilmiş her bir yatay deprem kaydının ölçek katsayısı 9.81 m/s^2 'dir. Düşey deprem kayıtları ise Tablo 4.8'de verilen ölçek katsayıları 9.81 m/s^2 ile çarpılmıştır.

4.5. Sismik İzolasyonlu Bina Modelinin Analizleri

Bölgenin depremselliği ve yapının genel özellikleri göz önünde bulundurularak ön çalışmalar yapılmıştır. Bu ön çalışmaların ışığında sismik izolasyon türü olarak eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi bu bina ve bölge özelinde kullanılmasına karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi binanın 40 cm kalınlığa sahip zemin döşemesinin altında her bir kolon ile ankastre zemin arasına gelecek şekilde modellenmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: Analizde kullanılacak olan sismik izolasyonlu bina genel görünüşü.

4.5.1. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli İzolasyon Biriminin Ön Tasarımı

Binadaki her bir kolonun altına yerleştirilecek 18 adet eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi modellenmiştir. Bu modelleme amacı doğrultusunda DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için ön tasarımı alt ve üst sınırları ile birlikte yapılmıştır.

Tablo 4.14: DD-1 deprem yer hareketi düzeyi için eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon biriminin ön tasarımı.

	NORMAL SINIR	ALT SINIR	ÜST SINIR
Yarıçap R (m)	4.5	4.5	4.5
Sürtünme Katsayısı	0.05	0.03	0.086
W (kN)	18622	18622	18622
Öngörülen Deplasman (m)	0.384	0.555	0.284
F_y (kN)	931	559	1601
F (kN)	2520	2855	2777
k_2 (kN/m)	4138	4138	4138
K_{eff} (kN/m)	6563	5145	9777
T_{eff} (s)	3.38	3.82	2.77
B	24%	12%	30%
n	0.59	0.76	0.53
S_{ae} (g)	0.135	0.153	0.149
D_m (m)	0.384	0.555	0.284
D_{tm} (m)	0.422	0.61	0.312
Kolon Sayısı	18	18	18
$K_{eff,1}$ (kN/m)	365	286	543
K (kN/m)	931100	558660	1601492

Tablo 4.15: DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon biriminin ön tasarımı.

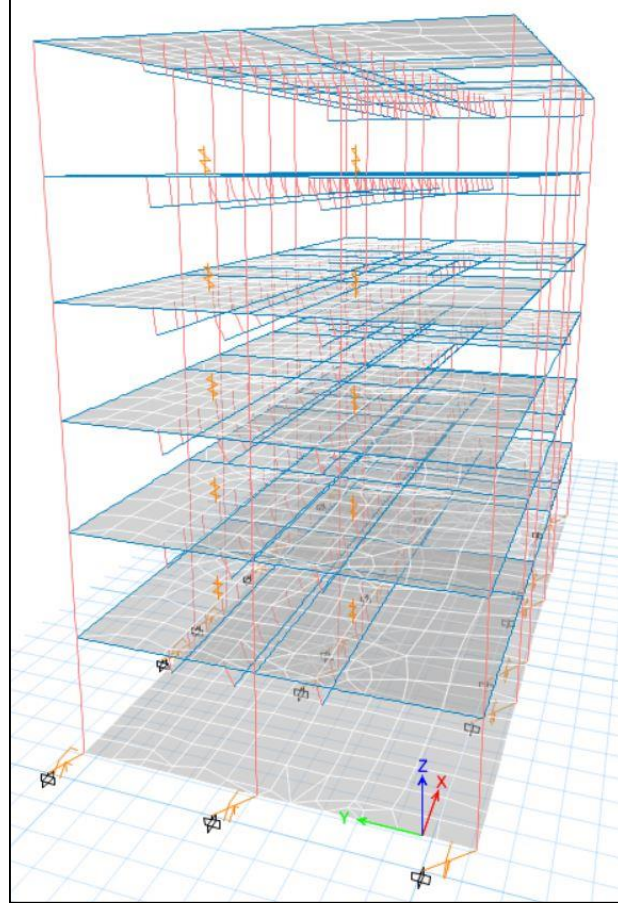
	NORMAL SINIR	ALT SINIR	ÜST SINIR
Yarıçap R (m)	4.5	4.5	4.5
Sürtünme Katsayısı	0.05	0.03	0.086
W (kN)	18622	18622	18622
Öngörülen Deplasman (m)	0.312	0.460	0.243
F_y (kN)	931	559	1583
F (kN)	2222	2462	2588
k_2 (kN/m)	4138	4138	4138
K_{eff} (kN/m)	7123	5353	10652
T_{eff} (s)	3.24	3.74	2.65
B	27%	14%	30%
n	0.56	0.72	0.53
S_{ae} (g)	0.120	0.132	0.139
D_m (m)	0.312	0.460	0.243
D_{tm} (m)	0.343	0.506	0.267
Kolon Sayısı	18	18	18
$K_{eff,1}$ (kN/m)	396	297	592
K (kN/m)	931100	558660	1582870

4.5.2. Sismik İzolasyonlu Bina Modelinin Modal Analizi

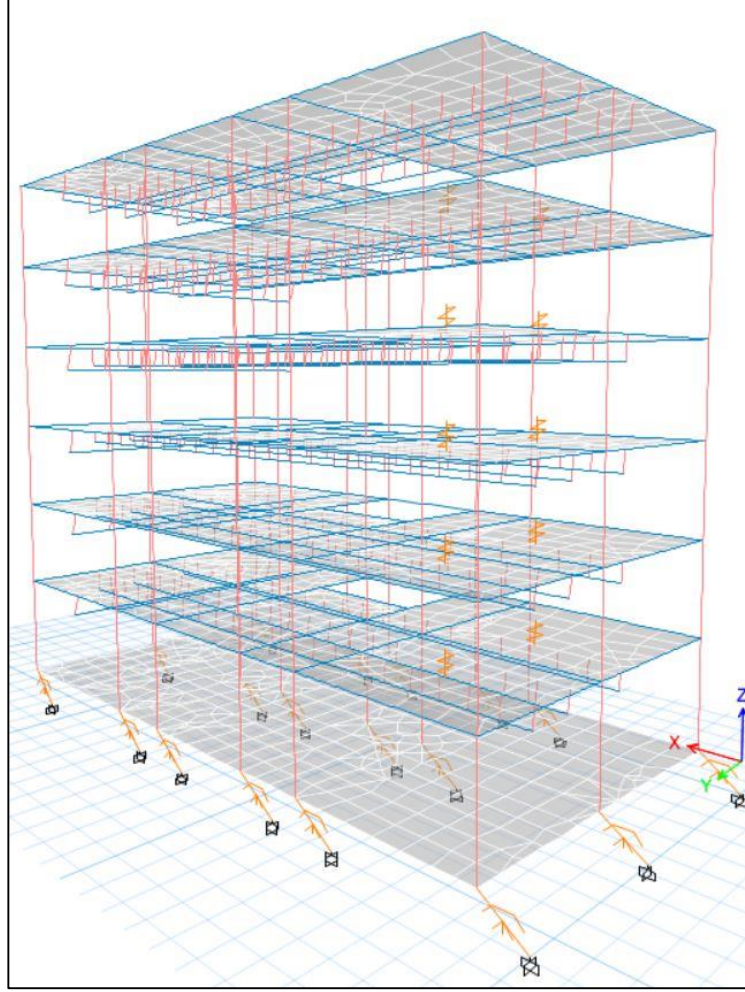
DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde normal sınır değerindeki sismik izolasyonlu bina modeli için Ritz Vektör metoduyla modal analiz yapılmıştır. Modal analiz sonucunda çıkan periyot değerleri ile mod şekilleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.19, Şekil 4.20).

Tablo 4.16: Sismik izolasyonlu bina modeli için modal analiz sonuçları.

Analiz	Mod Sayısı	Periyot (s)	UX	UY
Modal	1	3.301	0.0001	0.9983
Modal	2	3.284	0.996	0.0002



Şekil 4.19: Sismik izolasyonlu bina modelinin 1. mod şekli.



Şekil 4.20: Sismik izolasyonlu bina modelinin 2. mod şekli.

4.5.3. Sismik İzolasyonlu Bina Modelinin Doğrusal Üstyapı Analizi

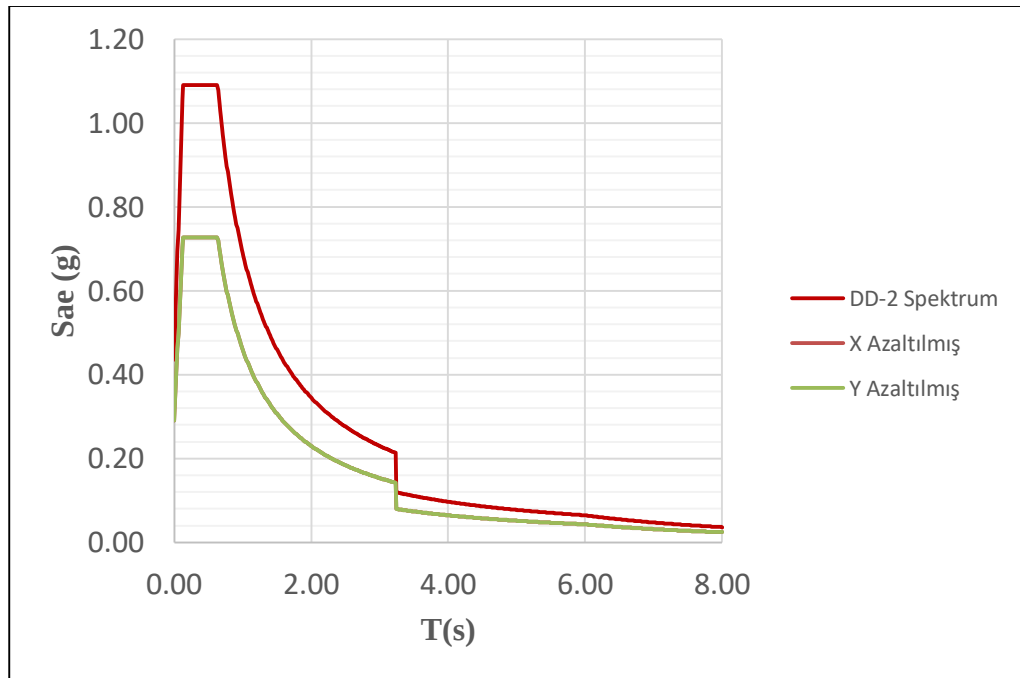
Modellenmesi ve modal analizi yapılmış sismik izolasyonlu bina modelinin üstyapı tasarımı için TBDY-2018 Bölüm 3'e göre sismik izolasyonlu bina özellikleri ve genel esaslar belirlenmiştir. Belirlenen genel esaslar aşağıdaki gibidir.

Tablo 4.17: Sismik izolasyonlu bina modelinin üst yapı analizleri için genel esaslar.

Bina Türü	Konut Binası
Bina Kullanım Amacı	Diğer Binalar
Bina Önem Katsayısı	1
Bina Kullanım Sınıfı	BKS=3
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı S_{DS}	1.090
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS=1
Bina Yüksekliği (m)	18.50
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS=5
Performans Yaklaşımı	Yeni Yapılacak Deprem Yalıtımlı Binalar - ÜstYapı
Performans Düzeyi	Normal
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Normal Performans Hedefi	Sınırlı Hasar (SH)
Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	Dayanıma Göre Tasarım (DGT)

TBDY-2018 Bölüm 4'e göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı da $R=1.5$, dayanım fazlalığı katsayısı ise $D=1.5$ 'dur.

Yatay tasarım spektrumu ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile her iki deprem doğrultusu için azaltılmış tasarım ivme spektrumu aşağıda verilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21: Sismik izolasyonlu bina modelinin doğrusal analizi için azaltılmış tasarım spektrumu.

TBDY 2018 Bölüm 4'e göre eşdeğer deprem yükü yöntemi ile azaltılmış tasarım ivmeleri kullanılarak katlara gelen deprem yükleri belirlenmiştir.

Hem X-X doğrultusu hem de Y-Y doğrultusu için toplam eşdeğer deprem yükü 1486 kN olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.18: Sismik izolasyonlu bina modeli için katlara gelen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	h_i (m)	H_i (m)	m_i (t)	$h_i \times m_i$	W_i (kN)	$F_i^{(Ex,Ey)}$ (kN)
6	3	18.5	200	600	2000	178
5	3	15.5	260	780	2600	232
4	3	12.5	261	783	2610	232
3	3	9.5	261	783	2610	232
2	3	6.5	261	783	2610	232
1	3.5	3.5	262	917	2620	272
Z	1	0	357	357	3570	106

4.5.4. Sismik İzolasyonlu Bina Modelinin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi

Sismik izolasyonlu bina modelinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi hem izolasyon biriminin kontrolleri için hem de yapısal olmayan elemanlara gelen deprem etkilerini irdelemek için kullanılmıştır.

Zaman tanım alanında doğrusal analizde kullanılan deprem kayıtlarının aynıları bu analiz yönteminde de tanımlanmıştır.

4.6. Kontroller

4.6.1. Sismik İzolasyon Birimi İçin Deplasman Kontrolü

Aşağıda sismik izolasyon birimi için deplasman kontrolü TBDY-2018 Bölüm 14'e uygun olarak yapılmış.

Tablo 4.19: Sismik izolasyon birimi deplasman kontrolü.

DD-1 Deprem Düzeyi Alt Sınır Değerleri için Deplasman, mm (R=1)		
Etkin Deprem Yüğü Yöntemi	Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi	TBDY-2018 14.14.4.6 Kontrolü
610	583.554	96%

4.6.2. Sismik İzolasyon Birimi İçin Kesme Kuvveti Kontrolü

Aşağıda sismik izolasyon birimi için taban kesme kuvveti kontrolü TBDY-2018 Bölüm 14'e uygun olarak yapılmış.

Tablo 4.20: Sismik izolasyon birimi için taban kesme kuvveti kontrolü.

DD-2 Deprem Düzeyi Üst Sınır Değerleri için Taban Kesme Kuvvetleri, kN (R=1)		
Etkin Deprem Yüğü Yöntemi	Mod Birleştirme Yöntemi	TBDY-2018 14.14.3.4 Kontrolü
2592	2478	96%

4.7. Karşılaştırmalar

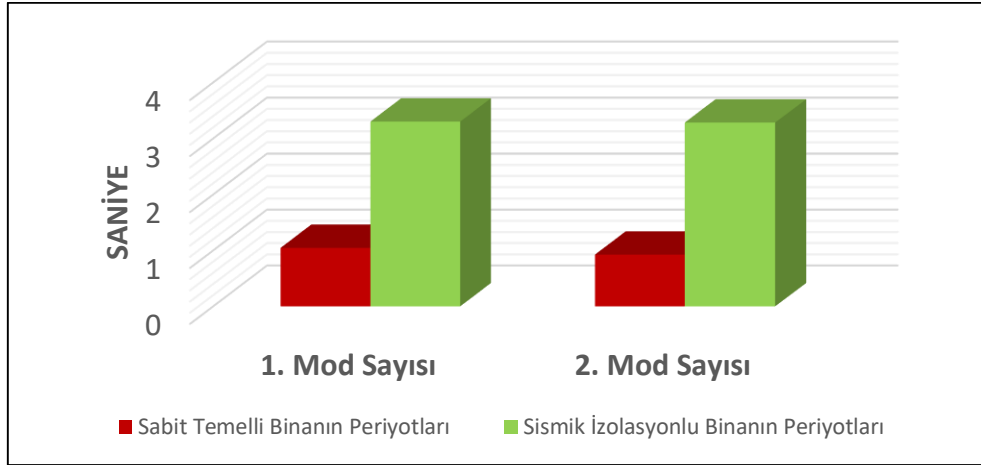
4.7.1. Yapısal Karşılaştırmalar

Bu bölüm kapsamında kullanılan veriler DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yapılan analizlerden elde edilmiştir. Buna ek olarak, eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimi için normal sınır değerlerinin baz alındığı analizler kullanılmıştır. Karşılaştırmaların yapıldığı her iki bina modelinde taşıyıcı sistem davranış katsayısı da $R=1$ 'dir.

Aşağıda her iki bina modeli için hakîm doğal titreşim periyotlarının ve kütle katılım oranlarının karşılaştırmaları yapılmıştır (Şekil 4.22).

Tablo 4.21: Sabit temelli ve sismik izolasyonlu binaların doğal hakîm titreşim periyotlarının ve kütle katılım oranlarının karşılaştırılması.

Sabit Temelli Bina					Sismik İzolasyonlu Bina				
Analiz	Mod Sayısı	Periyot (s)	UX	UY	Analiz	Mod Sayısı	Periyot (s)	UX	UY
Modal	1	1.046	0%	83%	Modal	1	3.301	0%	99.8%
Modal	2	0.925	80%	0%	Modal	2	3.284	99.6%	0%

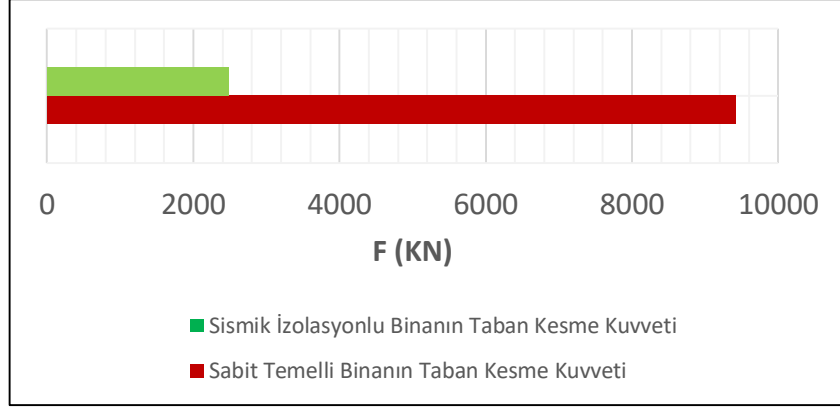


Şekil 4.22: Sabit temelli ve sismik izolasyonlu bina modellerindeki periyotların grafiksel gösterimi.

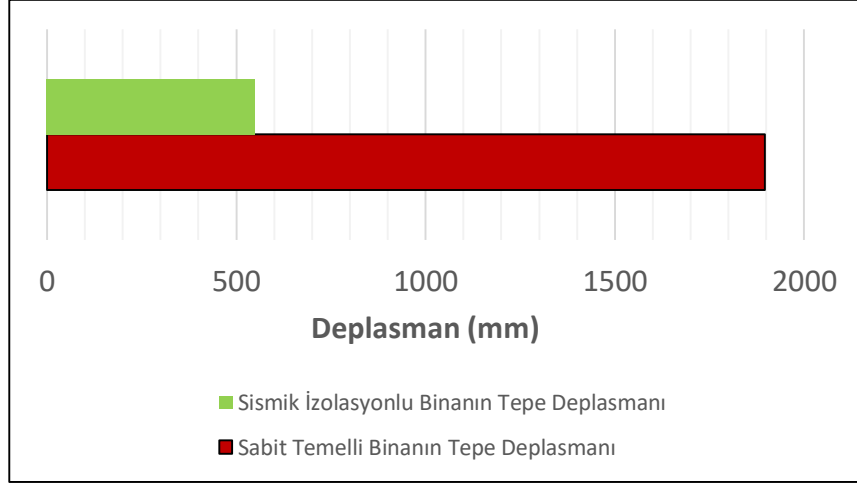
Aşağıda her iki bina modeli için taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırmaları yapılmıştır (Şekil 4.23).

Tablo 4.22: Sabit temelli ve sismik izolasyonlu bina modellerinin taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Sabit Temelli Bina	Sismik İzolasyonlu Bina
9417.52 kN	2474.70 kN



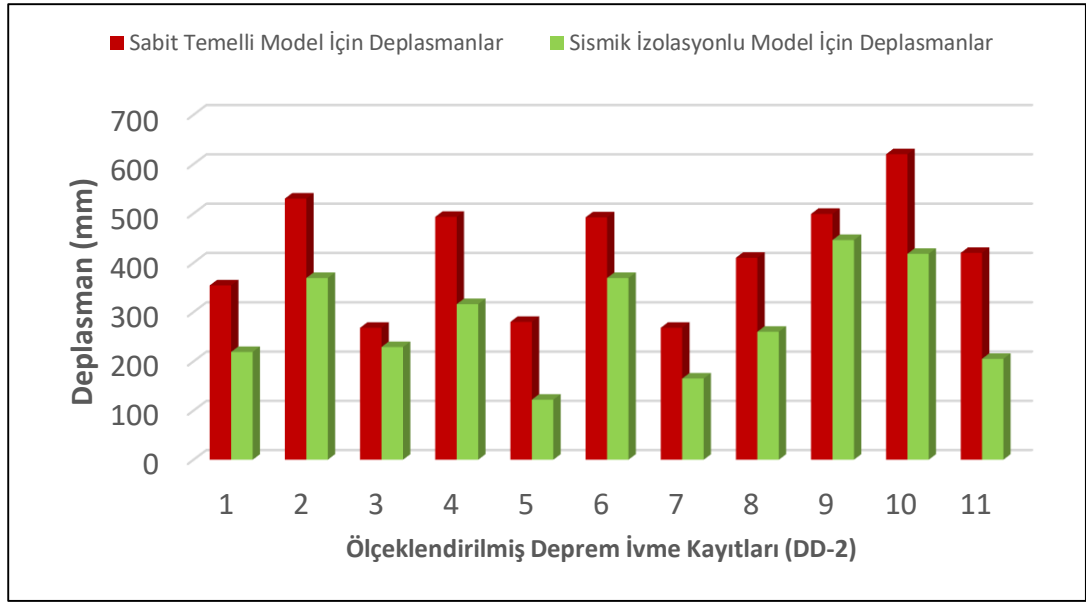
Şekil 4.23: Sabit temelli ve sismik izolasyonlu bina modellerindeki taban kesme kuvvetlerinin grafiksel gösterimi.



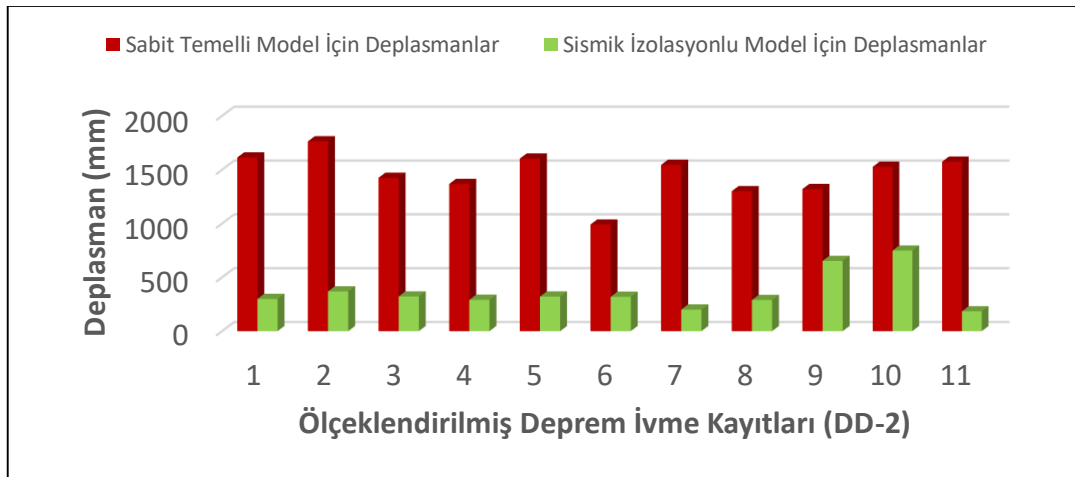
Şekil 4.24: Sabit temelli ve sismik izolasyonlu bina modellerindeki tepe deplasmanlarının grafiksel gösterimi.

4.7.2. Yapısal Olmayan Elemanlar İçin Karşılaştırmalar

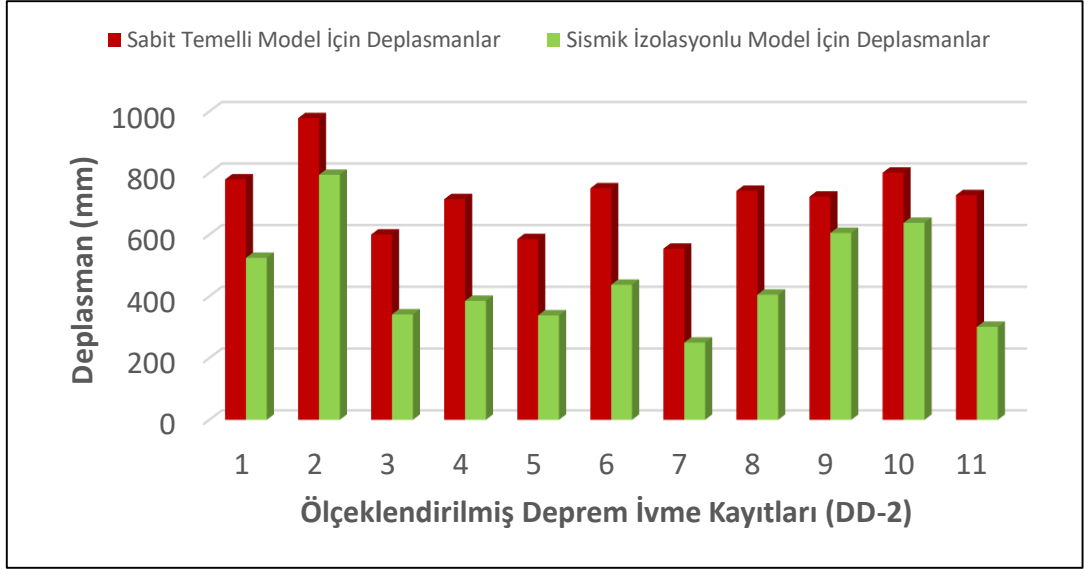
Aşağıda yangın söndürme sistemi ve havalandırma sistemi için hem sabit temelli hem de sismik izolasyonlu modellerde deplasman karşılaştırmaları yapılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken çatı katında modellenmiş yapısal olmayan elemanlara etki eden analiz verileri kullanılmıştır.



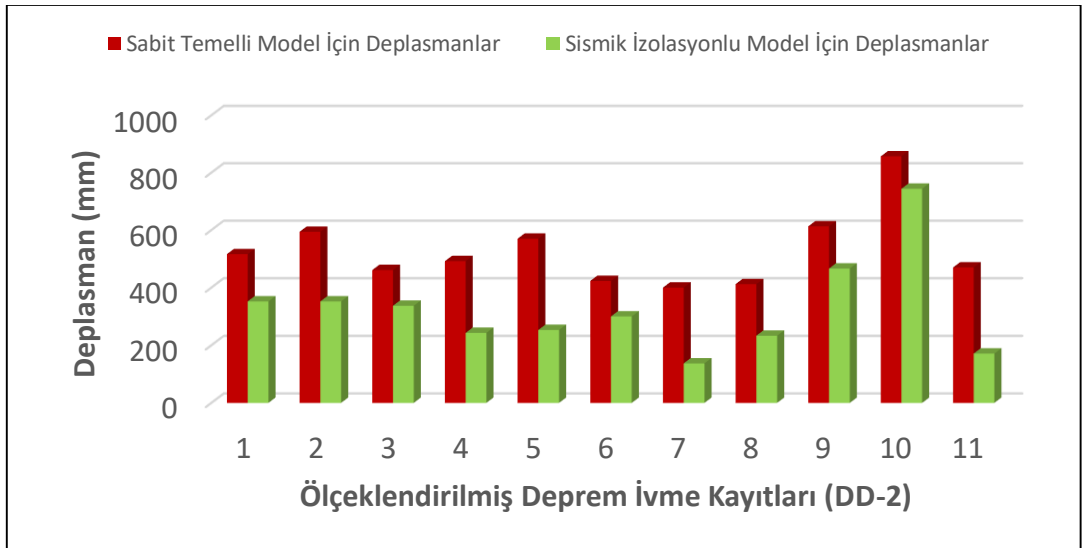
Şekil 4.25: Çatı katı X-X Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme borusu için deplasman karşılaştırılması (X Yönü için).



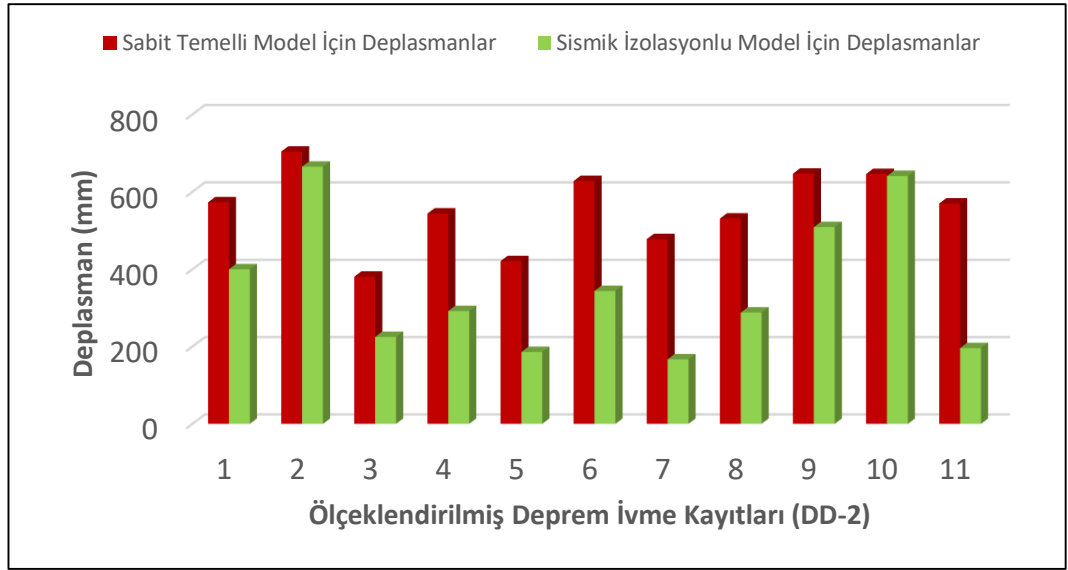
Şekil 4.26: Çatı katı X-X Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme borusu için deplasman karşılaştırılması (Y Yönü için).



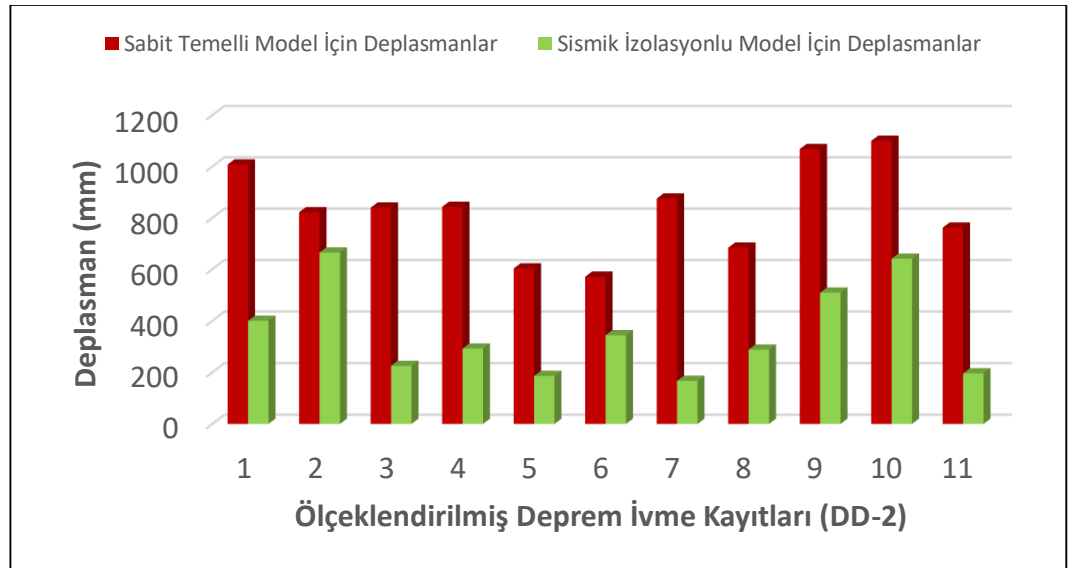
Şekil 4.27: Çatı katı Y-Y Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme borusu için deplasman karşılaştırılması (X Yönü için).



Şekil 4.28: Çatı katı Y-Y Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme borusu için deplasman karşılaştırılması (Y Yönü için).

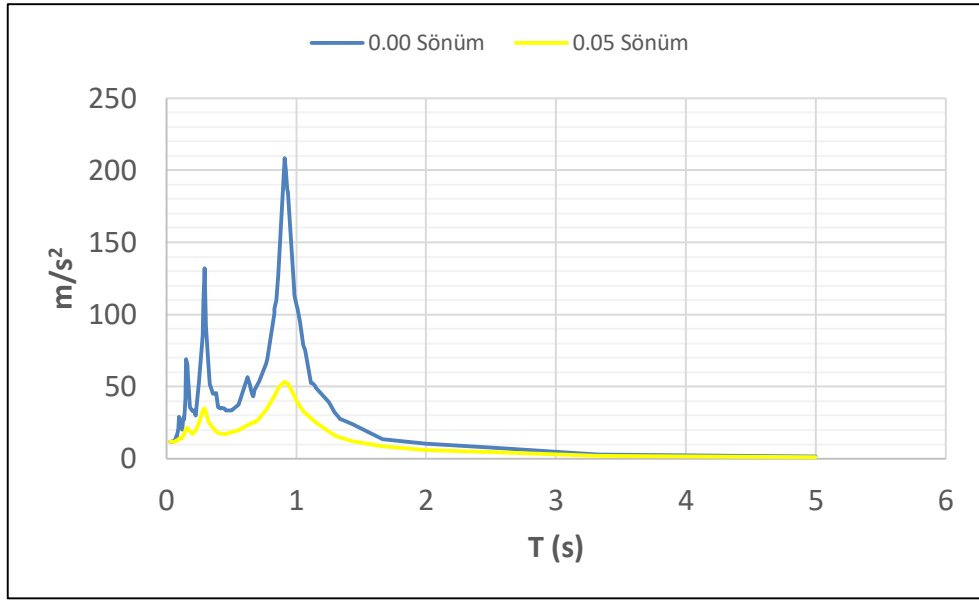


Şekil 4.29: Çatı katı havalandırma sistemi için deplasman karşılaştırılması (X Yönü için).

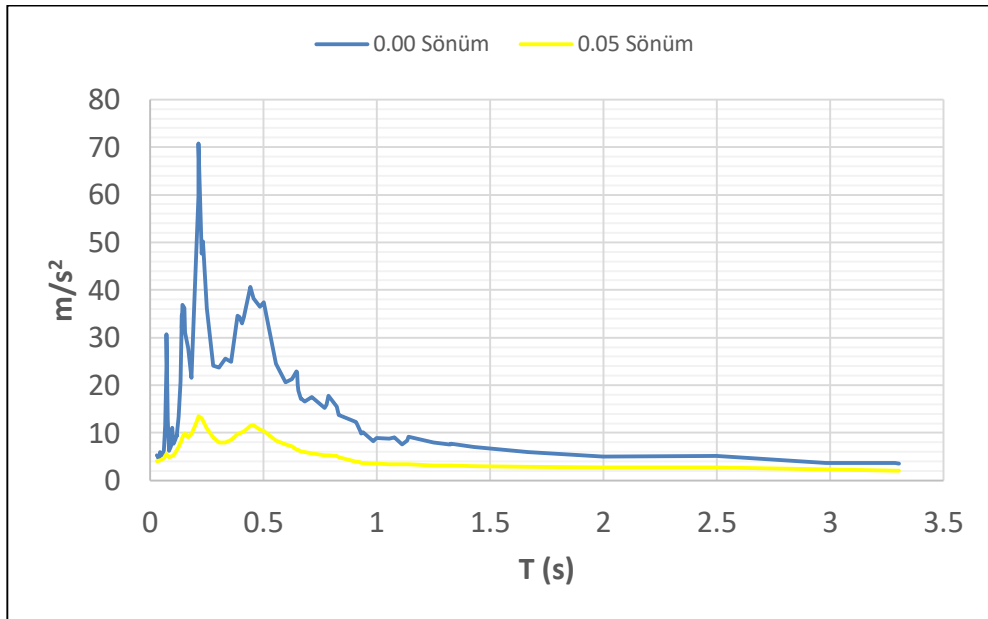


Şekil 4.30: Çatı katı havalandırma sistemi için deplasman karşılaştırılması (Y Yönü için).

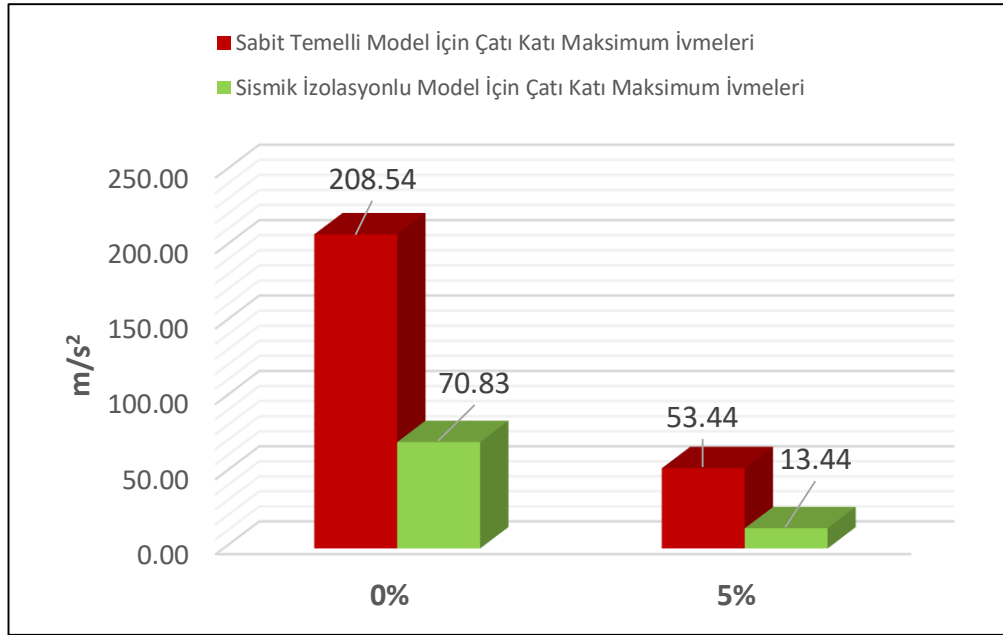
Aşağıda hem sabit temelli hem de sismik izolasyonlu modellerde çatı katı döşemesi için kat ivme spektrumları verilerek maksimum kat ivmeleri belirlenmiştir. Yangın söndürme sistemine ve havalandırma sistemine etki eden maksimum çatı katı ivmelerinin iki farklı sönüm yüzdesiyle karşılaştırılmaları yapılmıştır.



Şekil 4.31: Sabit temelli bina modelinde çatı katı için kat ivme spektrumu.

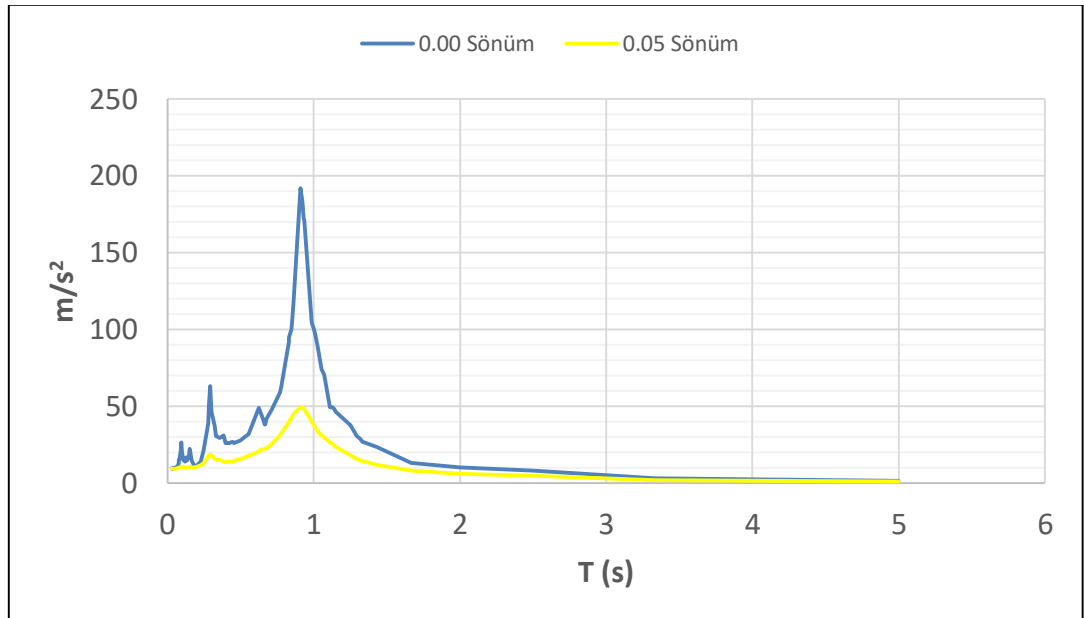


Şekil 4.32: Sismik izolasyonlu bina modelinde çatı katı için kat ivme spektrumu.

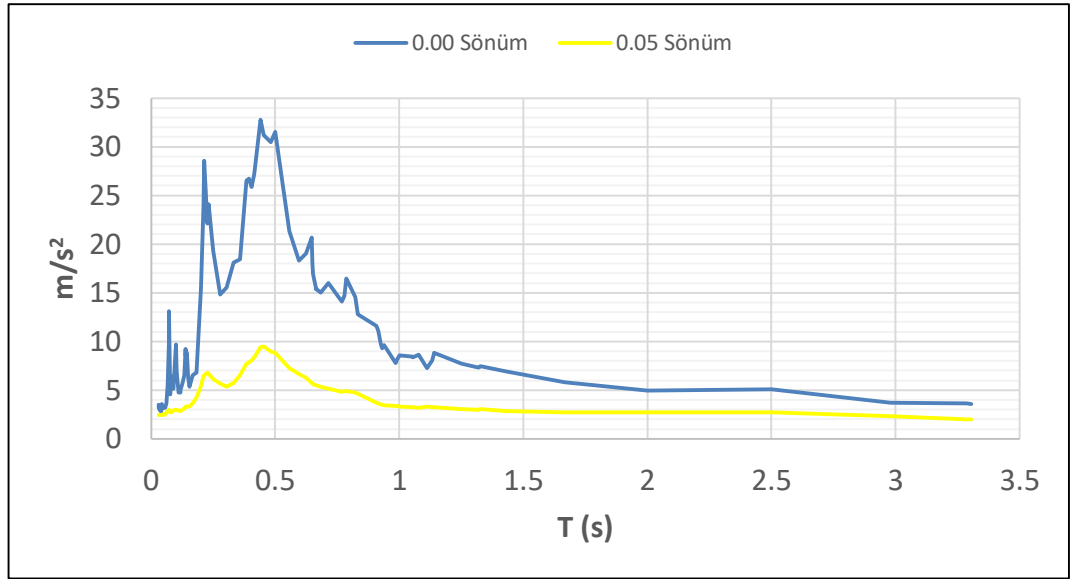


Şekil 4.33: İki farklı sönüm oranı için çatı katındaki maksimum ivmelerinin karşılaştırılması.

Elektrik kabinlerine etki eden maksimum ivmeler bina modellerinin 5. Katının kat döşemesinde oluşmaktadır. Aşağıda hem sabit temelli hem de sismik izolasyonlu modellerde 5. Kat için kat ivme spektrumları gösterilmiştir.

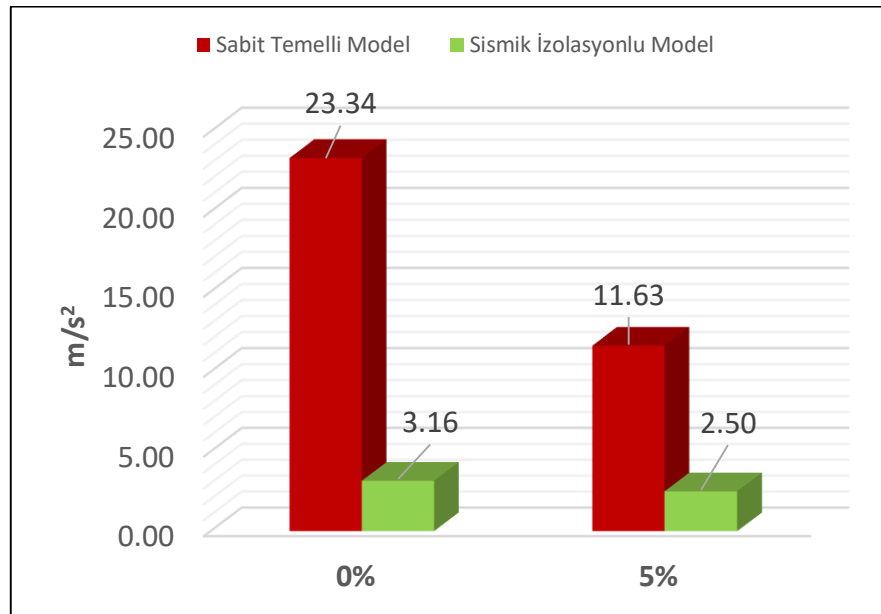


Şekil 4.34: Sabit temelli bina modelinde 5. katı için kat ivme spektrumu.



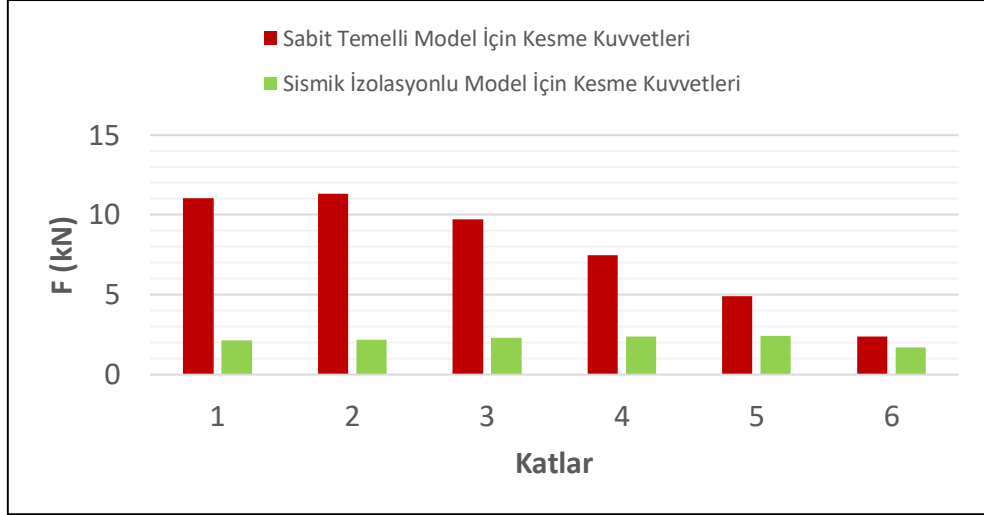
Şekil 4.35: Sismik izolasyonlu bina modelinde 5. katı için kat ivme spektrumu.

3 adet elektrik kabininden oluşan grubun doğal hakîm titreşim periyodu 0.046 saniye'dir. Aşağıda, bu kabin grubunun doğal hakîm titreşim periyoduna karşılık gelen 5. kat ivmelerinin iki farklı sönüm yüzdesiyle karşılaştırılmaları yapılmıştır.

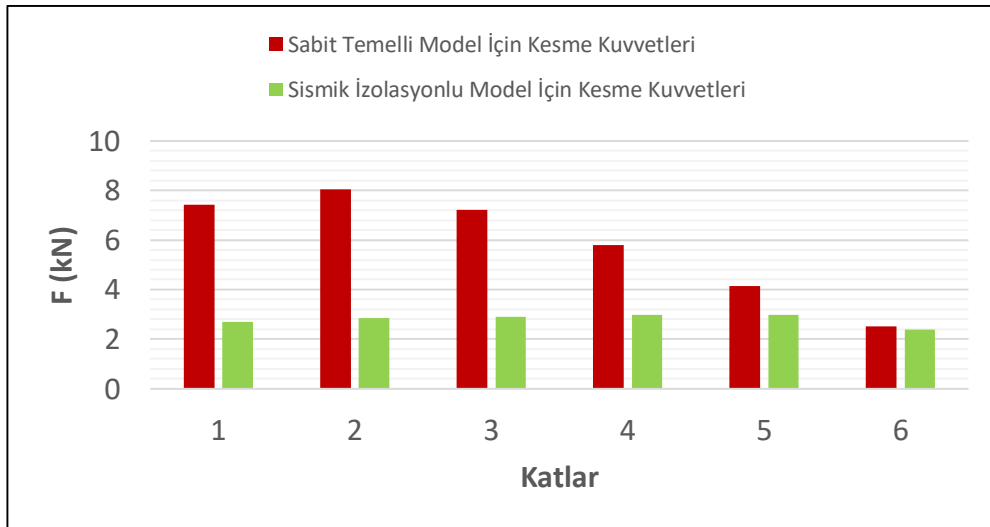


Şekil 4.36: İki farklı sönüm oranı için elektrik kabinlerinin doğal hakîm titreşim periyoduna karşılık gelen 5. Kat ivmelerinin karşılaştırılması.

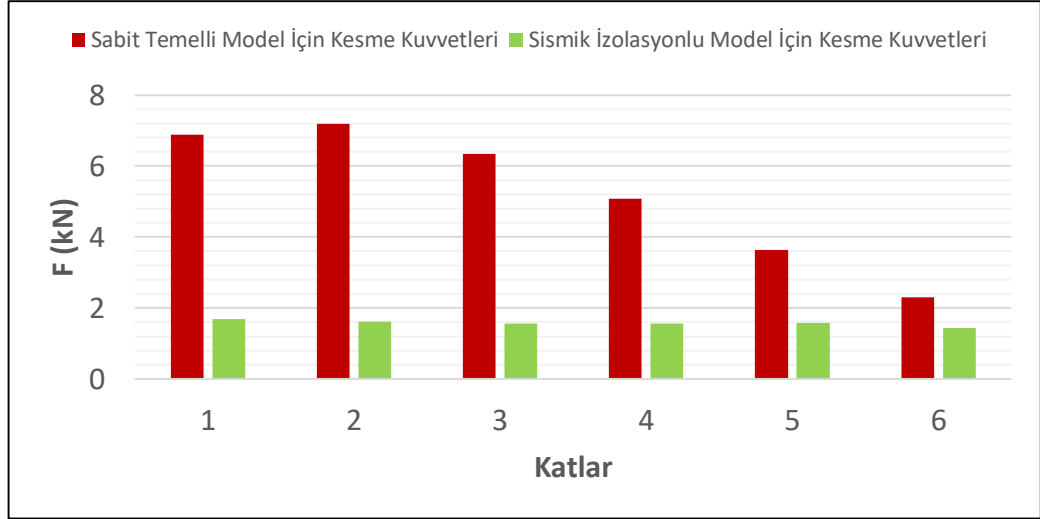
Aşağıda yangın söndürme sistemine ve havalandırma sistemine etki eden kesme kuvvetlerinin hem sabit temelli model için hem de sismik izolasyonlu model için karşılaştırmaları her kat seviyesinde verilmiştir.



Şekil 4.37: X-X Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme sistemine etkiyen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

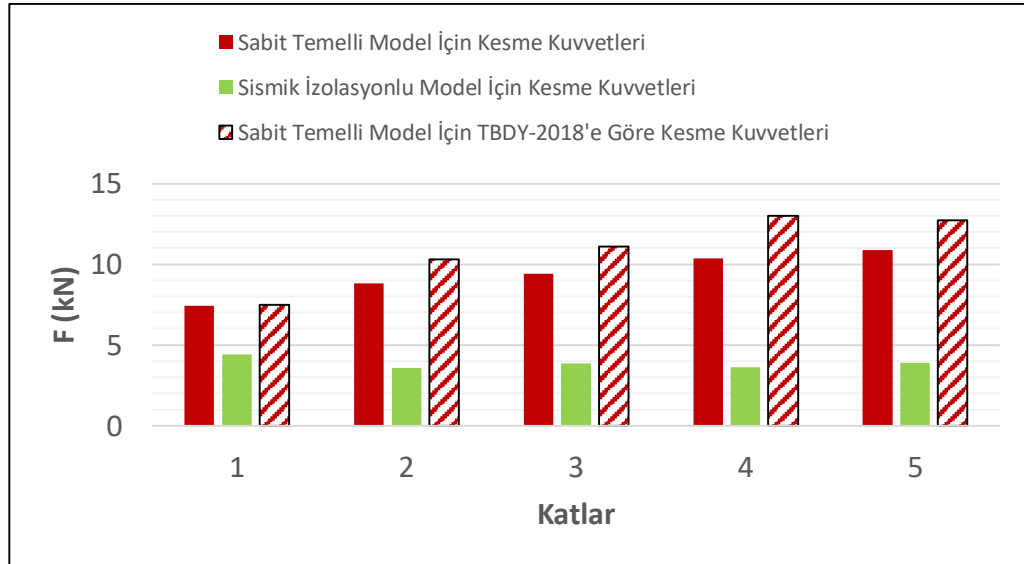


Şekil 4.38: Y-Y Doğrultusundaki DN-100 yangın söndürme sistemine etkiyen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.39: Havalandırma sistemini etkileyen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Aşağıda elektrik kabinlerine etki eden kesme kuvvetlerinin hem sabit temelli model için hem de sismik izolasyonlu model için karşılaştırmaları her kat seviyesinde verilmiştir. Ayrıca sabit temelli model baz alınarak TBDY-2018 Bölüm 6'ya göre kesme kuvveti hesaplanarak karşılaştırmalara dahil edilmiştir.



Şekil 4.40: Elektrik kabinlerine etkiyen kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

5. SONUÇ

Bu çalışmada veri merkezi olarak planlanan binanın yapısal olmayan elemanları ile birlikte hem sabit temelli hem de sismik izolasyonlu birleşik modellerinin TBDY-2018’de belirtilen yöntemlere göre çeşitli analizleri yapılmıştır. Analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda her iki modeldeki yapısal olmayan elemanların deprem anındaki davranışları incelenmiş olup bu elemanlardaki deprem etkileri karşılaştırılmıştır.

- Bina örnek modelleri için yapılan analizler sonucunda sismik izolasyonlu modelin doğal hakîm titreşim periyodunun sabit temelli modelin periyodundan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple, sismik izolasyonlu modele etki eden deprem kuvvetlerinin (taban kesme kuvveti) daha az olduğu saptanmıştır.
- DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde yapılan zaman tanım alanındaki analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda;
 - Sismik izolasyonlu bina modelindeki kat ivmelerinin, sabit temelli modeldeki kat ivmelerine göre daha az olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda da yapısal olmayan elemanlara etki eden kat ivmelerinde büyük azalmaların olduğu tespit edilmiştir.
 - Yapısal olmayan elemanların deplasmanlarının sismik izolasyonlu modelde daha az olduğu gözlemlenmiştir.
 - Sismik izolasyonlu modeldeki yapısal olmayan elemanlara etki eden kesme kuvvetlerinin sabit temelli modele göre daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Kumar A., (2011), “A Simplified Methodology for Seismic Design and Assessment of Nonstructural Elements”, Yüksek Lisans Tezi, University of Britsh of Colombia.
- [2] İpek C., (2015), “Deprem Etkisi Altında Yapısal Olmayan Sistemlerin İncelenmesi”, 5th International Earthquake Symposium, 187-199, Kocaeli, Türkiye, 10-12 Haziran.
- [3] Büyükkaragöz A., Cantürk R., (2018), “Sanayi Yapılarındaki Yapısal Olmayan Elemanların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6 (2), 426-435.
- [4] Şadan B., (2019), “Deprem Yalıtımlı ve Geleneksel Binalarda Tesisatlar İçin Sismik Koruma Hesabı ve Gereksinimi”, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1005-1013, İzmir, Türkiye, 17-20 Nisan.
- [5] Kelly T. E., (2001), “Base Isolation of Structures, Design Guidelines”, Holmes Consulting Group Ltd.
- [6] Dinçer E. A., (2013), “Temel İzolasyonlu Yapıların Dinamik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [7] Özpanlar C. G., (2004), “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [8] Polat H., Kalafat E., Oral K., Tüzün C., Erdik M., (2014), “Base Isolation Application in Residential Buildings in Turkey”, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, İstanbul, Türkiye, 25-29 Ağustos.
- [9] Türker H., (2005), “Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanış Tipleri Örnek Maliyet Analizi”, Deprem Sempozyumu, 538-545, İstanbul, Türkiye, 23-25 Mart.
- [10] Cimilli S., Tezcan S., (2002), “Seismic Base Isolation”, Yüksek Öğrenim Eğitim ve Araştırma Vakfı.
- [11] Murat E., (2007), “Binaların Tabanlarına Elastomer Mesnetler Yerleştirilerek Sismik Yalıtım Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [12] Kalafat E., Yücerman E. A., (2011), “Hastane Tesisatlarında Sismik Hasarların Azaltılması – FEMA 150 Standardı”, 10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 563-575, İzmir, Türkiye, 13-16 Nisan.

- [13] AFAD, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- [14] Salman K., Tran T. T., Kim D., (2020), “Grouping Effect on the Seismic Response of Cabinet Facility Considering Primary-Secondary Structure Interaction”, Nuclear Engineering and Technology, 52 (6), 1318-1326
- [15] Web 1, (2020), <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, (Erişim Tarihi: 11/03/2020)
- [16] Web 2, (2020), <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>, (Erişim Tarihi: 12/03/2020)

ÖZGEÇMİŞ

İmre ÜNER 1992 yılında İzmir’de doğdu. 2012 yılında başladığı Gediz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2016 yılında başarıyla tamamlayarak 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.