

T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ



KONUTLARDA SÜRTÜNMELİ SARKAÇ TİPİ
İZOLATÖRLERİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜBRA KARAASLAN

İSTANBUL, 2025

**T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**



**KONUTLARDA SÜRTÜNMELİ SARKAÇ TİPİ
İZOLATÖRLERİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜBRA KARAASLAN

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHDİ ÖZTÜRK

İSTANBUL, 2025

KABUL VE ONAY

KÜBRA KARAASLAN tarafından hazırlanan “**KONUTLARDA SÜRTÜNMELİ SARKAÇ TİPİ İZOLATÖRLERİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**” adlı tez çalışmasının savunma tarihi 04.08.2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği programı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehdi ÖZTÜRK

İstanbul Arel Üni.

.....

Üye

Prof. Dr. Mehmet Fatih ALTAN

İstanbul Arel Üni.

.....

Üye

Doç. Dr. Çağrı

MOLLAMAHMUTOĞLU

Yıldız Teknik Üni.

.....

İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Ali AKDEMİR

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**KONUTLARDA SÜRTÜNMELİ SARKAÇ TİPİ İZOLATÖRLERİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

04.08.2025

KÜBRA KARAASLAN

ÖZET

“KONUTLARDA SÜRTÜNMELİ SARKAÇ TİPİ İZOLATÖRLERİN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI”

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜBRA KARAASLAN

İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

(DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHDİ ÖZTÜRK

İSTANBUL, 2025

Depremler, hem tarihi nitelikteki yapılar, hem de betonarme ve çelik yapılar gibi göreceli olarak daha yeni olan günümüzdeki yapılar için oldukça önemli doğa olaylarındandır. Geçmişte veya günümüzdeki birçok yapı depremler sebebiyle ağır hasar görmüştür veya yıkıma uğramıştır. Özellikle Türkiye gibi aktif deprem kuşağında yer alan ülkelerde depremlerden kaynaklanan hasar ve yıkımların önlenmesi oldukça önemlidir. Sismik izolasyon yöntemleri, yapıların deprem etkilerini güvenle karşılayabilmesini sağlayan ve sismik performanlarını arttıran etkili tekniklerdendir. Bu çalışmada öncelikle sismik izolasyon yöntemlerinin çalışma prensipleri ve uygulama esasları ile ilgili açıklamalar sunulmuştur. Geçmişten günümüze bu yöntemin kapsamında yer alan çeşitli izolasyon yöntemleri açıklanmıştır. Ardından, 2018 Deprem yönteminde yer alan izolasyon sistemi tasarımı koşulları özetlenerek örnek bir bina üzerinden sayısal bir çalışma yapılmıştır. Sayısal çalışmada sürtünmeli sarkaç sistem kullanımı ile sismik performansı yetersiz olan bir binanın hedef performansa getirilmesi sağlanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise, sismik izolasyon uygulaması, etkinliği ve maliyeti ile ilgili sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sismik İzolasyon, Kurşun Çekirdekli Kauçuk Sistemler, Sürtünmeli Sarkaç Sistemler, Sismik Performans, Sayısal analiz

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FRICTION PENDULUM TYPE ISOLATORS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

MASTER'S THESIS

KÜBRA KARAASLAN

GRADUATE SCHOOL, ISTANBUL AREL UNIVERSITY

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. MEHDİ ÖZTÜRK)

İSTANBUL, 2025

Earthquakes are significant natural events that affect both historical structures and relatively newer constructions, such as reinforced concrete and steel buildings. Many buildings, both from the past and present, have sustained severe damage or experienced destruction due to earthquakes. In countries located within active earthquake zones, such as Turkey, preventing damage and destruction caused by earthquakes is of utmost importance. Seismic isolation techniques are among the most effective methods for enhancing the seismic performance of structures, enabling them to withstand earthquake forces safely. In this study, the principles and application fundamentals of seismic isolation techniques are first presented. Various isolation methods, from past to present, are explained within the scope of these techniques. Next, the design requirements for isolation systems in the 2018 Earthquake Code are summarized, followed by a numerical study on an example building. In this numerical analysis, a friction pendulum system was applied to achieve the target performance level for a building with insufficient seismic performance. Finally, the last section presents the results regarding the effectiveness, impact and cost of seismic isolation applications.

Key Words: Seismic isolation, Lead Rubber Bearings, Friction Pandulum System, Seismic Performance, Numerical Analyses

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
KISALTMA VE SEMBOL LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	ix
1 GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı.....	2
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.3 Çalışma Yöntemi.....	2
1.4 Çalışma Planı	3
1.5 Literatür Özeti	3
2 SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİ	13
2.1 Genel Bilgiler	13
2.2 Sismik İzolasyon Uygulamasında Etkili Olan Parametreler	16
2.3 Sismik İzolasyon Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları	19
3 SİSMİK İZOLATÖRLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	21
3.1 Elastomer Mesnet Esaslı Sistemler	21
3.1.1 Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler	21
3.1.2 Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler	23
3.1.3 Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler	26
3.2 Kayma Esasına Dayanan Sistemler.....	27
3.2.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler	27
3.2.2 Elastik Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi	29
3.2.3 Fransa Elektrik Kurumu Sistemi	30
3.2.4 TASS Sistemi	31
3.2.5 Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Birleşik Sistemi.....	32
4 TBDY 2018'E GÖRE SİSMİK İZOLASYON	33
4.1 Genel Tasarım İlkeleri.....	33
4.2 Elastomer Yalıtım Birimleri.....	36
4.3 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri.....	43
4.4 Deprem Hesap Yöntemleri.....	44
5 SAYISAL UYGULAMA	46
5.1 Malzeme Özellikleri.....	47
5.2 Zemin ve Deprem Parametreleri	47
5.3 Modelleme ve Analiz	51
5.4 Analiz Sonuçları.....	57
5.5 Maliyet Karşılaştırması	64
6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
7 KAYNAKLAR	69
8 ÖZGEÇMİŞ.....	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.2 Çelik plakalı kauçuk sistemde davranış (Murat, 2007)	22
Şekil 3.3 Kurşun çekirdekli kauçuk izolator örneği (URL-1)	23
Şekil 3.4 Kurşun çekirdekli izolatorlerde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi: (a): Kauçuk, (b): Kurşun, (c):Kurşun + Kauçuk (Toprak, 2012)	25
Şekil 3.5 Yüksek sönümlü izolator sisteminde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi (Çağlar, 2002)	26
Şekil 3.6 FPS çalışma mekanizması (Yücesoy, 2005).....	28
Şekil 3.7 FPS elemanları (Baş, 2024)	29
Şekil 3.8 R-FBI kesit görünüşü ve sistem elemanları (Çağlar, 2002)	29
Şekil 3.9 EDF sistemi elemanları ve kesit görünüşü (Toprak, 2012)	31
Şekil 3.10 TASS sistemi elemanları ve kesit görünüşü (Toprak, 2012).....	32
Şekil 3.11 Bileşik sistem izolator uygulaması (Demir, 2008)	32
Şekil 4.2 Burkulma yükü bağıntıları parametreleri.....	40
Şekil 4.3 Elastomer yalıtım birimlerinde kuvvet-yerdeğiştirme döngüsü ve ilgili parametreler.....	41
Şekil 4.4 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinde kuvvet-yerdeğiştirme döngüsü ve ilgili parametreler	43
Şekil 5.1 Kat planı	46
Şekil 5.2 Kesit Görünüşü	46
Şekil 5.3 Türkiye Deprem Tehlike Haritası	49
Şekil 5.4 DD1 ve DD2 Azaltılmış Yatay Elastik Tasarım Spektrumu	50
Şekil 5.5 Yük etiketleri (ETABS)	52
Şekil 5.6 Konvansiyonel tasarım kat planı görünüşü ve kolon-perde yerleşimleri (ETABS)	52
Şekil 5.7 Konvansiyonel tasarım 3D modeli (ETABS)	52
Şekil 5.8 C30 Beton malzemesi tanımı (ETABS)	53
Şekil 5.9 B420C donatı çeliği tanımı (ETABS)	53
Şekil 5.10 Deprem yalıtımlı tasarım 3D modeli (ETABS).....	54
Şekil 5.11 Deprem yalıtımlı tasarım izolator katı (a) ve normal kat (b) planları (ETABS)	55
Şekil 5.12 İzolatorlerin modellenmesi ve link elemanlar	56
Şekil 5.13 Link elemanlar ile tanımlanan izolator parametreleri.....	57
Şekil 5.14 Konvansiyonel binaya ait 1.mod şekli (Y Yönü)	58

Şekil 5.15 Konvansiyonel binaya ait 2.mod şekli (Burulma)	58
Şekil 5.16 Konvansiyonel binaya ait 3.mod şekli (X Yönü)	59
Şekil 5.17 Deprem yalıtımlı binaya ait 1.mod şekli (Y Yönü)	59
Şekil 5.18 Deprem yalıtımlı binaya ait 2.mod şekli (X Yönü)	60
Şekil 5.19 Deprem yalıtımlı binaya ait 3.mod şekli (Burulma)	60
Şekil 5.20 DD2 Yükleme Taban Kesmeleri: (a) Konvansiyonel, (b) Yalıtımlı sistem	61
Şekil 5.21 Analiz sonuçlarından elde edilen kat ivmelerinin karşılaştırılması	62
Şekil 5.22 X Doğrultusu görelî kat ötelemeleri: (a) Konvansiyonel, (b) Yalıtımlı sistem	63
Şekil 5.23 Y Doğrultusu görelî kat ötelemeleri: (a) Konvansiyonel, (b) Yalıtımlı sistem	64
Şekil 5.24 Sta4CAD konvansiyonel yapı modeli	65
Şekil 5.25 Sta4CAD deprem yalıtımlı yapı modeli	65

KISALTMA VE SEMBOL LİSTESİ

μ_e	: Etkin sürtünme katsayısı
A_r	: Bir elastomer katmanının yüke maruz yüzey alanı
B	: Çelik plakaya yapışan elastomer çapı
B_L	: Kurşun çekirdek çapı
D	: Yalıtım birimi için yerdeğiştirme değeri
D katsayısı	: Dayanım Fazlalığı Katsayısı
D_{TM}	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirme
D_y	: Akma yerdeğiştirmesi
E_0	: Kauçuk esneklik modülü
E_c	: Yalıtım birimi basınç modülü
E_c	: Elastomer birime ait basınç modülü
E_d	: Deprem Etkisi
E_v	: Düşey rijitlik modülü
F	: D yerdeğiştirmesindeki kuvvet
F_Q	: Kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi karakteristik dayanımı
F_Q	: Karakteristik akma dayanımını
F_y	: Etkin akma dayanımını
G	: Ölü Yük
G_v	: Elastomer malzemenin kayma modülü
h_i	: Kat yüksekliği (i. Kata ait)
I	: Bina önem katsayısı
K	: Kauçuk malzeme için hacim modülü
k_1	: Başlangıç rijitliği
k_2	: Kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi elastik ötesi rijitliği
k_2	: İkincil rijitlik
k_e	: D yerdeğiştirmesi durumundaki etkin rijitlik
k_v	: Düşey rijitlik
P	: Düşey kuvvet
P'_{cr}	: Yatay yerdeğiştirme olduğu durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
P_{cr}	: Yatay yerdeğiştirme olmadığı durumda elastomer yalıtım birimlerinin burkulma yükü
P_{K1}	: $1.4G + 1.6Q$ etkisinde oluşan düşey kuvvet
P_{K2}	: $1.2G + Q \pm E_d$ etkisinde oluşan düşey kuvvet
P_{str}	: Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekilde değiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi
Q	: Hareketli Yük

R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R_c	: Yalıtım birimi kayma yüzeylerinin etkin eğrilik yarıçapı
S	: Şekil katsayısı
T	: Elastomer katman kalınlığı
T_r	: Elastomer katmanların toplam kalınlığı
W	: Binanın deprem sırasındaki toplam kütleye karşı gelen ağırlığı
W_d	: Döngüde tüketilen enerji
β_e	: Etkin sönüm oranı
γ_c	: Düşey yüklerden kaynaklanan açısall şekildeğiştirme
γ_{c,E}	: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınç birim şekildeğiştirme
γ_{c,st}	: Basınçtan meydana gelen açısall şekildeğiştirme
γ_{r,st}	: Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki görelli dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme
γ_s	: Toplam deprem tasarım yerdeğiştirmesinden kaynaklanan açısall şekildeğiştirme
γ_{s,E}	: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme
γ_{s,st}	: Deprem dışındaki diğer etkilerden dolayı (genleşme, rüzgar vb.) oluşacak yatay yerdeğiştirmeden meydana gelen açısall şekildeğiştirme
Δ_s	: Yatay yüklerden meydana gelen yatay yerdeğiştirme
θ_s	: Tasarım dönme açısı
λ_{ae}	: Yaşlanma ve çevresel etkiler
λ_{deney}	: Yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler
λ_{spek}	: Üretim değışkenliği çarpanı
DD1	Deprem düzeyi 1
DD2	: Deprem düzeyi 2
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
EDF	: Electricite – de France
FPS	: Friction Pandulum System
HDRB	: High Ductility Rubber Bearings
KÇE	: Kurşun çekirdekli elastomer izolasyon birimi
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
LDRB	: Low Ductility Rubber Bearings
LRB	: Lead Rubber Bearing
R-FBI	: Resilient-Friction Base Isolator
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
ŞGDT	: Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TASS	: Taisei Shake Suspension System

TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
UBC	: Uniform Building Code
YSE	: Yüksek sönümlü elastomer izolasyon birimi



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehdi ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca ilk danışmanlığımı yapan ve bilgi ve birikimleriyle, yol göstericiliğiyle bana yardımcı olan, desteklerini üzerimden eksik etmeyen değerli lisans hocam Prof. Dr. Mehmet Fatih ALTAN'a, çalışma sürecince karşılaştığım tüm zorluklar için manevi desteğini esirgemeyen meslektaşım, sevgili eşim Hayri KARAASLAN'a , bu süreçte bilgi birikiminden yararlandığım üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma, bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

04.08.2025

KÜBRA KARAASLAN

1 GİRİŞ

Depremler, ülkemizin gerçeği olan kaçınılmaz tektonik olaylardır. Çok eski zamanlardan günümüze kadar birçok coğrafi bölgemizde büyük depremler görülmüştür ve bu depremlerin sonucunda çok fazla can ve mal kaybı yaşanmıştır. Sismik olarak aktif bir kuşak üzerinde konumlanmamız sebebiyle büyük depremlerin gelecek yıllarda da oluşacağı açıktır. Mevcut yapıların değerlendirilerek güçlendirilmesi veya yeni yapılacak binaların tasarımlarında depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri izlenmektedir. Bu prosedürde, sözkonusu yapıların sismik performansının bir hedef performansı sağladığı öngörülür ve tasarımlar bu doğrultuda yapılmaktadır. Yani bu tür tasarımlarda, deprem etkisini öngörmek ve yapının bu etkiyi düşey yüklemelerle birlikte güvenli şekilde taşımasını sağlamak esastır. Depremlerde yaşanan yer sarsıntısı ile yapının kendi ataletine bağlı olarak, yapıda büyük göreceli ötelenmeler ve önemli kesit tesirleri oluşabilmektedir. Bu durumda yapının, maruz kaldığı kuvvet ve momentlerin taşıyıcı sistem tarafından taşınması gerekmektedir. Bu aşamada yapı, tasarım yaklaşımına da bağlı olarak belli bir miktar hasar alma yoluyla enerjiyi sönmüleme imkanına da sahiptir. Ancak, sismik izolasyon yöntemlerinin kullanılmasıyla, yapıya aktarılan deprem ivmelerini düşürerek yapının taşımak zorunda kalacağı etkilerin azaltılması da mümkündür. Sismik izolasyon yöntemleri, yapının zeminden yalıtımını sağlayarak deprem etkisinin üst yapıya çok daha az aktarılmasını sağlayan teknolojik yöntemlerdir. Bu uygulamada, yer değiştirmeler yanal rijitliği düşük olan izolasyon sisteminde toplanarak deprem ivmeleri sönmelenmektedir ve böylece üst yapının göreceli ötelenme değerleri azaltılarak rijit bir davranış sergilemesi sağlanmaktadır. Böylece yapı, depremden izole edilmiş olmaktadır ve yüksek bir sismik performans göstermesi beklenmektedir.

Sismik izolasyon yöntemleri, sismik performansı arttırılmak istenen, güçlendirilmek istenen veya yeni tasarlanacak yapılarda kullanılabilmektedir. Özellikle deprem sonrasında hemen kullanımı gereken, yani depremlerde ağır hasarlar olarak fonksiyonelliğini kaybetmemesi gereken hastane gibi binalarda sismik izolasyon sistemleri ile tasarım büyük avantajlar sağlamaktadır. Ekonomik açıdan, geleneksel ankastre sistemlere kıyasla daha maliyetli olmaları ve kullanım koşullarında da bazı değişiklikler gerektirmeleri sebebiyle sismik izolasyon

yöntemlerinin kullanımı günümüzde ankastre sistemlerden çok daha azdır. Ancak bu sistemlerin, sismik performans anlamında oldukça başarılı sonuçlar sağladığı hem mevcut izolasyonlu binaların durumlarının incelenmesi hem de akademik çalışmalarla ortaya konmaktadır.

1.1 Problemin Tanımı

Sismik izolasyon yöntemleri, deprem yalıtımı sağlayarak yapıların sismik performansını arttırmaktadır. Ülkemiz, depremler sebebiyle çok büyük can ve mal kayıpları yaşamıştır. Bu kayıpların, sismik izolasyon sistemleri ile azaltılması mümkündür. Ancak bu yöntemlerin teknolojik ve göreceli olarak yeni sistemler olması sebebiyle tasarım ve uygulama aşamalarının detaylandırılarak bu yöntemler hakkındaki bilgilerin arttırılması gerekmektedir. Ayrıca farklı tür izolasyon yöntemlerinin mevcut olması nedeniyle, yöntemlerin farklılıklarının bilinmesi, hangi durumda hangi sistemin kullanılacağına karar verilmesi, avantaj ve dezavantajlı durumların öngörülebilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, sismik izolasyon yöntemleri bu açılardan ele alınmıştır.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Çalışmanın amacı, sismik izolasyon yöntemlerinin açıklanması, tasarım ve uygulama açısından özelliklerinin incelenmesidir. Yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarının bilinerek, konu alınan yapı ve amaç doğrultusunda uygun sistemlerin kullanılması ve doğru tasarım aşamalarının uygulanması önemlidir. Bu çalışmadaki hedef, sismik yalıtım yöntemlerinin ve tasarımsal konuların detaylıca irdelenerek ardından sayısal bir örnek üzerinden bu prosedürün başarıyla sonuçlandırıldığının gösterilmesini sağlamaktır.

1.3 Çalışma Yöntemi

Çalışmada öncelikle sismik izolasyon yöntemlerine ait bilgiler verilerek bu sistemlerin açıklanması, sistemler hakkında temel bilgilerin edinilmesi sağlanmıştır. Ardından sistemlerin nasıl çeşitlendirildiği ve farklı sistemlerin ne şekilde tercih edilip kullanıldığı ile ilgili bilgiler verilerek tasarımsal konularda sistem seçimi hakkında da fikir sahibi olunması amaçlanmıştır. Daha sonra çalışma bilgisayar ortamındaki nümerik analizler ile devam ettirilmiştir. Bu aşamada örnek bir bina yapısı ele

alınmıştır ve sonlu elemanlar yöntemini kullanan ETABS yazılımı ile modellenerek analiz edilmiştir. Nümerik prosedürün sonunda, analiz sonuçları incelenmiştir ve kullanılan izolasyon yöntemi değerlendirilerek bulgular sunulmuştur.

1.4 Çalışma Planı

Tez çalışmasının ilk bölümünde, sismik izolasyon yöntemlerinin önemi vurgulanarak çalışmadaki hedeflerden ve kapsamdan bahsedilmiştir. Bu bölümde ayrıca literatür özeti verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, sismik izolasyon sistemlerine ait genel bilgiler, davranış mekanizmaları, uygulamada etkili olan parametreler ve bu sistemlerin avantajlı yönleri ile dezavantajlı yönleri açıklanmıştır

Çalışmanın üçüncü bölümünde, sismik izolasyon yöntemleri sınıflandırılarak farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip farklı sistemler tanıtılmıştır. Bu sistemlerin olumlu ve olumsuz yönlerinden söz edilerek günümüzde yaygın olarak kullanılan popüler mekanizmalar açıklanmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) - 2018’de, sismik izolasyonlu tasarıma ilişkin verilen kural ve öneriler derlenmiştir.

Beşinci bölümde ise, ETABS programı kullanılarak izolasyon sistemi uygulanan ve izolasyon sistemsiz (konvansiyonel) olmak üzere iki farklı yaklaşımla bir hastane binası tasarlanmıştır. Analiz sonuçları verilerek iki farklı yaklaşıma ilişkin maliyet kıyaslaması yapılmıştır.

Çalışmanın son bölümü olan altıncı bölümde ise sonuçlar derlenerek öneriler ile birlikte sunulmuştur.

1.5 Literatür Özeti

Sismik izolasyon sistemlerinin konu alındığı literatür çalışmaları bu bölümde derlenmiştir. Söz konusu çalışmalarda izolasyon uygulamalarının çeşitliliği ve parametrik özellikleri, yeni tasarlanan yapılarda kullanımı veya sismik performans ve güçlendirmeye alanındaki etkisi gibi araştırma alanları konu alınmıştır.

Mostaghel (1983), sürtünmeli izolasyon sistemi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu sistemin sağladığı sürtünme sayesinde sismik etkiler sönümlenmiştir ve izolasyon sistemi üzerindeki üst yapı deprem yüklerinden izole edilmiştir.

Koh ve Balendra (1989), izolasyonlu yapılarda özellikle yüksek eksenel yükler bulunması durumunda, mesnet bölgelerinde P-Delta etkilerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Çalışmada yapılan analizlerle, P-Delta etkilerinin ihmal edilmesi halinde önemli burkulma problemlerinin ortaya çıkabileceği gösterilmiştir.

Bayülke (1993), depreme dayanıklı yapı tasarımında izolatör kullanımının esaslarını, bazı örnek uygulamaları ve sonuçlarını açıklamıştır.

Kelly (1998), yapısal tasarımda rezonans problemine dikkat çekerek zemin hakim periyodunun kısa olduğu bölgelerde kısa periyotlu yapılar inşa edilmesi durumunda, bu tür yapıların sismik davranışının problemli olacağını belirtmiştir. Bu duruma çözüm olarak yapı periyotlarının uzatılmasını ve esnek bir davranış sağlanmasını önermiştir. Ancak bu durumda da yapısal olmayan elemanların hasar göreceğini belirtip kat ivmelerinin azaltılması ile bu sorunun giderilebileceğini ne srmştir. Kat ivmelerinin azaltılmasında izolatör sisteminin etkinliğini vurgulamış ve örneklerle açıklamıştır.

Cimilli (2001), iki katlı örnek bir yapıyı ele alarak, zaman tanım alanında analiz ve eşdeğer deprem yükü yöntemlerini kullanarak sismik izolasyonun etkisini incelemiştir. Yapılan analiz sonuçları, bina periyotları, yanal yerdeğiştirmeler ve taban kesme kuvvetleri gibi parametreler karşılaştırılmıştır.

Asher ve diğerleri (2001), California'da bulunan bir sağlık merkezinin, yakın fay etkisi altında izolatörlü tasarımı ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Güzey (2002), kauçuk izolatörlerin mekanik özelliklerini, sonlu elastisite teorisi kullanarak ve MSC Marc/Mentat ile analiz etmiştir. Çalışmada silindirik izolatörler iki ve üç boyutlu şekilde modellenmiştir ve farklı yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır. İki farklı modelleme ve yazılım sonuçlarının büyük lde birbiriyle uyumlu olduğu saptanmıştır.

Wu ve diğerkleri (2002), elastomer mesnetli beş katlı bir yapıya deprem etkisi altında sarsma tablası testleri uygulamıştır ve yapı sisteminin karakteristik özelliklerini belirlemiştir. Sonuçlara göre sismik izolatör uygulanmış durumda oluşan kat ivmeleri tüm deprem kayıtları için yalıtımsız modele göre daha düşüktür.

Ateş ve Dumanoglu (2003), zayıf zeminlerde yer alan yapılarda izolasyon uygulamasının dinamik davranışını incelemek amacıyla, sürtünmeli sarkaçlı bir 7 katlı binayı konu almıştır. Bina modeli, geleneksel ankastre mesnetli olarak ve izolatörlü şekilde olmak üzere iki farklı yolla oluşturulmuştur. Sonuçlara göre zeminin elastik yapısı, izolasyonlu yapılar için kaydadeğer bir etki oluşturmamaktadır.

Baştuğ (2004), UBC97'ye göre sismik izolasyon uygulaması üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmada konu alınan yapı, ankastre mesnetli klasik yöntemle ve bunun dışındaki üç farklı izolatör sistemi ile Sap2000 yazılımında modellenmiştir. Ankastre sistemli model ile yapılan kıyaslamalar sonucunda, izolatör sisteminin depreme dayanıklı yapı tasarımında oldukça etkin bir yol olduğu vurgulanmıştır. Benzer şekilde, Özpalanlar (2004)'de de sismik izolasyonun önemi ve etkinliği ifade edilmiştir. Bu çalışmada, sismik izolasyonun faydaları, uygulama bilgileri, gelecekteki yeri gibi konulara değinilmiştir.

Ryan ve Chopra (2004), simetrik olmayan yapılarda sismik izolatörleri doğrusal olmayan yöntemle değerlendirmiştir. Bu çalışmada, izolatörlerde meydana gelen maksimum deformasyonlar elde edilmiş ve yapısal sistem davranışı incelenmiştir.

Yücesoy (2005), UBC97 esaslarına göre tasarlanan izolatörlerin olduğu beş katlı bir yapıyı Sap2000 yazılımı ile analiz ederek, izolatörlü binaların deprem davranışını incelemiştir. Çalışmada büyük yerdeğıştirmelerin komşu binalarla ilişkisi de incelenmiştir.

Ercan ve Nuhoğlu (2005) çalışmasında, farklı yükseklikte çerçeve sistemlerde kullanılan farklı tip izolatörlerin sismik analizleri yapılmıştır. Çalışmada farklı zemin koşulları da dikkate alınarak sonuçlar karşılaştırılmıştır ve izolatörlerin sismik davranışına olumlu yönde katkı yaptığı vurgulanmıştır.

Türker (2005)'de bir hastane yapısı konu alınarak perde + çerçeve geleneksel taşıyıcı sistem ve izolatörlü çerçeve sistem olmak üzere iki farklı yaklaşımla tasarlanmıştır. İzolatör olarak kurşun çekirdekli sistem kullanılmıştır. İki yöntemle tasarlanan binaların maliyet kıyaslaması yapıldığında izolatörlü durumun az bir farkla daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Uyar (2005), izolatör tasarımı, izolatörlü yapıların modelleme yöntemleri ve izolatörlerin sismik performans anlamındaki olumlu etkileri üzerine çalışmalar yapmıştır.

Pınarbaşı ve diğerleri (2005), sismik izolasyon sistemlerinin çalışma şekli, temel özellikleri ve kullanım şekillerine değinerek izolasyon sisteminin önemli konularından olan elastomerik yastıklara dikkat çekmiştir. Çalışmada, bu elemanlarla ilgili deneysel bulgulara yer verilmiştir.

Tsai ve diğerleri (2006), sismik izolatörlü yapılarda katlara etkiyen deprem yüklerinin bina boyunca dağılımını ortaya çıkaran çalışmalar yürütmüştür.

Tolay (2006), taban izolatörlerini konu almıştır. Çalışmada izolatörlerin mekanik özellikleri ve modelleme esaslarına ilişkin konular üzerinde durulmuştur. Örnek olarak bir yapı modeli hazırlanmış, taban izolatörlü ve ankastre mesnetli olmak üzere iki farklı yöntemle analizler yapılarak tasarımsal özellikleri ile maliyetleri kıyaslanmıştır.

Urgu (2006), UBC97 koşullarıyla dört katlı bir yapının sismik izolasyonlu ve ankastre mesnetli halini kıyaslamıştır. Sayısal modellemede Sap2000 programı kullanılmıştır. İzolasyonlu durum için üç farklı sistem dikkate alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen maksimum kat ivmeleri, görelî kat ötelemeleri, hakim periyotlar ve taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

Jangid (2007), kurşun çekirdekli elastomer mesnetleri konu almıştır ve bu sistemlerin yakın fay etkisi altındaki davranışları üzerinde durarak optimizasyonunu yapmıştır.

Pekgökgöz ve diğerleri (2007), altı katlı bir konut binasını ele alarak izolatörlü ve ankastre mesnetli standart durum şeklinde iki farklı yaklaşımla tasarımını yapmıştır.

Tasarımların maliyet kıyaslaması yapıldığında izolatörlü sistemin %40-%45 mertebelerinde daha pahalı olduğu görülmüştür. Özürk (2007) çalışmasında ise ankastre mesnetli ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü olmak üzere iki farklı şekilde konu alınan bir betonarme yapının sismik performans kıyaslaması yapılmıştır.

Erdik (2007), binalarda sismik izolasyon tasarımı ve uygulamalarına ilişkin ana konular üzerinde durarak yöntemin sismik performansa etkisiyle ilgili temel esasları belirtmiştir. Çalışmada uluslararası tasarım yönetmeliklerinden de açıklamalara yer verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca ülkemizdeki uygulamalardan da örnekler sunulmuştur.

Demir (2008), sismik izolatörlerin temel özelliklerini, hesap yöntemlerini ve çalışma esaslarını açıklamış, izolatörlü yapı davranışı ile ilgili incelemeleri yapmıştır. Çalışmada, Sap2000 programı kullanılarak bir binanın izolatörlü ve ankastre bağlı analizleri yapılmıştır. Farklı deprem bölgeleri dikkate alınarak deprem büyüklüğünün izolatör sisteminin etkinliği ile olan ilişkisinden bahsedilmiştir. Sonuçlara göre, 1. veya 4. Derece deprem bölgesi gibi, farklı deprem büyüklüklerini yansıtan durumlarda izolatörlü sistemin performansında değişiklikler gözlemlenmiştir. Ayrıca maliyet kıyaslaması da yapılmıştır ve izolatörlü binanın %7 mertebelerinde daha fazla maliyet getirdiği tespit edilmiştir.

Yavuz (2008)'de izolatörlerin boyutlandırması ve ilgili yönetmelik koşullarına değinilmiştir. Bir hastane binası konu alınarak sismik izolatörlü ve ankastre mesnetli şekilde zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları, binaların yanal ötelenme değerleri, taban kesme kuvvetleri ve hakim periyotlar açısından karşılaştırılarak sismik izolasyon sistemlerinin olumlu etkileri vurgulanmıştır.

Spyrakos ve diğerleri (2009)'da sismik izolasyonlu yapılarda yapı-zemin etkileşimini konusu incelenmiştir. Karabörk ve diğerleri (2010) ise, yumuşak zemin üzerinde sismik izolatörlü ve ankastre olarak farklı yaklaşımlarla tasarlanan bir yapının analizlerini gerçekleştirmiş. Sonuçlara göre, izolatörlü yapının daha iyi sismik performans sergilediği belirtilmiştir.

Şirin ve Boduroğlu (2010), tek serbestlik dereceli sistemler için hemen kullanım performans düzeyini sağlayacak sürtünmeli sönüm elemanının mekanik

özelliklerinin tespiti amacıyla doğrusal olmayan dinamik analizler yapmıştır. Çalışmada, optimum sonuçları veren sönüm elemanı rijitliği ve kayma yer değiştirme değerleri üzerinde durulmuştur. Aynı kayma yük seviyesinde, daha rijit sönüm elemanı kullanıldığında yer değiştirme talebinin daha çok azaldığı tespit edilmiştir.

Erişgen (2010), depremin binaya etkiye şekli ve farklı doğrultudaki bileşenlerin birleştirilme yöntemi ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Çalışmada, izolatörlü binalarda sadece ortogonal ekseninde hesap yapıldığı ve izolatör deplasmanları ile ilgili net tasarımsal kurallar olmadığı ifade edilmiştir. Farklı geliş açılarında dikkate alınan depremlerle izolatörlü sistemin davranışı incelenmiştir ve X-Y yönlerinin doğrusal birleştirme kuralının etkinliği sorgulanmıştır. Sonuçlara göre, farklı açılardan gelen depremlerle elde edilen en elverişsiz durumda, doğrusal birleştirme yöntemi ile elde edilen değerlerim aşılabildiği görülmüştür.

Lomiento (2011) çalışmasında, farklı türdeki izolatörler konu alınarak yapılan çeşitli testlere ait gözlem ve sonuçlar sunulmuştur. Çalışmada, kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve sürtünmeli sarkaç sistemlerinin yük ve hız parametrelerine bağlı performans kriterleri, çift içbükey sistemlerin kompleks mekanizması, malzeme dayanıklılığı ve montaj esasları gibi konular vurgulanmıştır.

Öncü (2011)'de sismik izolasyonlu binaların yakın fay etkisinde ortaya çıkan darbe benzeri yer hareketlerindeki davranışı konu alınmıştır. Özellikle izolasyonlu sistem ile darbe periyodunun yaklaşması durumunda bina sistemi çok ciddi olumsuz etkilere maruz kalmaktadır. Çalışmada bu durum incelenmiştir. Farklı akma sonrası izolasyon periyodu ve izolasyon sistemleri ile, farklı darbe periyotlarına sahip yakın fay yer hareketleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Özellikle, uzun periyotlu izolasyon sistemlerinde maksimum taban deplasmanlarının arttığı görülmüştür.

Yurdakul (2011) çalışmasında, ankastre mesnetli, üç eğrilikli ve tek eğrilikli sarkaç mesnetli sistemle deprem yalıtımı yapılmış durum için Sap2000 programı kullanılarak zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. İzolatörlü sistemde zemin deformasyonları da dikkate alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre izolatörlü durumda yapı periyotları uzamıştır ve yapıya gelen deprem ivmeleri azalmıştır. Ayrıca üç eğrilikli sarkaç izolatörlerde oluşan kesit tesirlerinin tek eğriliklilere kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür.

Alhan ve diğerkleri (2011), eşdeğer doğrusal modelleme yöntemi ile sismik izolatörlü yapılarda kat ivmelerinin dağılımı üzerine çalışmalar yapmıştır.

Soyluk ve diğerkleri (2011)'de düzensiz yapıda olan yedi katlı bir yapı, taban izolasyonlu ve izolasyonsuz şekilde tasarlanmıştır ve sismik performans kıyaslamaları yapılmıştır. Bu çalışmada, izolasyon sisteminin uygulanması durumu, mimari açılardan değerlendirilmiştir ve mimari tasarıma ilişkin etkiler üzerinde durulmuştur.

Toprak (2012) çalışmasında, %5, %10 ve %20 mertebelerinde burulma olan ve burulma olmayan 3, 5 ve 10 katlı binaları konu alarak burulma düzensizliklerinin sismik izolatör kullanımı ile giderilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmada yüksek sönümlü ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmıştır. Sonuç olarak, sismik yalıtım sistemleri ile burulma etkilerinin azaltılabildiği görülmüştür.

Kurtuluş (2012)'de, yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerle sismik yalıtımı yapılmış olan binalardaki deprem performansının, kauçuk izolatörlerin yanal rijitlikte artış olması özelliği ile ilişkisi konu alınmıştır. Çalışmada zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak kat ivmeleri, görelî ötelemeler ve taban deplasmanları incelenmiştir. Sonuçlara göre kauçuk rijitleşmesi olan durum ile doğrusal model kıyaslandığında, rijitlik artışı olan modelde kat ivmeleri ve görelî ötelenme değerlerinin daha yüksek olduğu, izolasyonlu sistem yerdeğıştirmelerinin ise daha az olduğu tespit edilmiştir.

Dinçer (2013), Sap2000 programında modellediği sekiz katlı kauçuk izolatörlü yapının sismik davranışını zaman tanım alanında analizlerle incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre, izolasyon olmayan durum ile kıyaslandığında izolatörlü sistemde oluşan taban kesme kuvveti %58, yapısal eleman kesit tesirleri ise %50 mertebelerinde azalmıştır.

Shrimali ve diğerkleri (2014)'de MR damper ve elastomerik taban izolasyonu ile sismik yalıtımı gerçekleştirilen bitişik nizam yapıların davranışları üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Kök (2014), Türkiye'de bulunan sismik izolasyon uygulaması yapılmış 11 farklı yapıyı ele alarak, bu uygulamanın mimari açıdan detaylı bir değerlendirmesini yapmıştır.

Castaldo (2015), sürtünmeli sarkaç izolatörlerin hem teknik, hem de uygulama anlamında olumlu taraflarını ne çıkararak, sismik yalıtım için kullanımlarının oldukça faydalı olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, sürtünmeli sarkaç sistem ile yalıtılmış bir yapının sismik değerlendirmesi yapılarak bu tür sistemlerinin kullanımı tavsiye edilmiştir.

Karakurt (2015), tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatör sistemlerinin az, orta ve yüksek katlı binalardaki etkinliği ve maliyeti üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmada dikkate alınan 5 ve 10 katlı binalarda bu sistem oldukça başarılı performans göstermiştir ancak yüksek katlı binalarda hem sistem performansı hem de maliyet açısından bu tür sistemlerin efektif olmadığı sonucuna varılmıştır.

Saifullah (2015)'de sismik izolasyonlu binaların yakın fay etkisindeki davranışı konu alınmıştır. Çalışmada, yakın fay etkisinde darbe benzeri yer hareketlerinde izolatörlerde yırtılma veya burkulma gibi hasarlar oluşabileceği ifade edilmiştir. Bu tür binalar için, özellikle izolasyonlu sistem periyodu ile darbe periyodunun çakıştığı durumlarda kullanımı daha da önemli olan yakın fay katsayıları ve buna bağlı olarak tasarım spektrumlarının büyütülmesi konuları değerlendirilmiştir.

Nasery ve diğerleri (2015), bir hastane binasını izolatörlü ve ankastre şeklinde modelleyerek sonuçları kıyaslamıştır. İzolasyonlu sistemde kauçuk mesnetler ile taban yalıtımı yapılmıştır. Zaman tanım alanında analiz yöntemi uygulanmıştır ve yatay ötelenmeler, hakim periyotlar ve iç kuvvetler karşılaştırılmıştır. Ayrıca maliyet kıyaslaması da yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre izolatörlü sistemde sismik performans önemli ölçüde yükseltilebilmektedir ve muhtemel deprem hasarlarının önlenmesi mümkün olmaktadır.

Sevim (2016), bir hastane yapısını perde + ereve sistem olarak analiz etmiştir. Ardından deprem perdeleri kaldırılarak farklı izolatör sistemleri UBC97'ye göre uygulanmıştır ve ankastre mesnetli sistem ile kıyaslamalar yapılmıştır. İzolatörlü durumun olumlu katkı yaptığı grlmştir.

Al-Ameeri (2017), kurşun çekirdekli izolatörlerin orta ve yüksek katlı binalardaki etkisini incelemek amacıyla 5, 10 ve 15 katlı elik binalarda zaman tanım

alanında analizler uygulamıştır. Analiz sonuçlarına göre sismik izolatörlü binalar, izolatörsüz duruma göre çok daha az sismik etkiye maruz kalmıştır.

Aras ve diğerleri (2017), sismik izolasyon sistemini farklı kat adedi ve plan düzenlerine sahip binalarda incelemiştir. Konu alınan binalar izolatörlü ve ankastre mesnetli olarak modellenip analiz edilmiştir. Sonuçlar kıyaslandığında, izolatör uygulamasının depremin zararlı etkilerini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir.

Başaran ve diğerleri (2017), kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin (LRB) yakın fay etkisi altındaki davranışı üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışma kapsamında Van'da yer alan bir bina ve İstanbul'da bulunan 2 binada 190 yer hareketi kaydı seti kullanılarak zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, fay merkezine olan uzaklık ve spektral ivme parametrelerine göre izolatörlerin davranışlarını değerlendirmiştir.

Bakkaloğlu (2018), sismik izolasyon uygulanan binaların tasarım aşamasında karşılaşılan zorluklar ve bu sorunların çözümüne dair öneriler geliştirmiştir. Çalışmasında beş farklı hastane binasını inceleyerek, bu yapım sürecinde karşılaşılan zorlukları ve çözüm yollarını ortaya koymuştur.

Kurt (2019), ETABS programında modellediği ankastre mesnetli ve sürtünmeli sarkaç izolatörlü bir betonarme hastane binasının dinamik davranışlarını, zaman tanım alanında analizlerle karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, sismik izolatörlü yapıların periyot değerleri uzamıştır ve dolayısıyla yapıya etki eden deprem ivmeleri azalmıştır. Türk (2019) çalışmasında da benzer şekilde izolatörlü ve izolatörsüz yapılar için deprem davranışı kıyaslaması yapılmıştır. Bu çalışmada 6, 12 ve 18 katlı binalar Sap2000 ile modellenerek analiz edilmiştir.

Şahin (2020), Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nin, soğuk hava koşulları ve çeşitli atmosferik sıcaklık etkisi altında kauçuk izolatörler üzerindeki davranışlarını operasyonel modal analiz yöntemiyle incelemiştir. Bu çalışmada, soğuk bölgelerde kauçuk izolatörlerin sıcaklık değişimlerinden etkilendiği, sertlik değişimi yaşadığı ve hatta aşırı soğukta kristalleşebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, bu tür izolatörlerin yer aldığı eski yapıların, çalışma sıcaklıklarının korunabilmesi için iklimlendirme ile desteklenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yıldız (2020), Sap2000 ile bir hastane binasını modellemiştir ve kolonların alt ve üst ucuna yerleştirmiş şekilde iki farklı izolasyon konumunun etkisini incelemiştir. Yüksek sönümlü kauçuk izolatör kullanılan bu iki farklı konumun yanı sıra binayı izolatörsüz olarak da analiz etmiştir. Sonuç olarak, farklı izolasyon yerleşimleri ve izolatörsüz modelin karşılaştırmalı analiz sonuçlarını sunmuş, maliyet değerlendirmesi yapmıştır.

Zulfakar (2021), tek, çift ve üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatörlerle sismik yalıtımı yapılmış beş katlı bir yapının zaman tanım alanında analizlerini gerçekleştirmiştir. ABAQUS programı ile yapılan modellemelerde, üç eğrilikli izolatör sistemi için farklı sürtünme katsayıları ve eğrilik yarıçapları da göz önüne alınmıştır. Elde edilen bulgular, farklı sürtünme yüzeyi ve katsayısına sahip izolatörlerin, ankastre modellere göre depreme karşı nasıl bir performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Sismik izolatörler, sadece yeni binaların tasarımında değil, güçlendirme uygulamaları kapsamında da kullanılabilir. Lee ve diğerleri (2001), Türker (2003), Tokuç (2008), Ayhan (2006), Alemdağ (2016) ve Yiğit (2019) çalışmaları, literatürde yer alan sismik yalıtım yöntemi ile güçlendirme çalışmalarına örnek olarak verilebilir.

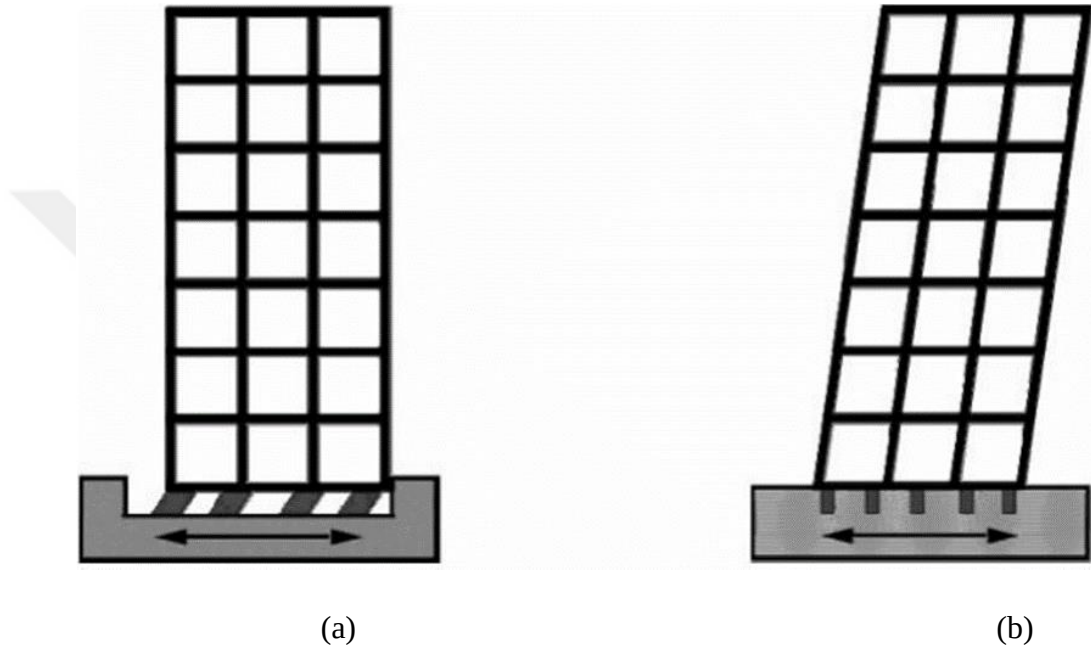
2 SİSMİK İZOLASYON SİSTEMLERİ

Sismik izolasyon sistemleri, yapıların taban kısmı ile üst yapı kısmını birbirinden ayırarak üst yapıya etki edecek deprem ivmelerinin azaltılmasını sağlayan mekanizmalardır. Sadece bina türü değil, köprü ve viyadük gibi yapılarda da uygulanabilen sismik yalıtım sistemleri, özellikle Türkiye gibi deprem kuşağında yer alan ülkelerde, yapıların büyük depremleri can ve mal kaybı olmadan atlatabilmesi adına oldukça önemlidir.

2.1 Genel Bilgiler

Sismik izolasyon sistemlerinin temel çalışma prensibi, uygulandığı yapının periyodunu uzatarak deprem ivmelerinin yapı tarafından çok daha az hissedilmesini sağlamaktır. Geleneksel türde ankastre mesnetli olarak inşa edilmiş yapılarda yer sarsıntısı ile oluşan atalet kuvvetleri yapıya aktarılır. Yani üst yapı deprem etkileri altında bir davranış sergilemek ve oluşan iç kuvvet ile momentleri taşımak zorundadır. Buradaki davranış, yapının dayanımı, rijitliği ve sünekliğine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Ankastre mesnetli yapılardaki bu davranışta, örneğin bina türü bir yapıda her hatta yatay deplasmanlar oluşmaktadır ve bu deplasmanların komşu katlar ile ilişkisi de oldukça önemlidir. Kat adedi arttıkça veya bina rijitliği azaldıkça bina periyotları uzamakta, yanal deplasmanlar artmaktadır. Sismik izolasyon uygulanan binalarda ise bu davranış farklı şekilde ortaya çıkmaktadır. İzolasyon uygulamasında genellikle taban seviyesinde izolatörler yerleştirilerek deprem durumunda üst yapı yerine deplasmanların izolatörlerde toplanması sağlanmaktadır. İzolatörler çoğunlukla tabana yerleştirildiği için bu sistemin bir diğer adı da ‘taban izolasyonu’dur ancak izolatörlerin üst kısımlara yerleştirilmesi de mümkündür. Sismik izolasyon sisteminin yanal rijitliği düşüktür ki bu durum yapının yatay kuvvetler altında yanal deplasman yapmasına izin vermektedir. Bu sistemlerin düşey rijitliği ise yüksektir çünkü büyük eksenel kuvvetler altında sistemin dayanımını kaybetmemesi, mekanizmanın sınır şartlarını aşmaması gerekir. Sonuç olarak düşük yanal rijitlikteki bu sistemler sayesinde yapı yatay deplasman yaparak sismik etkiler sönmelenmekte ve bu durumda alt kısım fazlaca yer değiştiren bir sistem olarak davranırken, izolasyon üzerindeki üst yapı kısmı kendi içinde rijit davranmaktadır. Bu durumda üst yapı kısmına aktarılan deprem ivmeleri azalmaktadır. Yani üst yapı kısmının zemin ile izolasyonu sağlanmış

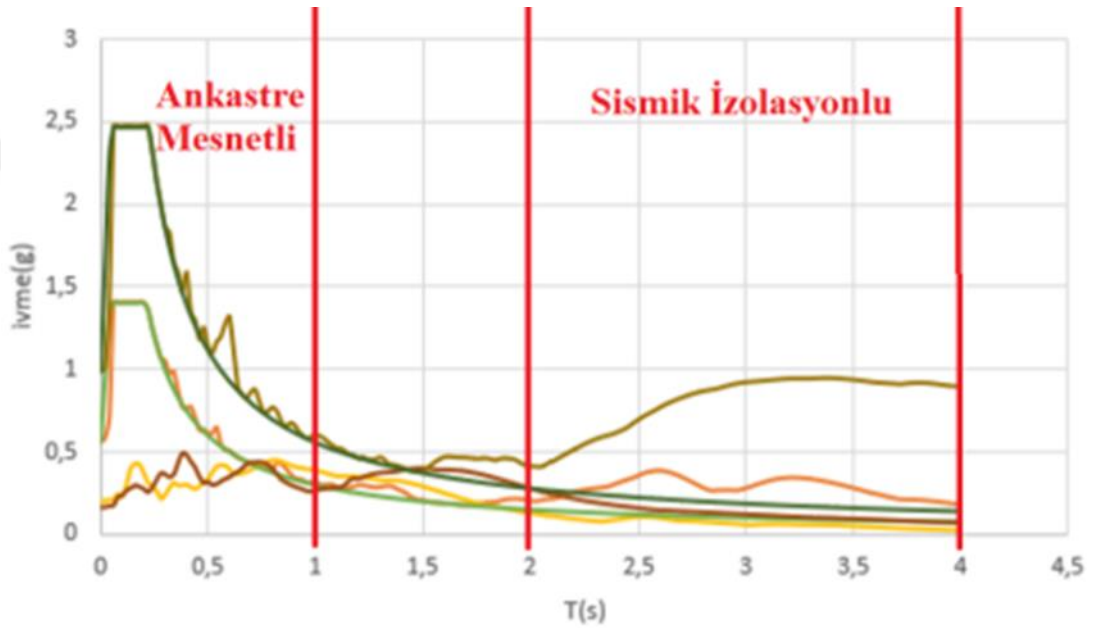
olmaktadır ve bunun sonucunda da sismik performansın artması beklenmektedir. **Error! Reference source not found.**'de ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu durumun davranışı verilmektedir. Ankastre mesnetli sistemde üst yapıda oluşan yatay deplasmanlardaki göreceli kat ötelenmeleri artmaktadır ve yapı, deprem kuvvetleri altında tasarım yaklaşımına bağlı davranıp enerjiyi belli miktarlarda hasarlar olarak sönmölemektedir. İzolasyonlu sistemde ise sismik etkilerin sönmö mü izolasyon mekanizmasında gerçöekleşmekte ve üst yapı rijit davranmaktadır.



Şekil 2.1 Taban yalıtımı uygulanmış (a) ve ankastre mesnetli yapı (b) (Ayhan, 2006)

Sismik izolatörlü binalarda yapı periyodu uzamaktadır ancak burada sağlanan periyot uzaması yapıyı rezonansa sokmamalı, yüksek deprem ivmelerine maruz kalmasına sebep olmamalıdır. Bu sebeple sağlanacak olan periyot uzamasında zemin periyoduna dikkat etmek ve yapı periyodu ile zemin periyodunun çakışmamasını sağlamak oldukça önemlidir. Rezonans durumunda, deprem ivmeleri çok büyük değerlere ulaşabilmektedir ve yapı büyük hasarlar alabilmekte veya yıkılabilmektedir. Rezonanstan kaçınmak için uygulanan genel bir yaklaşım olarak, kısa periyotlu zeminlerde uzun periyotlu yapılar, uzun periyotlu zeminlerde ise kısa periyotlu yapılar inşa etmek uygun olur (Özpalanlar, 2004). Şekil 2.2’de yapı periyodu ile spektral ivme ilişkisine bir örnek verilmiştir. Yapı rijitleştikçe periyot kısalmaktadır ve bu durumda yapının bulunduğu konum ve zemin özelliklerine de bağlı olarak deprem ivmeleri artmaktadır. Ancak köşe periyot değerlerinden uzun periyotlarda spektral ivmeler

azalmaktadır ve yapı deprem etkisini daha az hissetmektedir. Daha sünek yapılar inşa ederek yapı periyotlarının uzatılması yolu özellikle deprem bölgelerinde etkin bir çözüm değildir çünkü bu durumda görelî kat ötelelenmeleri artmakta, yapı büyük hasarlara ve hatta devrilme riskine açık hale gelmektedir. Bu problemin aşılması için izolatör sistemleri en etkili çözümlerdendir. İzolatörlü yapılar uygun periyot uzamasını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır ancak bu prosedürde yapıyı rezonansa sokmayacak aralığın kullanılması önemlidir (Öztürk, 2023).



Şekil 2.2 Sismik izolasyonlu ve ankastre mesnetli durumda periyot-ivme ilişkisi (Öztürk, 2023)

Sismik izolasyon sistemi ile yapı periyotları, 2-4 saniyelere kadar arttırılabilmektedir ki bu aralık, ülkemizdeki yapı stoğunun çoğunun kapsandığı 0,1-1,5 saniye aralığının dışındadır. İzolasyonlu binalar yatay yerdeğiştirmeye sismik enerjiyi sönmölemektedir ancak bu davranışta yer değıştirmiş sistemin depremden sonra eski haline geri dönebilmesi gerekmektedir. Büyük yanal yerdeğıştirmeler veya eksenel kuvvetler altında izolasyon sisteminin davranışı bu sebeple belli limitte kalacak şekilde tasarlanmalıdır ve yapısal hasarlara uğramamalıdır. Sismik izolatörler, özellikle depremden sonra hemen kullanılması gereken binalarda kullanılmaktadır. Hastane, itfaiye, acil servis binaları gibi önemli binalarda depremden sonra hasar oluşmaması ve kullanımına kesintisiz devam edilmesi önemlidir. Ayrıca önemli operasyonel amaçlara sahip bu tür binalarda eşya ve ekipmanların da zarar görmemesi

gerekmektedir ki izolatörlü sistemlerde yapı titreşimi azaltılarak yapı daha stabil hale getirilebilir. Bu sayede bina içindeki eşyaların hasar görmesi de engellenmiş olur.

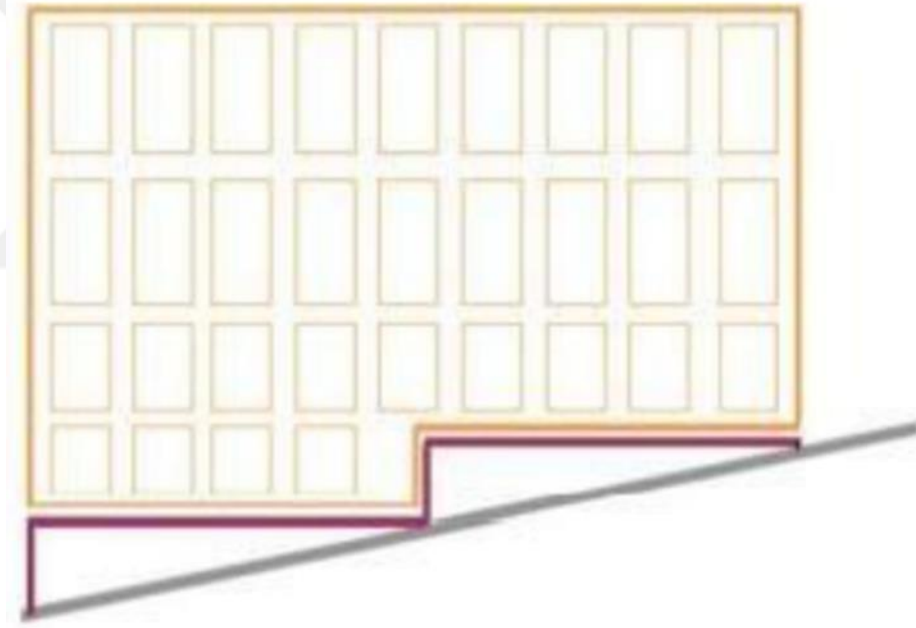
2.2 Sismik İzolasyon Uygulamasında Etkili Olan Parametreler

Bir izolasyon sistemi seçiminde veya uygulanmasında yapı ağırlığı ve periyodu en önemli parametrelerdendir. İzolasyon uygulaması ile yapı periyodu uzatılmaktadır. Yapının kütlesi düşükse genellikle periyodu düşük olacaktır ve izolasyon yapılarak ulaşmak istenen periyoda erişmek için düşük rijitlik değerlerine ihtiyaç olacaktır. İzolasyon sistemlerinde bu şekilde hedeflenen noktaya göre gereken dayanım ve rijitlik parametrelerinin seçilmesi ve tasarımın bu doğrultuda yapılması gerekmektedir. Malzemelerde kullanılabilecek rijitliklerin stabiliteyi kaybetmemek adına alt sınırları bulunmaktadır. Bu durum kauçuk izolatörlerde önemli olup, kayıcı izolatörlerde söz konusu değildir. Sonuç olarak, kısa periyotlu hafif yapılarda sismik yalıtım yapılırken kayıcı izolatör mekanizmaları tercih edilmektedir (Güner, 2012). Sismik izolasyon sağlanarak hedeflenen periyot değeri izolatör seçimi ve tasarımı için doğrudan etkili olduğundan 1-2 saniye periyot uzaması ile tasarımın finallenebileceği durumlar izolatör kullanımı açısından en müsait yapılar olarak tanımlanabilir.

Zemin durumu, ankastre mesnetli sistemlerde olduğu gibi izolatörlü sistemlerde de sismik davranışta doğrudan etkilidir. Zayıf zeminlerde deprem dalgalarının yansıtılarak büyütülmesi, binaların maruz kalacağı deprem ivmelerini arttırmaktadır. Periyodu yüksek olan bu tür zeminler üzerine inşa edilen izolatörlü binalarda rezonans problemi oluşabilmektedir çünkü sismik yalıtımı sağlanmış yapıların hakim periyotları da oldukça uzundur. Dolayısıyla bu izolatörlü binaların sert zeminlerde inşa edilmesi daha uygundur.

İzolasyon sistemlerinin uygulanmasında önemli bir diğer parametre fayda olan uzaklıktır. Yakın fay etkisinde depremin karakteristik özellikleri standart yer hareketinden farklı olmaktadır. Darbe benzeri etkiler içeren yakın fay kayıtlarında bu darbe hareketlerinin periyotları oldukça yüksek değerlerdedir ve bu periyotların bina periyodu ile çakışması çok ciddi hasar ve yıkımlara sebep olabilmektedir. Bu nedenle yakın fay etkisi altında izolatörlü sistem tasarımı yapılırken bu tür etkilerin dikkate alınması da gerekmektedir veya belli bir fay mesafesinden daha kısa mesafelerde bu uygulamadan kaçınılmalıdır.

Binanın yerleşimi ve çevresel özellikler de izolasyon sistemi için önemli faktörlerden biridir. İzolasyon sistemi büyük miktarda yatay yerdeğiştirme yapacağı için gerekli salınım payına sahip olmalıdır. Bu salınım payı, bina ve sistem özelliklerine göre değişse de özellikle deprem etkisinin fazla olduğu yerlerde 1 m mertebelerine kadar arttırılması uygun olmaktadır. Yeterli salınım payı bulunmayan durumlarda izolasyon mekanizması aktif olarak çalışamayacaktır ve istenilen performans hedefine ulaşamayacaktır. Buna ek olarak arazi şekli ve binanın konumlandırılma biçimi de, yine izolasyon sisteminin çalışması açısından önemlidir. **Error! Reference source not found.**'deki gibi eğimli bir arazide yer alan yapı için sadece yatayda salınım sağlanarak izolasyon yapılması yeterli olmaması ihtimali bulunmaktadır ve bu durumda düşey doğrultuda da izolasyon uygulaması gerekebilmektedir.

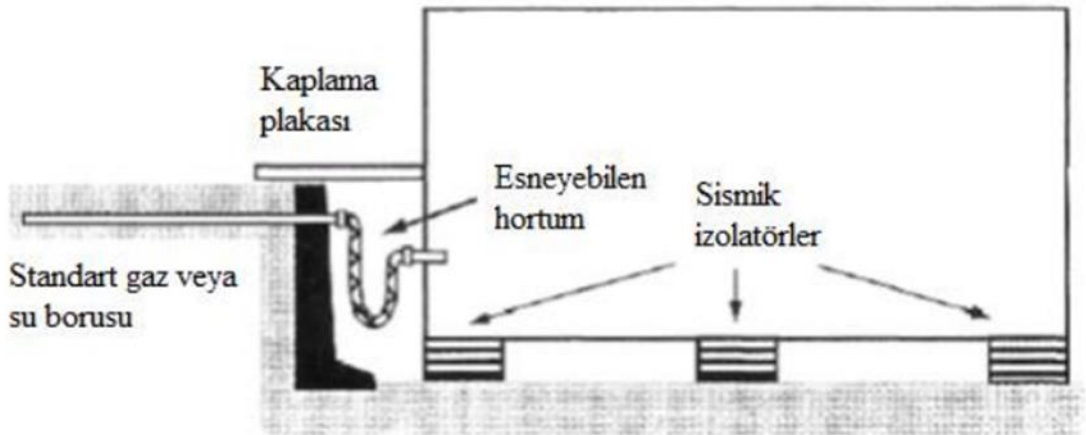


Şekil 2.3 İzolasyon uygulamasının eğimli arazide yapılması (Güner, 2012)

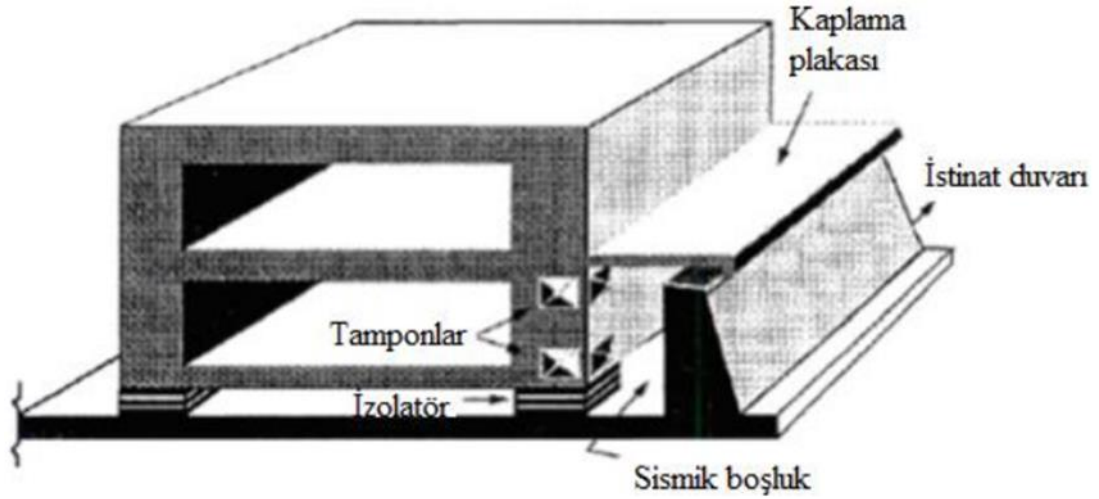
Sismik izolatörler yapı sisteminde burulmayı önleyecek şekilde yerleştirilmeden önce, izolatörlerin uygulama seviyesinin dikkatlice belirlenmesi gereklidir. Bu seçim yapılırken zeminin yapıya getirebileceği etkiler, izolatörlerin muhtemel bakım gereksinimleri, yangın ve sıcaklık gibi çevresel faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, asansör, merdiven ve iç tesisat gibi yapı içindeki diğer sistemlerle uyumlu bir tasarım yapılmasına özen gösterilmelidir (Yıldız, 2020).

Sismik izolatörler çoğunlukla kolonların alt bölgelerinde konumlandırılarak yapı stabilitesi sağlanır ve böylece merdiven gibi sistemler işlevini kesintisiz sürdürebilir. Ancak izolatörlerin kolon ortası ya da üst kısımlarına yerleştirilmesi durumunda, bina içindeki ulaşım sistemlerinin güvenliği için ek tedbirler alınmalıdır. Ayrıca, izolatörlerin bulunduğu seviyedeki kapı ve duvar gibi yapısal unsurların, üst ve alt yapılar arasında meydana gelebilecek kaymaları tolere edecek şekilde tasarlanması önemlidir. İzolatörlerin bodrum katında ya da görünmeyen bir noktada yerleştirilmesi ise bakım ve olası değiştirme işlemlerini kolaylaştırır; ancak bu durum, ek kat, istinat duvarı ve kazı gibi ek maliyetleri beraberinde getirir (Yıldız, 2020).

Sismik izolatörlü yapıların en fazla hareket edeceği duruma uygun olarak çevresinde yeterli boşluk bırakılmalıdır. Yeraltında oluşturulan bu boşluklar, istinat duvarları ile korunarak yapının kullanım süresince su, toprak gibi istenmeyen maddelerin girmesini önleyecek tedbirler alınmalıdır. Aynı zamanda, binaya bağlanacak su, doğalgaz, elektrik ve kanalizasyon gibi sistemlerin bağlantı noktaları esnek özellikte tasarlanmalıdır. Sismik izolasyonlu yapılarda mekanik bağlantılara bir örnek şekil 4’te, boşluğun korunması için gereken istinat duvarı ve kaplama plakası ise şekil 5’te gösterilmektedir (Yıldız, 2020).

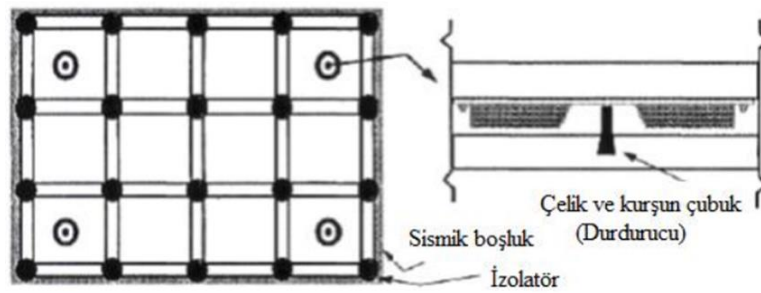


Şekil 2.4 Mekanik bağlantı örneği (Hoşbaş, 2006)



Şekil 2.5 Sismik boşluk örneği (Hoşbaş, 2006)

İzolasyonlu yapılarda, binanın hareket aralığını kontrol etmek için destekleyici elemanlar kullanılması gerekmektedir. Bu destekler, deplasman değerlerinin hesaplanan sınırın ötesine geçmesi durumunda binanın çevresindeki yapılara veya istinat duvarlarına çarpmasını önlemek açısından önemlidir. Olası çarpışmalar, yapının belirli bölümlerinde hasara, katlarda ivme artışına ve içerideki ekipmanların zarar görmesine neden olabilir. Bu tür hasarları en aza indirmek için iki tür güvenlik sistemi geliştirilmiştir: tamponlar ve durdurucular. Durdurucular, çelik ve kurşundan yapılmış, çevresi silindirik izolatörlerle kaplanmış geniş çaplı çubuklardır (**Error! Reference source not found.**). Tamponlar ise, yapının dış kısmında yer alan, elastik malzemelerden yapılmış çıkıntılardır ve binanın çevredeki yapı ya da istinat duvarıyla temasında hasarı azaltmaya yönelik bir koruma sağlar.



Şekil 2.6 Hasarların minimize edilmesi amacıyla kullanılan durdurucular (Hoşbaş, 2006)

2.3 Sismik İzolasyon Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

Sismik izolasyon uygulamalarının avantajlı ve dezavantajlı yönleri Tablo 2.1'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Sismik izolasyon uygulamasının avantaj ve dezavantajları

AVANTAJLAR	Görelî kat ötelenmeleri azalır
	Kesit tesirlerinde ve birleşim bölgelerindeki zorlanmalarda azalmalar olur
	Üst yapı kısmı rijit davranır ve hasar düzeyleri minimumda kalır
	Yapısal tasarım prosedürü, üst yapının rijit bir kütle gibi davranması sebebiyle pratiktir
	Zemin hareketinin bilinmeyen karakteristik özellikleri üst yapıda daha az etkilidir
	Binanın göçme riskini azaltarak sismik etkilerde can güvenliğini sağlamada daha iyi performansa ulaşılır
	Üst yapıda hasar düzeyinin minimize edilmesiyle deprem sonrası yapının hemen kullanımı mümkündür
	Üst yapıda hasar düzeyinin minimize edilmesiyle eşya ve ekipmanların güvenliği sağlanır
	Güçlendirme alanında kullanımda üst yapının mimari ve fonksiyonel özellikleri korunabilir
	Tasarım depreminin aşılması ihtimalinde izolatörler hasar alabilir ve mekanizma devre dışı kalabilir
DEZAVANTAJLAR	Zemin tipine bağılı olarak rezonans durumu muhtemeldir.
	Ekstra bodrum ihtiyacı bulunmaktadır.
	Daha derin temel kazıları ve istinat duvarı ihtiyacı vardır (salınım payı ihtiyacı için)
	Daha farklı mekanik tesisat ve altyapı sistemlerine gerek duyulur
	Tedarik ve inşaat maliyetleri geleneksel sistemlere kıyasla daha yüksektir.
	Eğer yapı yeterince sünek olup periyodu uzunsa ve rezonans riski zaten yoksa, izolatörlerin sismik performansa olan etkileri fazla olmamaktadır
	Yüksek yapılarda kullanımları zordur çünkü büyük taban devrilme momentleri etkisinde izolatörlerin düşey yönde hareket etme ihtimalleri oluşmaktadır.

Ayrıca, izolasyon sisteminin basınç etkisindeki performansı iyidir ancak çekme etkisi altında örneğin kayıcı mekanizmasının ayrılması ihtimali doğmaktadır. Çekme hali, izolatörün çalışmasını olumsuz yönte etkileyebileceği için bu tür sistemlerin konsol perde veya çelik çaprazlı moment aktaran sistemlere dayandırılması uygun değildir. Hatta izolatörlü yapı tasarımı aşamasında, tasarım depremi durumunda göz ardı edilemeyecek çekme kuvvetlerine izin vermemek genel bir yaklaşım olarak kabul görmüştür (Güner, 2012).

3 SİSMİK İZOLATÖRLERİN SINIFLANDIRILMASI

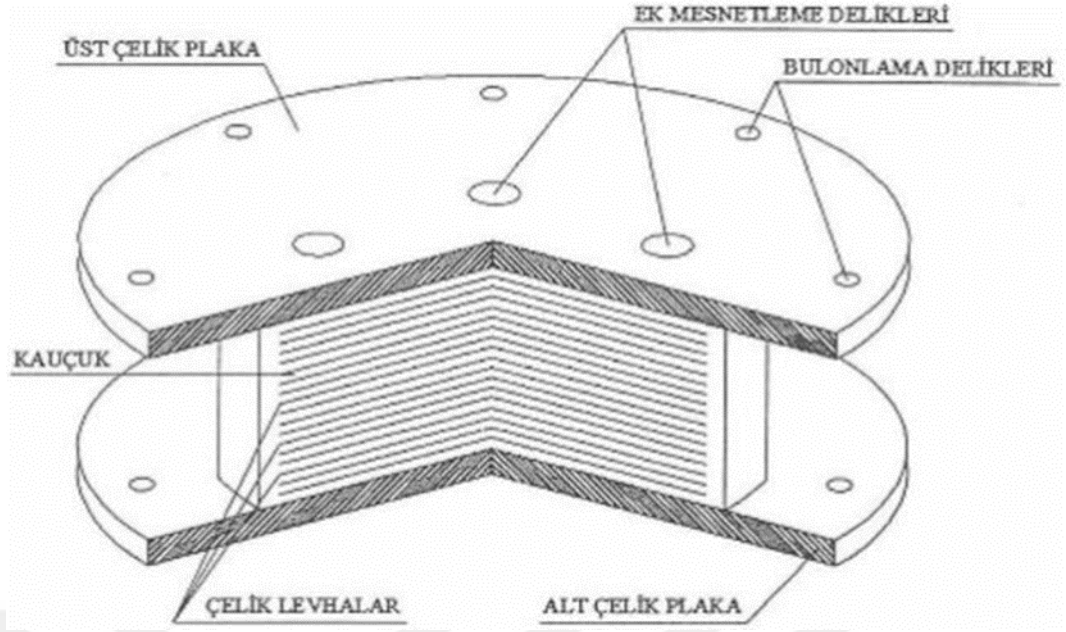
Teknolojik imkanların artması ile günümüze kadar gelişerek gelen farklı tiplerde izolasyon sistemleri üretilmiştir. Bu üretimler, şekil, ebat, malzeme, kullanım amacı ve yeri, davranış mekanizması gibi kriterlere bağlı olarak çeşitlenmiştir. Genel çerçevede izolasyon sistemleri aşağıdaki gibi üç başlığa ayrılabilir. Bu bölümde, elastomer mesnet esaslı sistemler ile kayma esasına dayanan sistemler açıklanmıştır.

- a) Elastomer mesnet esaslı sistemler
- b) Kayma esasına dayanan sistemler
- c) Helisel yay tipi sistemler

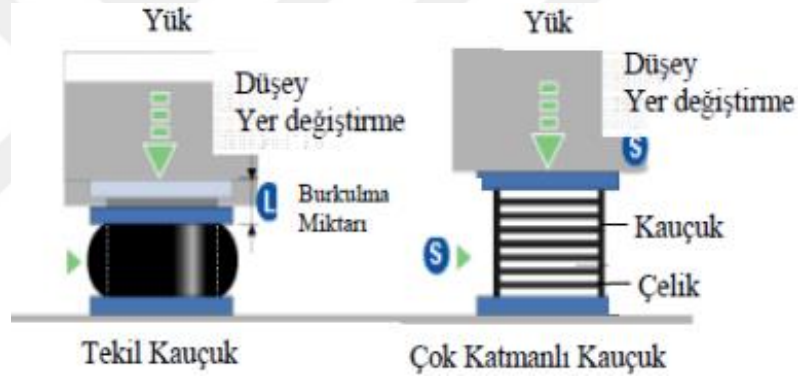
3.1 Elastomer Mesnet Esaslı Sistemler

3.1.1 Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler

Sismik izolasyon uygulamalarında yer alan ilk elastomer doğal kauçuktur ve diğer yöntemlerin gelişimi, doğal kauçuk sisteminin öncülüğüyle olmuştur. Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin (Low Ductility Rubber Bearings – LDRB) mukavemeti yüksektir ve kullanım ömürleri göreceli olarak uzundur. Bu mesnet tipinde, çelik plakalar kauçuklar arasına yerleştirir ve bu sayede düşeyde yeterli yüksek rijitlik elde edilmiş olur (**Error! Reference source not found.**). Çelik levhaların kullanılmaması durumunda kauçuk tabakalar yanal olarak şişme davranışı gösterebilmektedir ve bu durum yetersiz düşey rijitlik anlamına gelmektedir. Bu tür bir burkulma halinde yapı yatay yerdeğiştirmenin yanı sıra düşeyde de hareket edebilmektedir. Dolayısıyla kauçuk sistemde kullanılan çelik plakalar ile hem düşey rijitlik arttırılmış olur hem de yanal burkulmanın önüne geçilir (Şekil 3.1). Yatay rijitlik ise kauçuk malzemesinin kullanımına bağlı olarak düşük seviyelerde ayarlanabilir. LDRB’de mesnet yüksekliği, burkulma etkisinde hasar oluşmasını engellemek amacıyla en fazla mesnet yarıçapı kadar olabilir (Baş, 2024).



Şekil 3.1 Tipik LDRB elemanları ve kesit görünüşü (Ayhan, 2006)

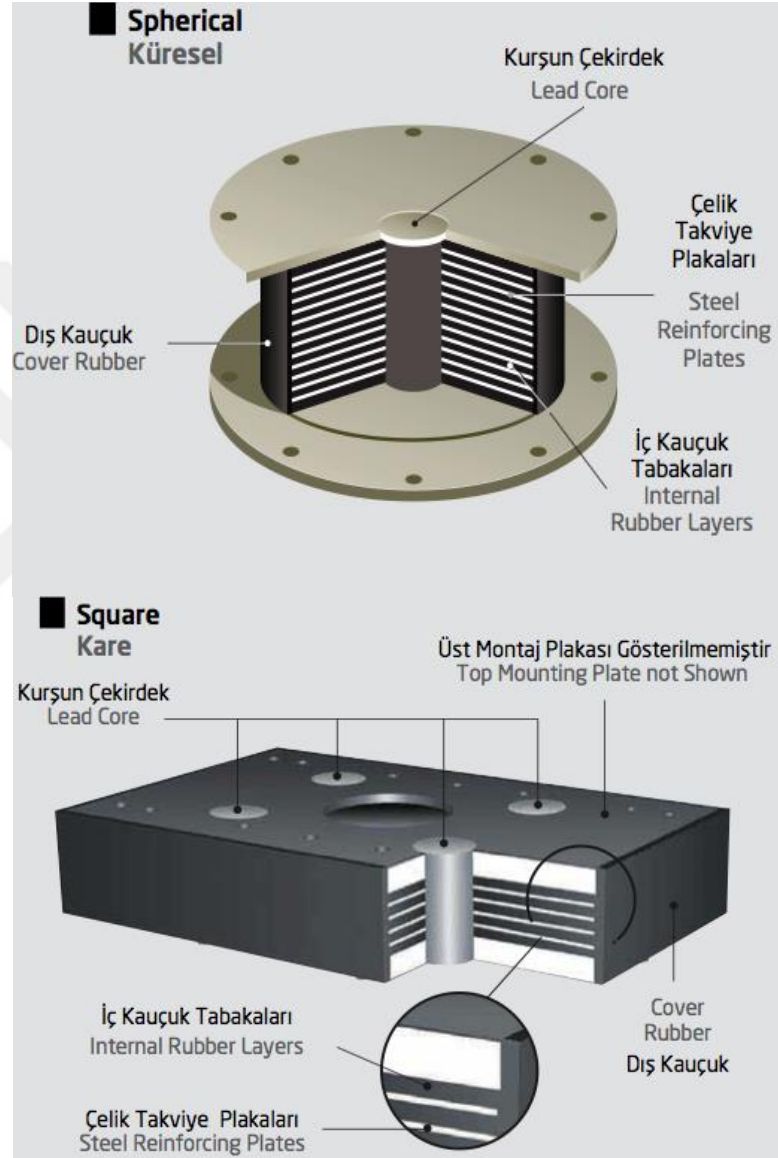


Şekil 3.1 Çelik plakalı kauçuk sistemde davranış (Murat, 2007)

Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerde bakım ve onarım işlemlerinin yapımı kolaydır. Ayrıca, üretimlerinin oldukça kolay olması, modelleme aşamalarının pratik olması ve yorulma dirençlerinin yüksek olması gibi olumlu özellikleri sebebiyle bu tür izolatörler yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ancak LDRB sistemlerin ek bir sönümleyici ihtiyacı duyması dezavantajlarından biridir. Bu ek, hambağlantı detaylarında hem de uygulama anlamında maliyeti ve iç gücü anlamındaki eforu arttırdığından LDRB yerine doğrusal olmayan kuvvet-yerdeğiştirme davranışı sergileyen yüksek sönümlü kauçuk veya kurşun çekirdekli kauçuk sistemler tercih edilmeye başlanmıştır.

3.1.2 Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler

Bu elastomerik izolatör tipinde, merkezde kurşun bir çekirdek ve aralarında çelik levhalar bulunan ince katmanların oluşturduğu bir kauçuk sistemi bulunmaktadır. Şekil 3.2’de küresel ve kare şekiller için bu izolatör sistemine ait bileşenler görülmektedir.



Şekil 3.2 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör örneği (URL-1)

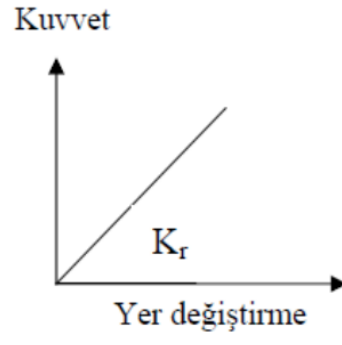
Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde (Lead Rubber Bearings – LRB), ortada bulunan kurşun çekirdek sisteme önemli bir yatay rijitlik katkısı sağlamaktadır. Kurşun çekirdeğin akma gerilmesi 10 Mpa civarlarında olup efektif rijitlik ve sönüm

açısından kritik rol oynamaktadır. Bu sistemler çoğunlukla düşük sönümlü kauçuk izolatörlerle birlikte kullanılmaktadırlar.

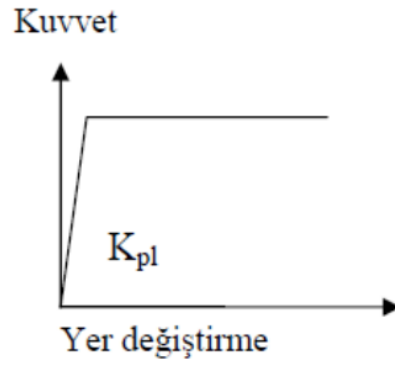
Bu sistemin tasarım aşamasında, düşük kayma modülü ile yüksek sönümleme kapasitesinin sağlanması hedeflenir. Ayrıca, mekanik özelliklerin zamanla mümkün olduğunca az değişiklik göstermesi beklenir. Bu niteliklere ulaşabilmek için, bu parametreleri etkileyen tüm koşulların göz önünde bulundurulması gerekir. Örneğin, kauçuk malzemesinin kayma modülü, bulunduğu ortamın sıcaklığına ve malzemenin yaşına bağlı olarak değişim gösterir. Sönümleme oranı ise kauçuğun fiziksel ve mekanik özelliklerine dayanır. Tasarım sürecinde, bu faktörlerin bağımlı olduğu durumlar göz önünde bulundurularak sistemden maksimum performansın elde edilmesi amaçlanır (Türk, 2019).

Kurşun ekirdekli kauçuk izolatörler, yüksek sönümleme ihtiyacı olan yapılar için sıklıkla tercih edilen bir seçenektir. Kurşunun benzersiz özellikleri, bu tür sistemlerin dinamik yükler altında performansını artırır. Yüksek dinamik yükler uygulandığında, mesnedin içindeki kurşun akma davranışı sergiler ve bu durum, izolatörün yanal rijitliğini önemli ölçüde azaltır. Böylelikle sistemin periyodu uzar. Deprem anında, kurşun çekirdek deformasyona uğrayarak enerjiyi absorbe eder ve bu sayede yer değiştirme kuvvetleri azaltılır. Bu izolatörler, rijitlik ile esnekliği birleştirek deprem esnasında sistem üzerinde bütüncül bir etki yaratır ve hem dayanıklılık hem de sönümleme özellikleriyle işlev görür (Güner, 2012).

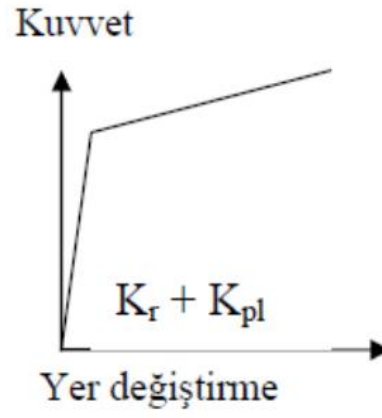
Kurşun çekirdeğin enerjiyi absorbe etme kapasitesi, mesnedin yatay hareketini azaltarak yapının stabilitesini artırır. LRB sistemler, kurşunun sönümleyici özellikleri ile kauçuğun dengeleyici fonksiyonunu birleştirir. Bu iki malzemenin birlikte kullanılması, deprem sırasında mesnette depolanan enerjiyi kullanarak yapıyı başlangıç durumuna döndüren bir kuvvet oluşturur. Kurşun ve kauçuk bileşenlerinin birleşimi olan bu mesnetler, her iki malzemenin avantajlarını bir arada barındıran bir davranış modeli sergiler (Şekil 3.3). Ancak, şekil değişikliğinden sonra merkezi kurşun çekirdeğin test edilemiyor olması, bu izolatör türünün başlıca dezavantajlarından biridir. Bir diğer dezavantaj ise kauçuğun zayıf yangın dayanımı sebebiyle bu tür sistemlerin özellikle bodrum kat gibi alt kısımlara uygulanmadığında yangından koruyucu ek önlemler alınmasının gerekliliğidir.



(a)



(b)

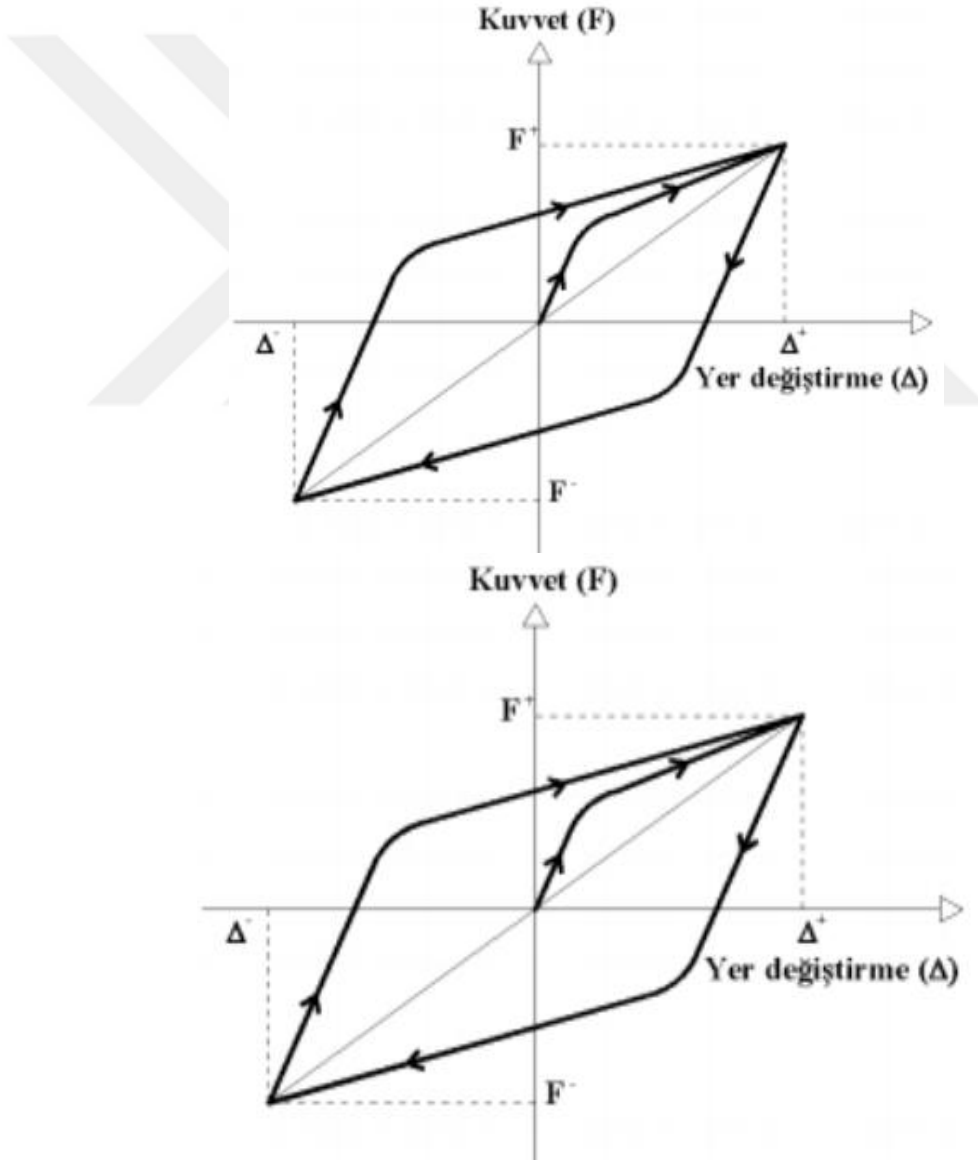


(c)

şekil 3.3 Kurşun çekirdekli izolatörlerde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi: (a): Kauçuk, (b): Kurşun, (c):Kurşun + Kauçuk (Toprak, 2012)

3.1.3 Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler

Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler (High Ductility Rubber Bearings – HDRB), düşük sönümlü kauçuğa farklı türde reçineler, yağlar, karbon bloklar ve dolgu maddeleri ilave edilerek %2 mertebelerindeki düşük sönümün %15-%20 mertebelerine kadar çıkartılabildiği sistemlerdir. Bu tür sistemlerde düşük sönümlü sistemlerin en büyük avantajlarından olan ek sönümleyici kullanımı ihtiyacı bulunmamaktadır. Düşük sönümlü elastomer sistemler doğrusal bir kuvvet-yer değiştirme ilişkisine sahiptir ancak yüksek sönümlü sistemlerde doğrusal olmayan bir ilişki vardır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Yüksek sönümlü izolatör sisteminde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi (Çağlar, 2002)

Kauçuğun kristalizasyon özellikleri, yüksek şekil değişimlerinde kayma modülünün artmasını sağlar ve bu durum malzemenin enerji sönümleme yeteneğini artırır. Sistem, farklı yükler altında çeşitli hedeflere ulaşmak için tasarlanmıştır. Rijitlik ve yüksek şekil değişimlerinde sönümleme artışı beklenirken, düşük sismik yükler altında rijit kalması gerektiği öngörülmektedir. Tasarım aşamasındaki sismik yükler altında, sistemin sünek ve lineer bir yapıya sahip olması da gereklidir. Tasarım depremi üzerindeki sismik etkilere maruz kalınması durumunda ise deplasmanları sınırlamak için özel sistemler geliştirilmesi gerekmektedir (Ayhan, 2006).

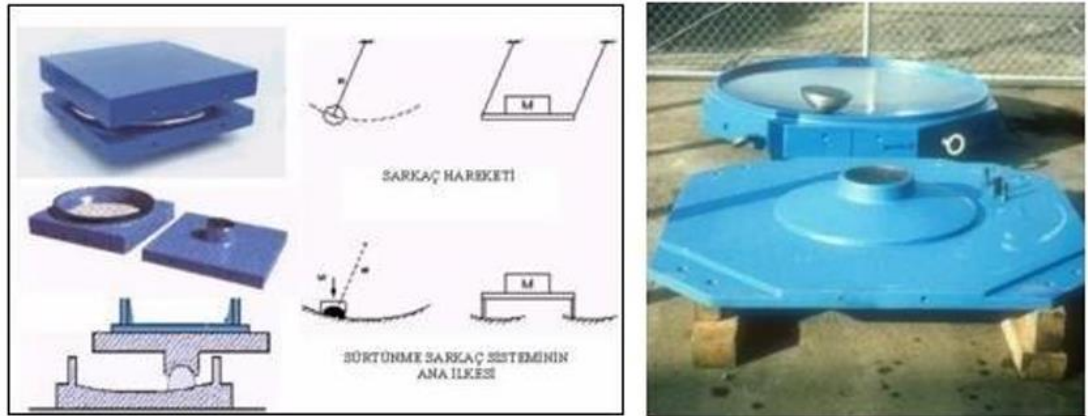
Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler, küçük yer değiştirmelerde başlangıç rijitliği sunar ve daha büyük bir rijitlik gösterir. Ancak, düşük yatay yükler altında gerekli başlangıç rijitliğini sağlayamayabilirler. Bu sistem sayesinde tasarlanan yapı, yataydaki esnekliği nedeniyle sabit ve uzun bir etkin periyoda sahip olur. Fakat, baskın frekans değeri izolatörün etkin frekansına eşit olan rüzgar yükleri altında rezonans riski ile karşılaşabilir. HDRB sistemlerin performansında sıcaklık oldukça önemli bir faktördür; çünkü mesnetin mekanik özellikleri sıcaklık etkisine bağlı olarak değişir. Öte yandan, LRB sistemler için böyle bir sıcaklık bağımlılığı söz konusu değildir. Bu nedenle, kurşun çekirdekli sistemler, yüksek sönümlü sistemlere göre daha fazla tercih edilebilmektedir (Murat, 2007).

3.2 Kayma Esasına Dayanan Sistemler

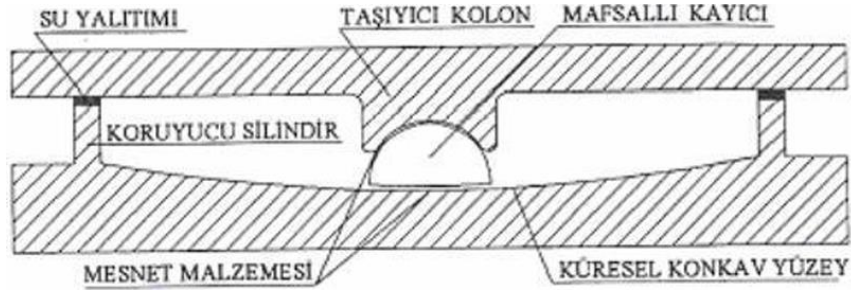
3.2.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler

Sürtünmeli sarkaç sistemi (Friction Pandulum System- FPS), kayma hareketini ve geri dönüş kuvvetlerini bir araya getiren yenilikçi bir izolasyon tekniğidir. Bu sistem, sürtünmeli sarkaç izolasyonu mantığını kullanarak yapının doğal titreşim sürelerini uzatır ve bu sayede büyük depremler karşısında etkili bir koruma sağlar. Sarkaçların döngüsel hareketleri, yapısal hareketleri kontrol etmeye yardımcı olur, böylece deprem anında binaların stabilitesini artırır. Bu sistem, yüksek sismik risk taşıyan bölgelerde inşa edilen yapılar için, deprem enerjisinin sönümlenmesi ve yapısal hasarların azaltılması sebebiyle oldukça etkili bir çözümdür. Sürtünmeli sarkaç izolatörler, paslanmaz çelik yüzeyler üzerinde hareket eden özel kayıcı elemanlardan teşkil edilir. Bu elemanlar sayesinde deprem etkileri absorbe edilir. İzolatörlerin bu özellikleri, yapının yatay hareketlerini kontrol altında tutar. FPS, yapının bütünlüğünü

korur ve esnek bir hareket kabiliyeti sağlar. Böylece, deprem ivmelerinin hasar verici ve yıkıcı etkileri azaltılmış olur. Bu tür izolasyon sistemleri, özellikle sismik aktivitesi yüksek olan lokasyonlarda yer alan önemli kullanım amacındaki yapıların korunması için ideal bir yoldur. Kayıcı elemanlar, düşük sürtünme özellikleri olan özel bir malzeme ile kaplanmış olup, bu sayede istenen düşük sürtünme katsayıları elde edilir. İzolatörlerin periyodu, konkav yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlı olarak ayarlanır ve bu düzenleme yapının ağırlığından bağımsızdır. Sistem, izolatörlerin rijitlik merkezini yapının kütle merkeziyle otomatik şekilde senkronize ederek, yapının burulma davranışını en aza indirir. FPS, farklı büyüklükteki deprem etkilerinde de oldukça başarılı bir performans sağlayabilir çünkü sürtünme katsayıları ve rijitlik parametreleri değişkendir. Bunun yanı sıra, sürtünme katsayısı ve kayma periyodu, sismik performansı optimize etmek için ayarlanabilir. Örneğin, sürtünme katsayısının düşürülmesi veya kayma periyodunun artırılması, taban kesme kuvvetlerini azaltarak yapının yatay deplasmanını artırabilir. Bu tür sistemlerle yalıtımı sağlanmış yapılarda, bir eşik seviyesine kadar ankastre mesnetli sistem davranışına benzer davranış görülür ancak bu eşik aşıldığında ise dinamik bir davranış ortaya çıkar. İzolatör sisteminin parametrelerine bağlı olarak sismik etkiler sönümlenir. Bu durum, sürtünmeli sarkaç sistemlerin değişken deprem etkisi altında esnek ve adaptif bir davranış geliştirdiğini ortaya koymaktadır (Eniş, 2024). Bu sistemlerin çalışma mekanizmasına bir örnek Şekil 3.5’de, sistem elemanlarına ait bir görsel ise Şekil 3.6’de sunulmuştur.



Şekil 3.5 FPS çalışma mekanizması (Yücesoy, 2005)

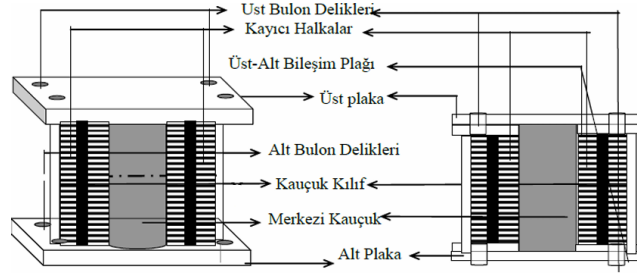


Şekil 3.6 FPS elemanları (Baş, 2024)

Sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemlerinin hizmet ömrünün uzun olduğu ve bakım-onarım ihtiyacının düşük olduğu söylenebilir. Bu sistemler yangına karşı da diğer sistemlere kıyasla daha dayanıklıdır. Ayrıca tasarım deprem yüklerinin aşılması halinde bile sistem devre dışı kalmamaktadır. Hava şartlarından etkilenmemesi ve basit montaj işlemleri gerektirmesi de bu sistemin diğer avantajlı yönlerindendir ancak bu sistemin en büyük olumlu taraflarından biri deforme olmuş halinin eski durumuna dönebilmek için ek bir mekanizmaya ihtiyaç duymamasıdır. Bu sebeple sürtünmeli sarkaç sistemler yaygın olarak tercih edilen izolasyon yöntemlerinden biridir. Bu sistemlerin başlıca olumsuz tarafıysa, büyük eksenel yükler altında alt plakanın hasar görme riski ve sarkaç sisteminin işlevselliğinin bozulmasıdır. Bu durumu önlemek amacıyla, eksenel yükün fazla olduğu kısımlarda kauçuk esaslı izolatörler kullanılması ama diğer daha düşük eksenel basınç altındaki kolonlarda sürtünmeli sistemin kullanılması yoluna gidilir.

3.2.2 Elastik Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi

Eş merkezli olarak konumlandırılmış, teflon kaplamalı ve birbirine sürtünen dairesel plakalar ile ortasında kauçuk çekirdek bulunan bir tür kayma izolatörüdür (Şekil 2.27).



Şekil 3.7 R-FBI kesit görünüşü ve sistem elemanları (Çağlar, 2002)

Kayıcı sistemlerde başlangıçtaki konuma geri döndüren kuvvet mekanizmasının olmaması temel alınarak esnek sürtünme izolasyon sistemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Sistemin yer değiştirme kapasitesini artırmak ve kauçuk üzerinde oluşabilecek kesme gerilmelerini sınırlandırmak amacıyla, geleneksel elastomer mesnetlere sürtünmeli plakalar eklenerek daha gelişmiş bir yapı elde edilmiştir. Elastik sürtünmeli taban izolasyon (Resilient-Friction Base Isolator: R-FBI) sisteminin çok katmanlı yapısı sayesinde, alt ve üst uçlardaki hız değerleri tabakalar boyunca dağılarak aktarılır. Bu durum, her bir tabakanın hızını toplam hızdan düşük seviyede tutar ve sistemin genel sürtünme katsayısını düşürür. Kauçuk çekirdek, düşey yük taşıma kapasitesine sahip olmamakla birlikte, dinamik yük altında izolatörü başlangıç konumuna geri döndürme işlevini üstlenir. Yapılan deneylerle, yer değiştirme hareketinin tek bir yüzeyde yoğunlaşmasını önlemek için kauçuk çekirdeğin merkezine bir çelik çubuk eklenmiştir. Levha sayısının değiştirilmesiyle izolatörün kayma hızı da istenilen şekilde düzenlenebilmektedir (Sevim, 2016).

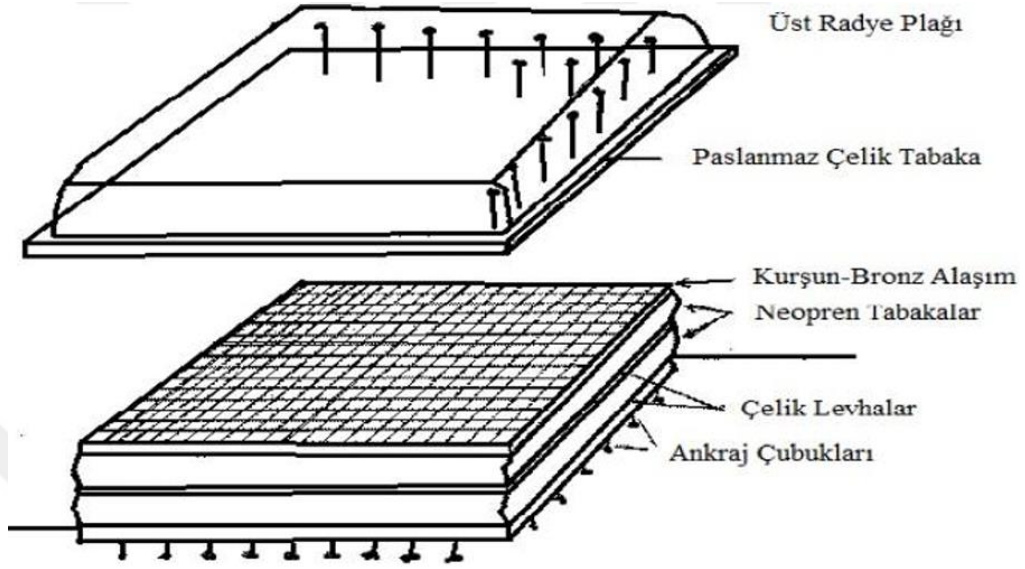
R-FBI sistemleri, asimetrik yapılarda da uygulanabilir çünkü bu yalıtım türünde ağırlık merkezi ile rijitlik izolasyon seviyesinde olmaktadır. Sürtünme kuvveti oldukça faydalı etkiler sunarak, düşük yatay kuvvetlerin oluşturacağı yer değiştirmeleri engeller, yani zayıf yer hareketleri veya hafif rüzgarlar sistem açısından problem oluşturmamaktadır. Ayrıca bu sistemin sadece yatay yüklerden etkilendiği söylenebilir çünkü düşey yükler, rijitliği yüksek olan kayıcı kısımlar tarafından taşınır.

3.2.3 Fransa Elektrik Kurumu Sistemi

Nükleer elektrik santralleri, operasyonel koşullarının gereği olarak depremlerde hasar görmemesi gereken önemli kullanım amaçlarında olan yapılar içermektedir. Sismik olarak aktif bir bölgede yer alan bu tür yapılarda sismik yalıtımın yapılması gerekmektedir ve Fransa elektrik kurumu sistemi (Electricite – de France :EDF) bu doğrultuda geliştirilmiş bir sismik yalıtım yöntemidir.

EDF sistemde, tabakalı sentetik kauçuk izolatörler, paslanmaz çelik ile temas eden kurşun-bronz alaşımları kullanılarak bir araya getirilmiştir. Kayıcı yüzeyi, elastomerik izolatörün üst kısmına konumlandırılmıştır. Kullanım ömrü dikkate alınarak, bu yüzeyin sürtünme katsayısı 0.2 olarak belirlenmiştir. Sistemde yer alan sentetik kauçuk tamponun ± 5 cm gibi oldukça sınırlı bir yer değiştirme kapasitesi

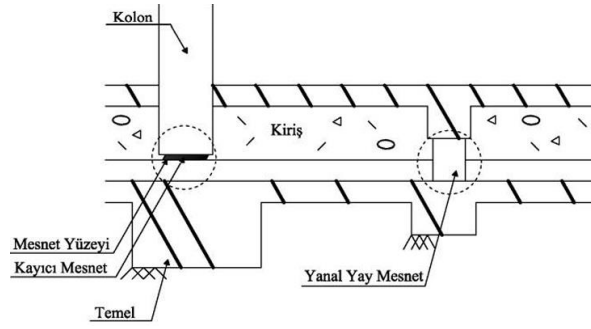
bulunmaktadır ancak bu mekanizmada geri merkeze dönme yetisi mevcut değildir. Bu nedenle, deprem sonrasında kalıcı yer değişimlerinin meydana gelmesi olasıdır (Güner, 2012). Sistemde yer alan elemanlar ve kesit özellikleri Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 EDF sistemi elemanları ve kesit görünüşü (Toprak, 2012)

3.2.4 TASS Sistemi

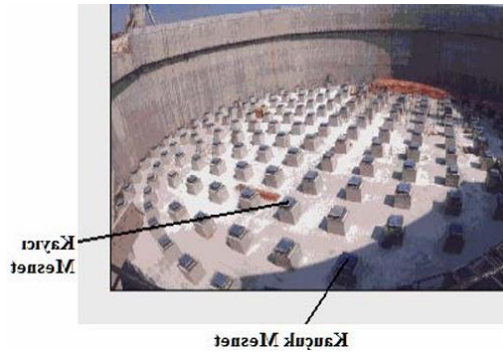
Bir Japon firması tarafından ortaya konan TASS (Taisei Shake Suspension System) sistemi, taşıyıcı olmayan kompozit neopren desteklerden oluşmaktadır. Destek yapısı, teflon kaplama ve paslanmaz çelik elemanlar kullanılarak üretilmiş olup, düşey yüklerin taşınması bu teflon-çelik birleşimiyle sağlanmaktadır. Kompozit neopren destekler, sisteme dengesini yeniden kazanma işlevi katarak merkezleme özelliği sağlar. Teflon yüzey, yaklaşık 10 MPa’lık bir basınca dayanıklıdır ve düşük hızlarda sürtünme katsayısı 0,05, yüksek hızlarda ise 0,15 olarak ölçülmüştür; böylece sürtünme katsayısı, kayma hızına göre 0,05 ile 0,15 arasında değişir. Elastomer desteklerin varlığı, sistemin düşey yük taşımamasını engelleyerek önemli bir kısıtlama oluşturur ve bunun sonucunda desteklerde çekme gerilmeleri meydana gelir. Ayrıca, kayma yüzeyinin hız duyarlılığı, sistemin tam anlamıyla modellenmesini oldukça zor hale getirmektedir (Murat, 2007). Şekil 3.9’da TASS sisteminin bir kesiti ve bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 3.9 TASS sistemi elemanları ve kesit görünüşü (Toprak, 2012)

3.2.5 Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Birleşik Sistemi

Bu izolasyon sistemi, hem elastomerik hem de kayıcı özellikleri bir araya getiren özel bir tasarımıdır. Bu sistemde, yapının iç kolonlarına teflon tabanlı kayma elemanları eklenirken, dış kolonlara kauçuk izolasyon birimleri yerleştirilmiştir. Böylece, iki farklı sistemin avantajları bir araya getirilmiş olur; elastomer tabakalar sayesinde yapı, yatay hareketleri sönümleyerek merkezine geri dönerken, kayıcı elemanlar ise yatay kuvvetlerle ortaya çıkan enerjiyi etkili bir şekilde azaltır (Özpalanlar, 2004). Bu bileşik izolasyon sistemine ait bir uygulama örneği Şekil 3.10'de sunulmuştur.



Şekil 3.10 Bileşik sistem izolatör uygulaması (Demir, 2008)

Bu sistem, deprem simülasyon testlerinde sarsma tablası üzerinde incelenmiş olup, elastomer ve kayıcı izolasyonları birlikte barındıran karma bir yapı olarak öne çıkar. İç kolonlarda paslanmaz çelikle desteklenen teflon kayma elemanları kullanılırken, dış kolonlarda daha düşük sönümlmeli kauçuk mesnetler yer alır. Bu kauçuk destekler, yapının burulma hareketini kontrol eder ve kayıcı mesnetler de yapıyı başlangıç konumuna döndürerek merkeze çekilme işlevi kazandırır (Murat, 2007)

4 TBDY 2018'E GÖRE SİSMİK İZOLASYON

Sismik izolasyonlu bina tasarımı veya sismik yalıtım uygulamaları ile güçlendirme konularına ilişkin kurallar TBDY-2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) Bölüm 14'de verilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde ilgili TBDY-2018 koşulları derlenmiştir.

4.1 Genel Tasarım İlkeleri

TBDY-2018'e göre, sismik izolasyon uygulanan binalarda Bina Önem Katsayısı $I=1$ alınmaktadır. Tasarımda DD1 ve DD2 deprem düzeyleri kullanılmaktadır. Burulma davranışının ortaya çıkmaması ve etkilerinin minimize edilebilmesi adına, izolasyon sisteminin rijitlik merkezinin, üstyapı kütle merkezi ile mümkün mertebe çakıştırılabilmesi önerilmektedir.

İzolasyon sistemindeki en büyük yerdeğiştirme değerlerinin hesabında, izolasyon birimlerinin parametrelerinin alt sınır değerleri kullanılırken üstyapıya aktarılabilecek maksimum kuvvetin hesabında izolasyon birimlerinin parametrelerinin üst sınır değerleri kullanılmaktadır. İzolasyon sistemindeki maksimum yerdeğiştirme hesabı DD1 ile, üstyapıya gelecek maksimum yatay kuvvet hesabı ise DD2 ile yapılmaktadır. Deprem yalıtım sistemi, DD-1 deprem yer hareketi sırasında meydana gelen en yüksek yer değiştirme ile bunun %50'sine karşılık gelen durumda oluşan iç kuvvetler arasında en az 0.025W fark olacak şekilde planlanmalıdır. Bu ifadede W terimi, binanın toplam deprem kütlelerine ilişkin ağırlığıdır. Ayrıca, sistem her bir D yer değiştirmesinde yatayda merkezleme kuvveti sağlayacak biçimde tasarlanacak ve elastik sınırın ötesine geçen rijitlik esas alınarak hesaplanan titreşim periyodu 6 saniyeyi aşmayacaktır. Merkezleme kuvveti ve teğetsel rijitlik şartları sağlanırken, yer değiştirmeden bağımsız olan kuvvetler hesaba katılmamalıdır. İzolasyon sisteminin en büyük yerdeğiştirme değeri kadar hareket serbestliğini sağlamak amacıyla yeterli engellenmemiş alana sahip olması gerekmektedir.

TBDY-2018'de, izolasyon sistem birimlerinin artan yatay yerdeğiştirmelere göre artan bir dayanıma sahip olması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, izolasyon birimlerinin tasarımında deprem etkilerinden farklı olarak, rüzgar, sıcaklık, yaşlanma, yorulma, sünme ve nem gibi diğer faktörlerin de hesaba alınması gerektiği ve bu tür

etkiler için önlem alınması gerektiği ifade edilmektedir. Yalıtım birimlerinde hiçbir deprem düzeyi için çekme kuvvetlerinin oluşmasına izin verilmemesi açık bir şekilde belirtilmiştir ancak özel durumlarda çekme etkilerinin oluşumuna ve bunların özel izolasyon birimleri ile karşılanmasına, bu sistemin deneylerle doğrulanması şartı ile izin verilmektedir. Yalıtım sistemindeki tüm bileşenler, en büyük yer değiştirme koşulunda eksenel kuvvetleri güvenli bir şekilde taşıyabilecek dayanıklılığa sahip olmalıdır. Binanın yalıtım sistemi, DD-1 deprem yer hareketi altında devrilmeye karşı en az 1.0 güvenlik katsayısına sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu güvenlik katsayısı hesaplanırken, depremli ve depremsiz tüm yük birleşimleri göz önünde bulundurulacaktır. Yalıtım sistemindeki herhangi bir elemanda kalkma ya da çekme meydana gelmesi durumunda ise binanın kararlılığının korunabildiği hesaplarla kanıtlanmalıdır.

Deprem durumunun dışında, rüzgar kuvvetleri de yanal yerdeğiştirmelere sebep olmaktadır. TBDY-2018, rüzgar yükleri sebebiyle izolasyon arayüzünde oluşacak en büyük görelî ötelenme değeri, DD2 depremi altında izin verilen görelî kat ötelemesinden fazla olmamasını zorunlu tutmaktadır. Benzer bir yaklaşımla, yalıtım sisteminin yangına karşı olan dayanımının da diğer taşıyıcı sistem elemanlarının yangın dayanımından daha az olmaması gerektiğini belirtmektedir.

İzolasyonlu binalardaki performans hedefleri ve izlenecek tasarım yaklaşımları TBDY-2018’de verilmiştir (

Tablo 3.1). Tablo 4.1a ve Tablo 4.1b’de yer alan DD2 düzeyindeki performans hesaplarında kullanılması gereken R ve D katsayıları **Tablo 3.2’de** yer almaktadır.

Tablo 3.1 Sismik izolasyonlu binalarda performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

(a) Yeni Yapılacak Deprem Yalıtımlı 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	—	—	—	—

(b) Deprem Yalıtımı Yapılarak Güçlendirilecek Mevcut 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	KH	DGT	SH	DGT
DD-1	—	—	—	—

(c) Yeni Yapılacak ve Güçlendirilecek Deprem Yalıtımlı Binalar – Yalıtım Sistemi ve 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 ⁽¹⁾ –DGT ⁽²⁾	KK	ŞGDT ⁽¹⁾ –DGT ⁽²⁾

⁽¹⁾ Yalıtım sistemi için uygulanacaktır.

⁽²⁾ Altyapı için uygulanacaktır.

Tablo 3.2 R ve D katsayıları

Performans Hedefi	R	D
KK	1.2	1.2
SH	1.5	1.5

İzolasyonlu binalardaki performans hedefleri ve izlenecek tasarım yaklaşımları TBDY-2018’de verilmiştir (

Tablo 3.1). Tablo 4.1a ve Tablo 4.1b’de yer alan DD2 düzeyindeki performans hesaplarında kullanılması gereken R ve D katsayıları ‘de yer almaktadır.

İzolasyon arayüzü ve altındaki elemanlar, üstyapı elemanları ve yalıtım birimi deneyleri için kullanılması gereken yük kombinasyonları TBDY-2018’de ayrı olarak verilmiştir. Bu yük kombinasyonları **Tablo 3.3’**de derlenmiştir.

Tablo 3.3 Yük birleşimleri

Konu	Yük Birleşimleri
Yalıtım arayüzü ve altındaki elemanlar	$1.4G + 1.6Q$
	$1.2G + Q \pm Ed$
	$0.9G \pm Ed$
Üstyapı elemanları	$G + Q + 0.2S + Ed^{(H)} + 0.3Ed^{(Z)}$
	$0.9G + H + Ed^{(H)} - 0.3Ed^{(Z)}$
Yalıtım birimi deneyleri	$1.4G + 1.6Q$
	$G + 0.5Q$
	$1.2G + 0.5Q \pm Ed$
	$1.2G + Q \pm Ed$
	$0.9G \pm Ed$

TBDY-2018’e göre, yalıtım birimlerinin kapasitesinin, DD1 düzeyindeki zaman tanım alanında, sistemin doğrusal olmayan davranışında oluşan yerdeğiştirme ve eksenel yükleri karşılayabilecek dayanıma sahip olması gerekmektedir.

4.2 Elastomer Yalıtım Birimleri

TBDY-2018'e göre, izolasyon birimi parametrelerinin nominal değerleri, $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} ve λ_{alt} ile çarpılarak bu parametrelerin üst ve alt sınır değerleri hesaplanmalıdır. Bu katsayıların hesaplandığı bağıntılar Denklem 4.1 ve Denklem 4.2'de verilmiştir. Denklemlerde yer alan parametrelerin prototip veya deneylerle tespit edilememesi halinde em 4.2)

Tablo 3.4'deki değerler kullanılabilir.

$$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{ae,üst} -1)] \lambda_{deney,üst} \lambda_{spek,üst} \quad (\text{Denklem 4.1})$$

$$\lambda_{alt} = [1-0.75(1-\lambda_{ae,alt})] \lambda_{deney,alt} \lambda_{spek,alt} \quad (\text{Denklem 4.2})$$

Tablo 3.4 Rijitlik parametreleri için kabul edilebilecek alt ve üst sınır değerleri

	Tip	F_Q		k_2	
		alt	üst	alt	üst
λ_{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.40
λ_{deney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.30
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30
λ_{spek}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15

em 4.2)

Tablo 3.4'de yer alan kısaltma ve terimler aşağıda verilmiştir.

KÇE: Kurşun çekirdekli elastomer izolasyon birimi

YSE: Yüksek sönümlü elastomer izolasyon birimi

F_Q : Kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi karakteristik dayanımı

k_2 : Kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi elastik ötesi rijitliği

λ_{ae} : Yaşlanma ve çevresel etkiler

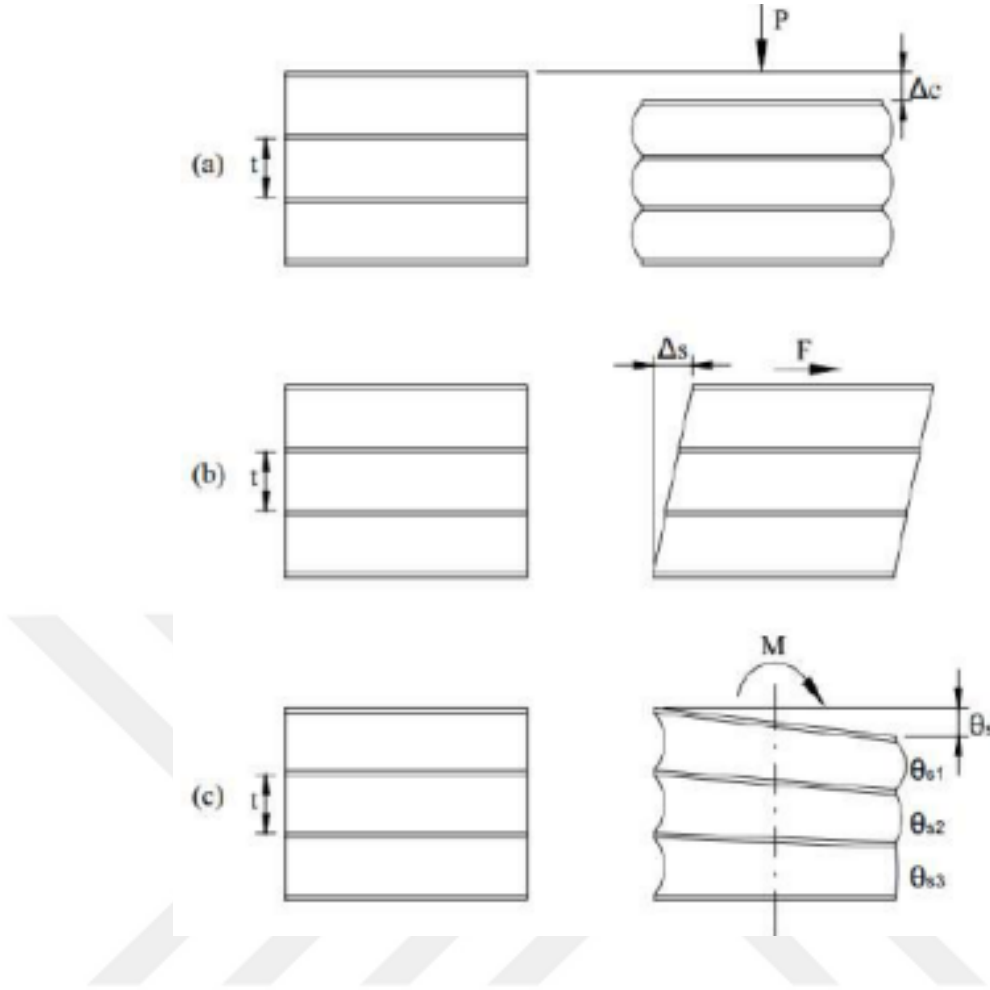
λ_{deney} : Yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler

λ_{spek} : Üretim değişkenliği çarpanı

Elastomer yalıtım birimlerinde düşey ve yatay yükler altında oluşan birim şekildeğiştirmeleri belli limitler dahilinde tutularak sistem kararlılığı sağlanmalıdır. Birim şekildeğiştirme kontrolleri, depremsiz durum ve depremli durumlar için TBDY-2018 Madde 14.12.2’de verilmiştir. Söz konusu değerler

Tablo 3.5’de özetlenmiştir.

Şekildeğiştirme Durumu	Depremsiz durum	Depremli durum
Basınç kaynaklı açısai şekildeğiştirme (Error! Reference source not found.a)	$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c}$	$\gamma_{c,E} = \frac{6SP_{K2}}{A_{re} E_c}$
Yatay yerdeğiştirme kaynaklı açısai şekildeğiştirme (Error! Reference source not found.b)	$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta s}{T_r}$	$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r}$
Üst-alt plakalar arasındaki göreli dönme kaynaklı birim şekildeğiştirme (Error! Reference source not found.c)	$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 \theta_s}{2t T_r}$	-
P _{K1} : 1.4G + 1.6Q etkisinde oluşan düşey kuvvet		
A _r : Bir elastomer katmanının yüke maruz yüzey alanı (TBDY-2018 EK 14A)		
S: Şekil katsayısı (TBDY-2018 EK 14A)		
E _c : Yalıtım birimi basınç modülü (TBDY-2018 EK 14A)		
Δ _s : Yatay yüklerden meydana gelen yatay yerdeğiştirme		
θ _s : Tasarım dönme açısı (En az 0.005 radyan olarak kabul edilir)		
B: Çelik plakaya yapışan elastomer çapı		
t: Elastomer katman kalınlığı		
T _r : Toplam elastomer kalınlığı		
P _{K2} : 1.2G + Q ± E _d etkisinde oluşan düşey kuvvet		
D: İlgili deprem düzeyinde oluşan yatay yerdeğiştirme		



Şekil 3.1 Birim şekil değiştirmeler

Error! Not a valid bookmark self-reference.'de verilen birim şekil değiştirmelerin Denklem 4.3, Denklem 4.4, Denklem 4.5 ve Denklem 4.6'da verilen sınırları sağlamalıdır. Denklemlerde yer alan ϵ_b terimi, elastomer malzemenin kopma birim şekildeğiştirmesidir.

$$\min [\gamma_{c,st} \leq 3.5 , \gamma_{c,st} < \epsilon_b/3] \quad (\text{Denklem 4.3})$$

$$\min [\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5 , \gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} < 0.75\epsilon_b] \quad (\text{Denklem 4.4})$$

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5\gamma_{r,st} \leq 6 \quad (\text{Denklem 4.5})$$

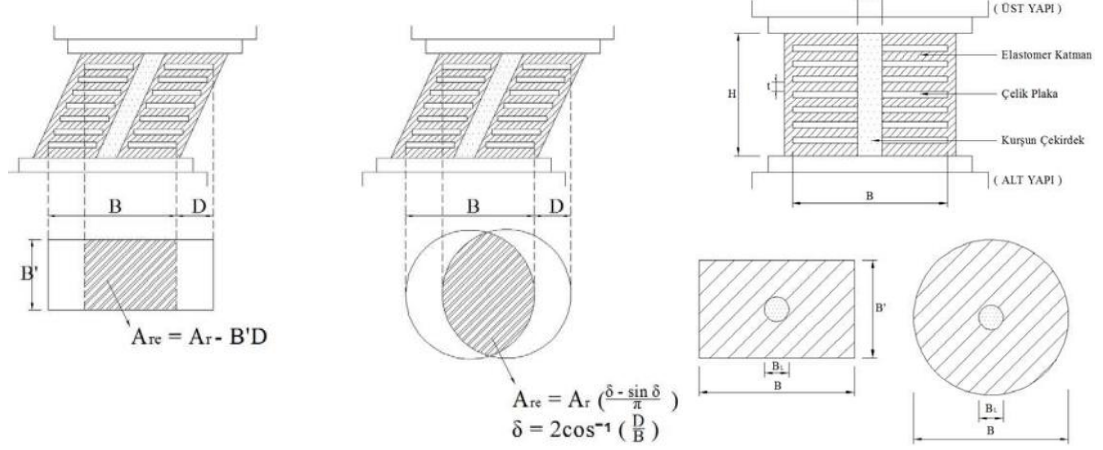
$$\gamma_{s,E} \leq 2$$

Tablo 3.5 Elastomer yalıtım birimlerinde birim şekildeğiştirme değerleri

Şekildeğiştirme Durumu	Depremsiz durum	Depremlili durum
Basınç kaynaklı açısal şekildeğiştirme (Error! Reference source not found.a)	$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c}$	$\gamma_{c,E} = \frac{6SP_{K2}}{A_{re} E_c}$
Yatay yerdeğiştirme kaynaklı açısal şekildeğiştirme (Error! Reference source not found.b)	$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta s}{T_r}$	$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r}$
Üst-alt plakalar arasındaki göreceli dönme kaynaklı birim şekildeğiştirme (Error! Reference source not found.c)	$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 \theta_s}{2t T_r}$	-
P _{K1} : 1.4G + 1.6Q etkisinde oluşan düşey kuvvet		
A _r : Bir elastomer katmanının yüke maruz yüzey alanı (TBDY-2018 EK 14A)		
S: Şekil katsayısı (TBDY-2018 EK 14A)		
E _c : Yalıtım birimi basınç modülü (TBDY-2018 EK 14A)		
Δ _s : Yatay yüklerden meydana gelen yatay yerdeğiştirme		
θ _s : Tasarım dönme açısı (En az 0.005 radyan olarak kabul edilir)		
B: Çelik plakaya yapışan elastomer çapı		
t: Elastomer katman kalınlığı		
T _r : Toplam elastomer kalınlığı		
P _{K2} : 1.2G + Q ± E _d etkisinde oluşan düşey kuvvet		
D: İlgili deprem düzeyinde oluşan yatay yerdeğiştirme		

Daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere, yalıtım birimlerinin belli bir düşey yük yük taşıma kapasitesine sahip olması gerekmektedir. İzolasyon sisteminde burkulma hasarları meydana gelmemelidir. TBDY-2018, farklı yerdeğiştirme durumları için yalıtım sisteminin özellikleri bağlı olarak burkulma yükünün hesaplanacağı bağıntıları vermektedir (

Tablo 3.6). Bağıntılarda kullanılan parametrelerin açıklamaları



Şekil 3.11’de sunulmuştur. Elastomer birimlerde birim şekildeğiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi Denklem 4.7’de, yatay yerdeğiştirme olmadığında izin verilen burkulma yükü sınırı Denklem 4.8’de ve en büyük deprem hareketi düzeyinde oluşan yatay yerdeğiştirmeye ilişkin burkulma yükü limiti Denklem 4.9’da verilmiştir.

Tablo 3.6 Elastomer yalıtım birimlerinde burkulma yükü değerleri

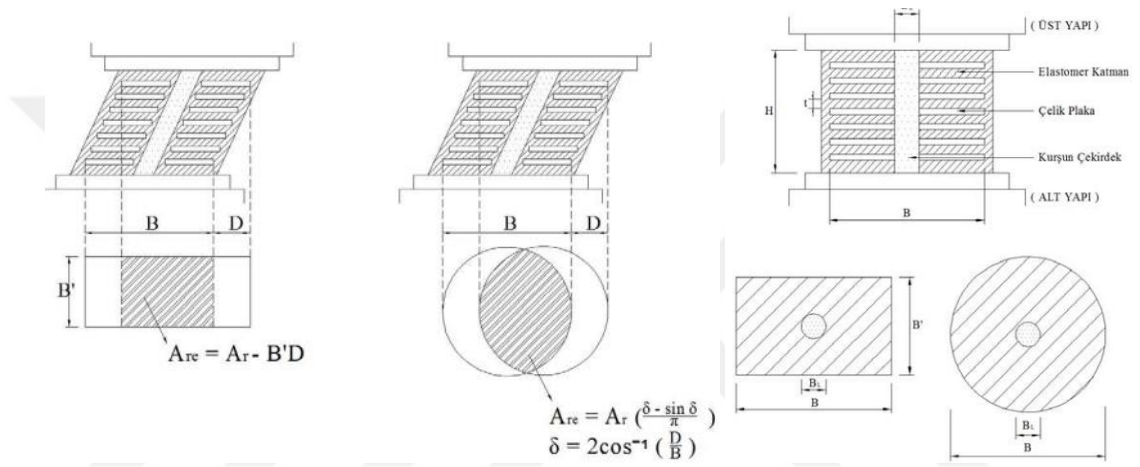
Yalıtım sistemi özellikleri	Yatay yerdeğiştirme olmayan durum	Yatay yerdeğiştirme olan durum (DD1 için)
Kurşun çekirdek bulundurmayan birimlerde (Dairesel kesitli)	$P_{cr} = \frac{0.218 G_V B^4}{t T_r}$	$P'_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} A_{re}$
Kurşun çekirdek bulundurmayan birimlerde (Kare kesitli)	$P_{cr} = \frac{0.340 G_V B^4}{t T_r}$	

$$\begin{aligned}
& \text{Kurşun çekirdekli} & P_{cr} \\
& \text{birimlerde (Dairesel} & = \frac{0.218 G_V B^4 (1 - B_L/B)(1 - B_L^2/B^2)}{t T_r (1 + B_L^2/B^2)} \\
& \text{kesitli)} &
\end{aligned}$$

G_V : Elastomer malzeme kayma modülü

B_L : Kurşun çekirdek çapı

* A_{re} 'nin hesabında D değeri D_{TM} olarak alınacaktır. Burada D_{TM} , en büyük deprem seviyesi için, hesap doğrultusuna bağlı olarak izolasyon sisteminin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yerdeğiştirmeyi ifade etmektedir.



Şekil 3.11 Burkulma yükü bağıntıları parametreleri

Ayrıca, daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere, yalıtım birimlerinin belli bir düşey yük taşıma kapasitesine sahip olması gerekmektedir. İzolasyon sisteminde burkulma hasarları meydana gelmemelidir. TBDY-2018, farklı yerdeğiştirme durumları için yalıtım sisteminin özellikleri bağlı olarak burkulma yükünün hesaplanacağı bağıntıları vermektedir.

$$P_{str} = \frac{3.5 A_{re} E_c}{6S} \quad (\text{Denklem 4.7})$$

$$\frac{\min (P_{cr}, P_{str})}{P_{K1}} \geq 2 \quad (\text{Denklem 4.8})$$

$$\frac{\min (P'_{cr}, P_{str})}{P_{K2}} \geq 1.1 \quad (\text{Denklem 4.9})$$

TBDY-2018 Ek 14A'da, elastomer yalıtım sistemlerindeki temel özellikler açıklanmaktadır ve bu tip sistemlerde kabul edilecek basitleştirilmiş kuvvet-

Etkin rijitlik ke, döngüde uygulanan F yatay kuvvetinin, bu kuvvet durumundaki D yatay yerdeğiştirmesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Etkin sönüm oranı β_e , döngüde tüketilen W_d enerjisinin $2\pi FD$ değerine oranıdır (Denklem 4.10).

Kurşun çekirdekli elastomer biriminin karakteristik dayanımı F_Q Denklem 4.11’de verilmiştir. Bu tür sistemlerde izolasyon sisteminin başlangıç rijitliği, kurşun çekirdeğin elastik rijitliğine bağlı olarak belirlenmektedir ancak ikincil ritlik değeri Denklem 4.12 ile elde edilmektedir. Denklem 4.12’de yer alan A_r ifadesi, kurşun çekirdekli izolasyon sistemlerde dairesel kesit durumunda Denklem 4.13, dikdörtgen kesit durumunda ise Denklem 4.14 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$A_r = \frac{\pi(B^2 - B_L^2)}{4} \quad (\text{Denklem 4.13})$$

$$A_r = B B' - \frac{\pi(B_L^2)}{4} \quad (\text{Denklem 4.14})$$

Elastomer izolasyon birimlerinde şekil katsayısı S, Denklem 4.15 ile hesaplanmaktadır. Dairesel ve kurşun çekirdekli sistemlerde bu değer, Denklem 4.16 ile elde edilmektedir. Burada B terimi, çelik plakayla yapışan elastomer levha çapını, B_L terimi kurşun çekirdek çapını, t ise katman kalınlığını ifade etmektedir.

$$S = \frac{A_r}{A_L} \quad (\text{Denklem 4.15})$$

$$S = \frac{(B^2 - B_L^2)}{4Bt} \quad (\text{Denklem 4.16})$$

Elastomer izolasyon birimlerinde k_v düşey rijitlik ifadesi Denklem 4.17 ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte E_v terimi düşey rijitlik modülüdür ve Denklem 4.18 ile elde edilmektedir. Denklem 4.18’de yer alan k terimi ise kauçuk malzeme için hacim modülü olup, TBDY-2018 14A.7’de sabit bir değer olarak 2000 Mpa şeklinde verilmektedir. E_c değeri ise elastomer birime ait basınç modülünü temsil etmektedir ve bu değer Denklem 4.19 ile hesaplanmaktadır. Denklem 4.19’da E_0 terimi, kauçuk esneklik modülüdür ve elastomer malzemenin kayma modülünün dört katı şeklinde hesaba alınmaktadır. k değeri ise kauçuğun sertlik değerine bağlı bir parametre olup 50, 60 ve 70 sertlik değerleri için sırasıyla 0.75, 0.60 ve 0.55 şeklinde alınmaktadır.

$$k_v = \frac{E_v A_r}{T_r} \quad (\text{Denklem 4.17})$$

$$E_v = \frac{1}{(1/E_c + 1/K)} \quad (\text{Denklem 4.18})$$

$$E_c = E_0 (1 + 2kS^2) \quad (\text{Denklem 4.19})$$

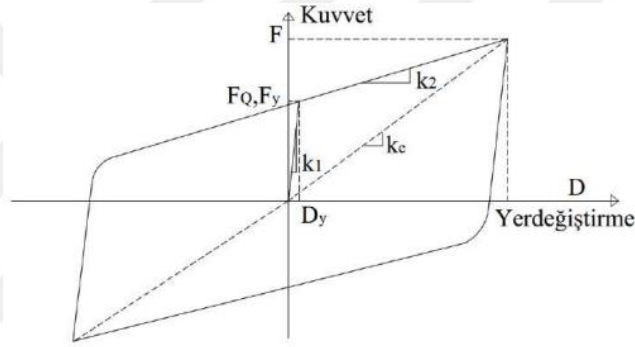
4.3 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri

Bu tür sistemlerde de elastomer yalıtım birimleri bölümünde verilen $\lambda_{üst}$ ve λ_{alt} katsayılarının kullanımı ile izolasyon birimlerinin nominal değerleri çarpılacaktır. Bu katsayılar deney ve prototiplerden elde edilememesi durumunda ise TBDY-2018, **Tablo 3.7**’de verilen değerlerin kullanımını önermektedir.

Tablo 3.7 Eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimlerinde alt ve üst sınır değerleri

	μ	
	<i>alt</i>	<i>üst</i>
$\lambda_{\text{æ}}$	1.00	1.20
λ_{deney}	0.70	1.30
λ_{spek}	0.85	1.15

TBDY-2018 Ek 14B’de, eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimlerinin tanımı yapılmaktadır ve bu tip sistemlerde kabul edilecek basitleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme döngüsü Şekil 3.13’deki gibi verilmektedir. Burada F_Q ve F_y terimleri karakteristik veya etkin akma dayanımını, k_1 terimi başlangıç rijitliğini, k_2 terimi ikincil rijitliği, k_e terimi D yerdeğiştirmesi durumundaki etkin rijitliği, F terimi yine D yerdeğiştirmesindeki kuvveti, D_y terimi ise akma yerdeğiştirmesini ifade etmektedir.



Şekil 3.13 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinde kuvvet-yerdeğiştirme döngüsü ve ilgili parametreler

Bu tür izolasyon birimlerinin kuvvet-yerdeğiştirme döngüsünde yer alan F_Q ve F_y terimleri karakteristik veya etkin akma dayanımını, k_1 terimi başlangıç rijitliğini, k_2 terimi ikincil rijitliği, k_e terimi D yerdeğiştirmesi durumundaki etkin rijitliği, F terimi yine D yerdeğiştirmesindeki kuvveti, D_y terimi ise akma yerdeğiştirmesini ifade etmektedir. F_Q veya F_y değerleri, izolasyon birimine gelen düşey kuvvetin, etkin sürtünme katsayısı (μ_e) ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. k_1 başlangıç rijitliği değeri, oldukça büyük bir değer olarak alınır. İkincil rijitlik ise Denklem 4.20’de verildiği hesaplanır. Burada P terimi düşey kuvveti, R_c terimi ise yalıtım birimi kayma yüzeylerinin etkin eğrilik yarıçapını ifade etmektedir.

$$k_2 = P / R_c \quad (\text{Denklem 4.20})$$

Etkin rijitlik ke parametresi oldukça önemli bir terim olup, döngüdeki en büyük yatay kuvvetin en büyük yatay yerdeğiştirmeye oranı şeklinde ifade edilmektedir (Denklem 4.21). Etkin sönüm oranı β_e , döngüde tüketilen W_d enerjisinin $2\pi FD$ değerine oranıdır (Denklem 4.22).

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \quad (\text{Denklem 4.21})$$

$$\beta_e = \frac{W_d}{2\pi FD} = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + \frac{D}{R_c}} \right] \quad (\text{Denklem 4.22})$$

4.4 Deprem Hesap Yöntemleri

TBDY 2018’de izolasyonlu sistem deprem hesapları, etkin deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem şeklinde üç farklı yolla yapılabilir. Ancak bu yöntemlerin kullanımları için bazı koşullar ve sınırlandırmalar bulunmaktadır. Hesap yönteminin seçiminde aşağıda verilen maddeler etkili olmaktadır.

- (a) Binanın zemin sınıfı ZA, ZB, ZC veya ZD’dir.
- (b) Binanın DD-1 etkisindeki etkin periyodu 4 saniyeden kısadır.
- (c) Üstyapıdaki kat adedi en fazla 4 olup bu kısmın toplam yüksekliği 20m’dir.
- (d) İzolasyon birimlerinde kalkma veya çekme yoktur
- (e) Etkin sönüm oranı maksimum %30’dur.
- (f) Üstyapıdaki her katta burulma düzensizliği katsayısı < 2 dir ve B2 türü düzensizlik bulunmamaktadır.
- (g) Binanın düşey titreşim periyodu 0.1 saniyeden eşit veya kısadır.

Sadece, yukarıda verilen maddelerin tamamının sağlanması durumunda, üstyapı ve altyapının deprem hesaplarında etkin deprem yükü yöntemi kullanılabilir. Bu maddelerden (a), (b) ve (d) sağlanıyorsa mod birleştirme yönteminin kullanılmasına izin verilmektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ise, bu maddelerden bağımsız olup her durumda kullanılabilir. Etkin deprem yükü yöntemi ile ilgili koşullar ve yöntemin esasları TBDY 2018 14.14.2’de, mod birleştirme yöntemi 14.14.3’de, zaman tanım alanında hesap yöntemi koşulları ise 14.14.4’de verilmektedir.

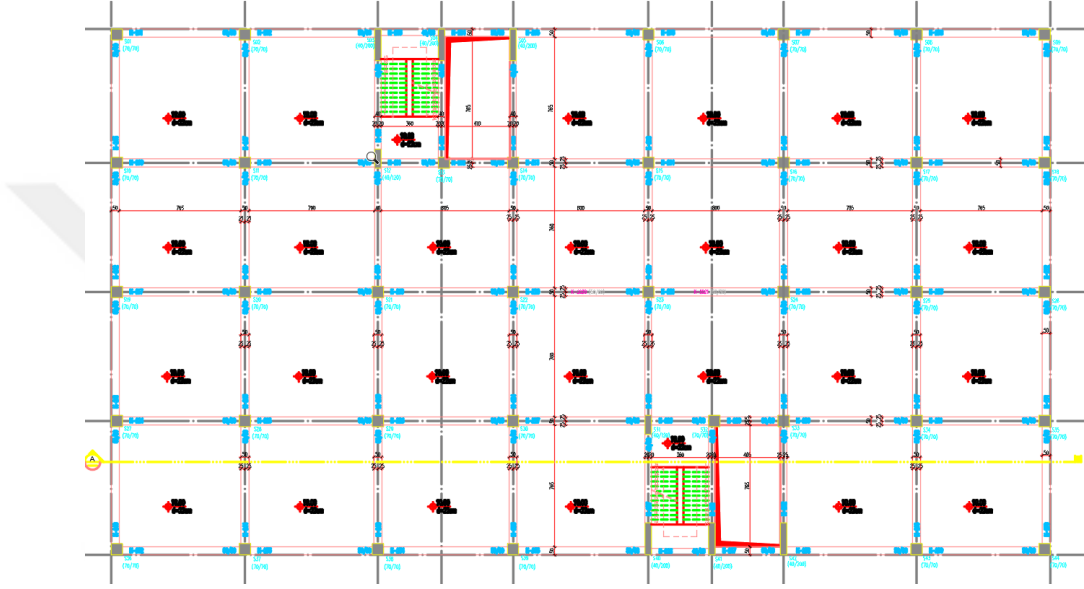
Sismik izolasyonlu binalarda görelî kat ötelemesi değeri için de sınırlamalar mevcuttur. TBDY 2018’de bu sınırlar performans hedefleri ile ilişkili olarak verilmektedir. h_i terimi, kat yüksekliği olmak üzere bu değeri **Tablo 3.8**’de sunulmuştur. Ayrıca, bu tür binalarda bırakılacak deprem derzlerine karar verilirken, izolasyon sisteminin en büyük yerdeğiştirmesine ek olarak görelî kat ötelenmeleri de hesaba alınmalı ve derz miktarı her iki taraftaki yapı için de mutlak en büyük yerdeğiştirme miktarından küçük olmayacak şekilde belirlenmelidir.

Tablo 3.8 Sismik izolasyonlu binalarda görelî kat öteleme limitleri

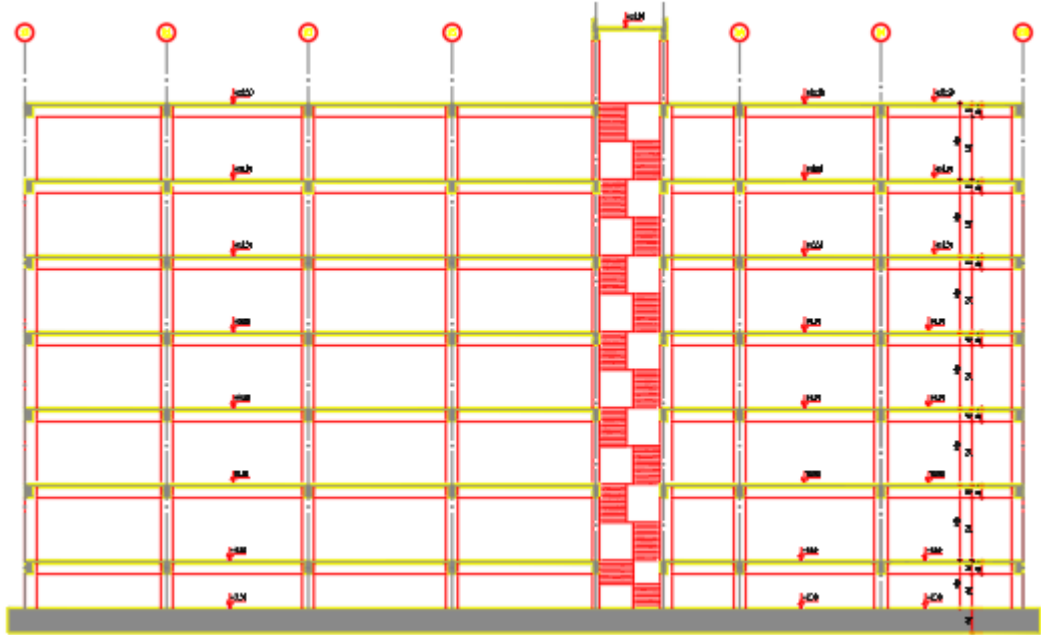
Performans seviyesi	Limit değeri
Kesintisiz kullanım	$0.005h_i$
Sınırlı hasar	$0.01h_i$
Kontrollü hasar	$0.015h_i$

5 SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, betonarme bir konut binasının deprem yalıtım sistemsiz ve deprem yalıtımlı olarak tasarlanması durumlarına ilişkin kıyaslamalar yapılmıştır. Söz konusu bina Bursa ilinde yer almaktadır. 1 bodrum katı, izolatör katı, zemin kat + 5 normal kata sahip olan binanın plan boyutları 59 m x 33 m'dir. Kat planları Şekil 5.1'de, kesit görünüşü ise Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Kat planı



Şekil 5.2 Kesit Görünüşü

5.1 Malzeme Özellikleri

Beton sınıfı olarak C30/37 (TS500/2000) beton kullanılmıştır. Donatı çeliği, minimum akma dayanımı 420 MPa, çekme dayanımı karakteristik akma dayanımının 1.15 ile 1.35 katı arasında olan ve çekme dayanımına karşılık gelen birim şekildeğiştirmesi %8 olan B420C çeliğidir. Malzemelerin mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Beton:

28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımı (f_{ck}): 30 Mpa

Karakteristik çekme dayanımı (f_{ctk}): $= 0.35\sqrt{f_{ck}} = 1.92 \text{ MPa}$

Elastisite modülü (E_c): $= 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000 \cong 31800 \text{ MPa}$

Tasarım basınç dayanımı (f_{cd}): $= 30/1.5 = 20 \text{ Mpa}$

Tasarım çekme dayanımı (f_{ctd}): $= 1.92/1.5 = 1.28 \text{ MPa}$

Donatı Çeliği:

Karakteristik akma dayanımı (f_{yk}): 420 Mpa

Elastisite modülü (E_s): $= 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$

Tasarım akma dayanımı (f_{yd}): $= 420/1.15 = 365 \text{ Mpa}$

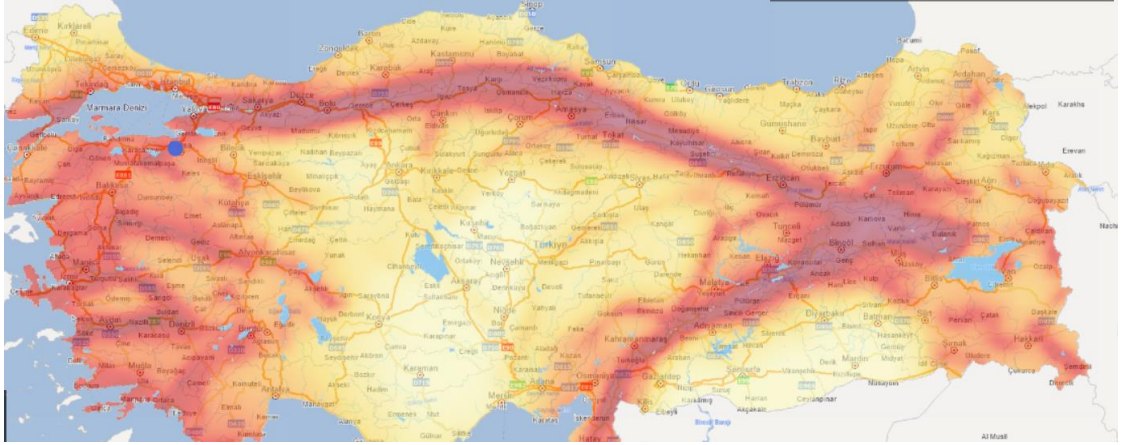
5.2 Zemin ve Deprem Parametreleri

Yapılan zemin etüd incelemelerine göre yerel zemin sınıfı TBDY-2018'e göre ZD olarak tespit edilmiştir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 TBDY 2018 Tablo 16.1 - Yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, 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	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	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killeri, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killeri, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killeri, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killeri.			

Tasarımı yapılacak olan yapının analizlerinde kullanılacak deprem yüklemesine ait veriler için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esaslarından yararlanılmış ve Deprem Tehlike Haritaları kullanılmıştır (Şekil 5.3). Öncelikli olarak binaların bulunduğu yerin enlem ve boylamı göz önüne alınarak deprem tehlike haritalarından ilgili deprem yer hareketi düzeyine karşı gelen ivme büyüklükleri elde edilmiş ve deprem tasarım spektrumu tanımlanmıştır.



Şekil 5.3 Türkiye Deprem Tehlike Haritası

Yerel Zemin Sınıfı : ZD

Deprem Tehlike Haritası İvme Büyüklükleri:

- ❖ Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı : $S_s = 0.920$
- ❖ 1.0 Saniye Periyot için Harita Spektral İvme Katsayısı : $S_1 = 0.240$
- ❖ En Büyük Yer İvmesi : $PGA = 0.387 \text{ g}$

Yerel Zemin Etki Katsayıları (F_s ve F_1):

- ❖ Kısa Periyot Bölgesi için : $F_s = 1.132$
- ❖ 1.0 Saniye Periyot Bölgesi için : $F_1 = 2.120$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları (S_{DS} ve S_{D1}) ve Köşe Periyodlar (T_A ve T_B):

$$S_{DS} = S_s \times F_s = 0.920 \times 1.132 = \mathbf{1.041}$$

$$S_{D1} = S_1 \times F_1 = 0.240 \times 2.120 = \mathbf{0.509}$$

$$T_A = \mathbf{0.098 \text{ s}}, T_B = \mathbf{0.498 \text{ s' dir.}}$$

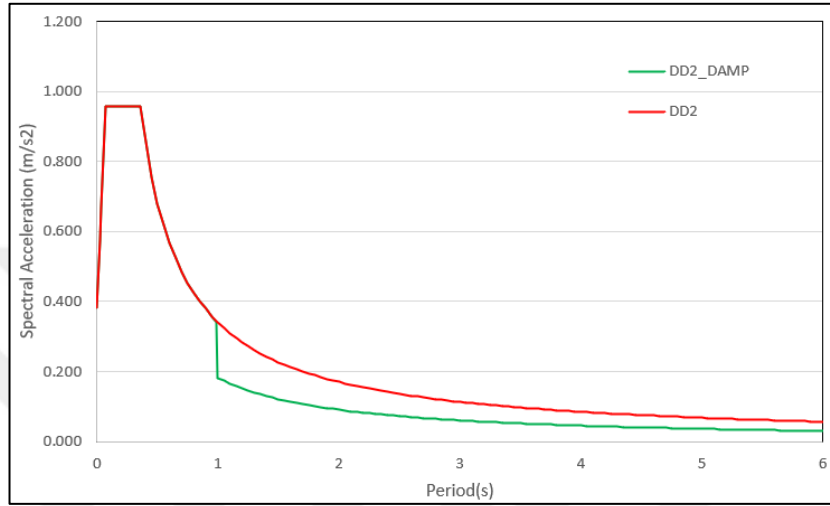
TBDY 2018'e göre hesaplanan spektrum değerleri ankastre mesnetli (deprem yalıtım sistemi olmayan konvansiyonel durum) yapı için doğrultu etkileri göz önüne alınarak %5 sönüm için hesaplanmıştır.

Bu spektrumlardaki ivme değerlerinin deprem yalıtımlı yapıda ulaşılacak farklı sönüm oranları için azaltılmasında spektrum azaltma katsayısı Denklem 5.1 formül ile hesaplanacaktır. Bu formül ile elde edilecek katsayı (1'den küçük) çarpan olarak kullanılacaktır (Şekil 5.4).

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \quad (\text{Denklem 5.1})$$

ξ : İzolasyon sisteminin hesaplanan etkin titreşim periyodunda sağlanan etkin sönüm oranı

η = Sönüm ölçeklendirme katsayısı



Şekil 5.4 DD1 ve DD2 Azaltılmış Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

TBDY Bölüm 14.9.2'e deprem yalıtımı uygulanan binaların tasarımında DD-2 deprem yer hareketi altında hedeflenen performans düzeylerine ulaşmak için deprem yükü azaltma katsayısı R ve dayanım fazlalığı katsayısı D TBDY Tablo 3.2'ye göre belirlenecektir. İzolatörlü yapılarda bina önem katsayısı $I=1$ olarak alınmaktadır. Bu sebeple hesapta izolatörlü yapı için $R=1.2$ $D=1.2$ alınmıştır.

Konvansiyonel yapıda ise TBDY Tablo 4.1'de deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perdeler ve sünekli düzeyi yüksek betonarme kolonlar ile karşılandığı sistemlere ait R ve D katsayıları kullanılmıştır (Tablo 5.2). Taşıyıcı sistem davranış katsayıları TBDY Tablo 4.1'e göre A15 "Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar" olarak seçilmiştir ($R=7$, $D=2.5$). Bina önem katsayısı yapının konut olmasından dolayı $I=1.5$ olarak alınmıştır. Hesaplarda kullanılan deprem yükü azaltma katsayısı $(R_a) = (R/I) = 7/1.5 = 4.66$ olarak alınmıştır.

Tablo 5.2 R ve D katsayılarının seçimi (TBDY Tablo 4.1)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı <i>R</i>	Dayanım Fazlalığı Katsayısı <i>D</i>	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları <i>BYS</i>
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 2$
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz 4.3.4.5)	8	2.5	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz 4.3.4.5)	7	2.5	$BYS \geq 2$

5.3 Modelleme ve Analiz

Konu alınan binanın konvansiyonel ve deprem yalıtımlı tasarımı için ETABS V20.3 yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle konvansiyonel sistem modellenerek tasarımı gerçekleştirilmiştir. Konvansiyonel sistem tasarımında mimari projede perde bulunmayan bazı bölümlere perdeler eklenmiştir.

- Yapıda 40cmx120cm ve 70x70cm olmak üzere iki farklı tip kolon kullanılmıştır.
- Kirişler ise 40cmx80cm ve 50cmx80cm şeklinde iki farklı tip olarak tasarlanmıştır.
- Döşeme kalınlıkları 20cm olup perde kalınlıkları ise 40cm ve 50 cm olarak seçilmiştir.
- Döşemelerde yapı hareketli yükleri TS498'e uygun olarak 5 kN/m² alınmıştır.
- Kaplama yükleri için 2kN/m², duvar yükleri için ise 2.2 kN/m² yayılı yük kabulü yapılmıştır.
- Ayrıca kirişler üzerinde de 7 kN/m duvar yükü alınmıştır.

Yapısal elemanların zati ağırlıkları Etabs programındaki 'Dead' yük etiketi ile dikkate alınmıştır. Diğer ölü ve hareketli yüklere ait yük etiketleri Şekil 5.5'de sunulmuştur. Taşıyıcı sistemin son haline ait ETABS plan görüşünü ve 3 boyutlu model görseli sırasıyla Şekil 5.6'de ve Şekil 5.7'da verilmiştir.

E Define Load Patterns

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
DL	Dead	1	
DL	Dead	1	
LL	Live	0	
SDL	Super Dead	0	
WDL	Super Dead	0	

Click To:

Add New Load

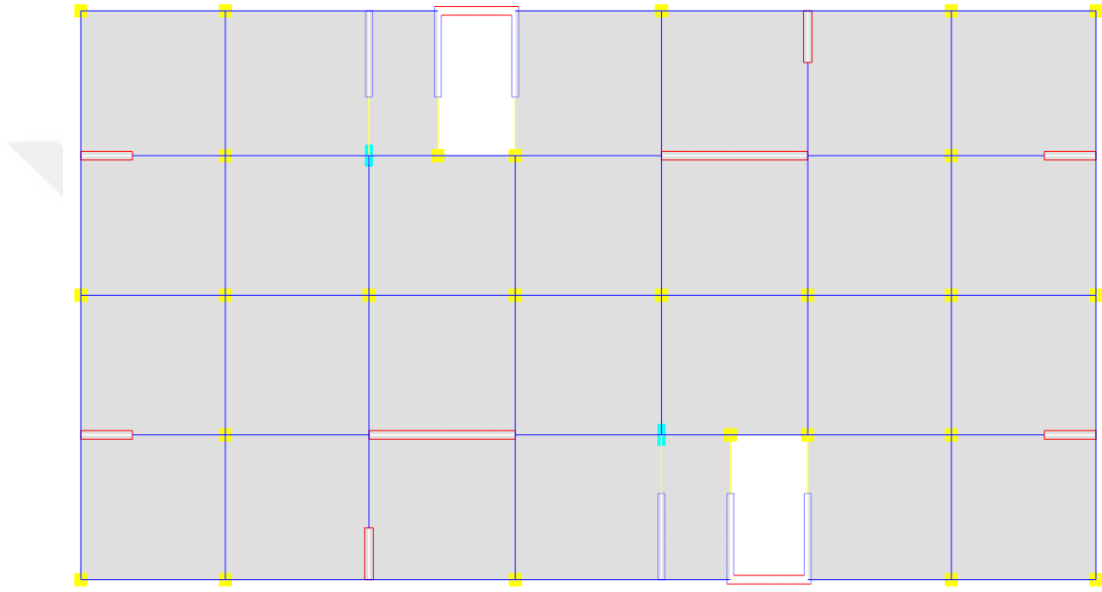
Modify Load

Modify Lateral Load...

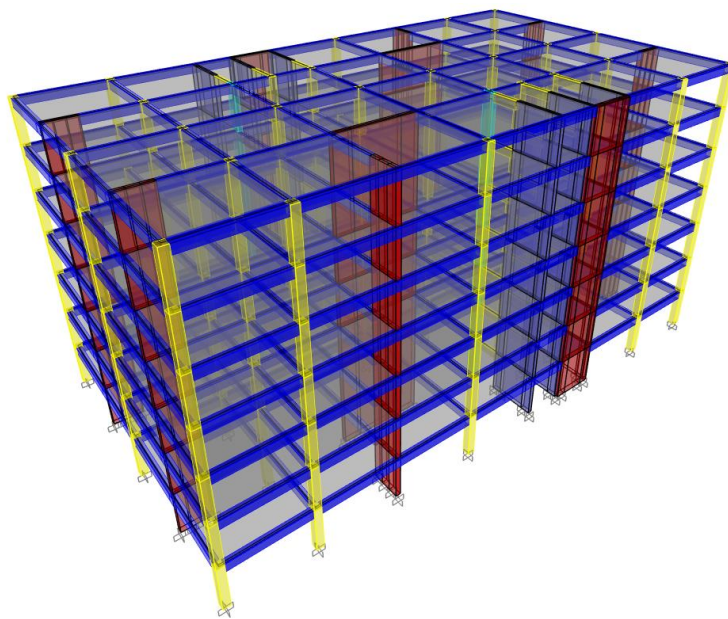
Delete Load

OK Cancel

Şekil 5.5 Yük etiketleri (ETABS)

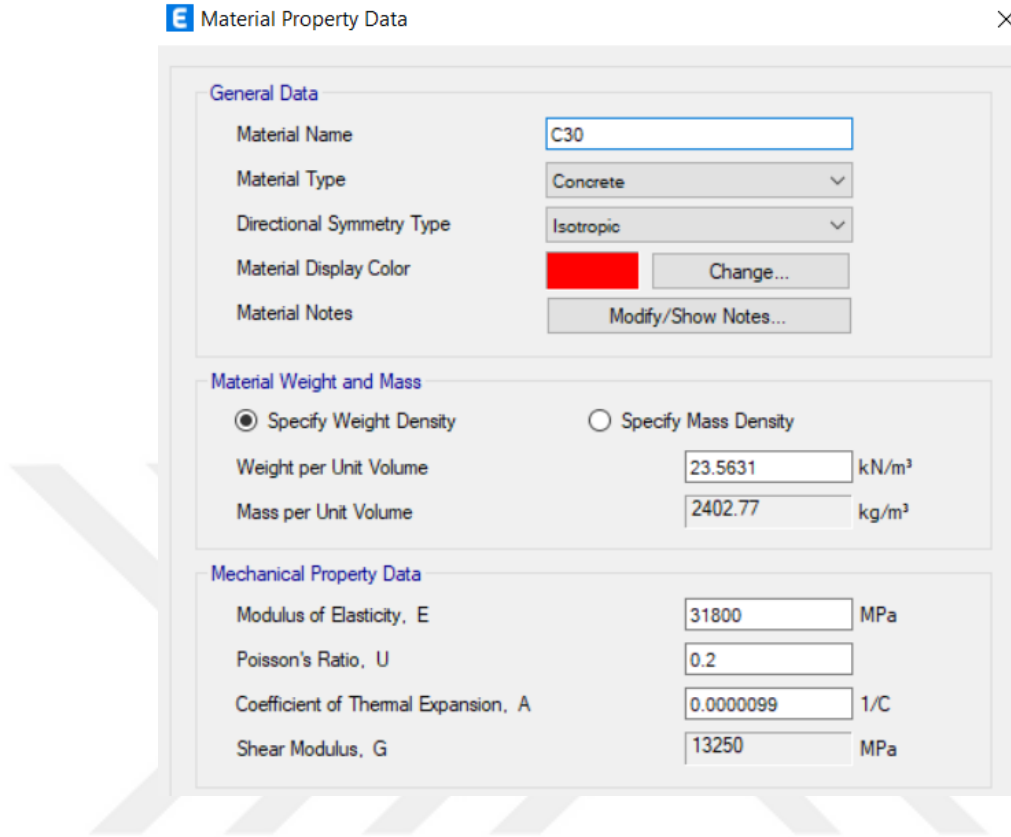


Şekil 5.6 Konvansiyonel tasarım kat planı görünüşü ve kolon-perde yerleşimleri (ETABS)



Şekil 5.7 Konvansiyonel tasarım 3D modeli (ETABS)

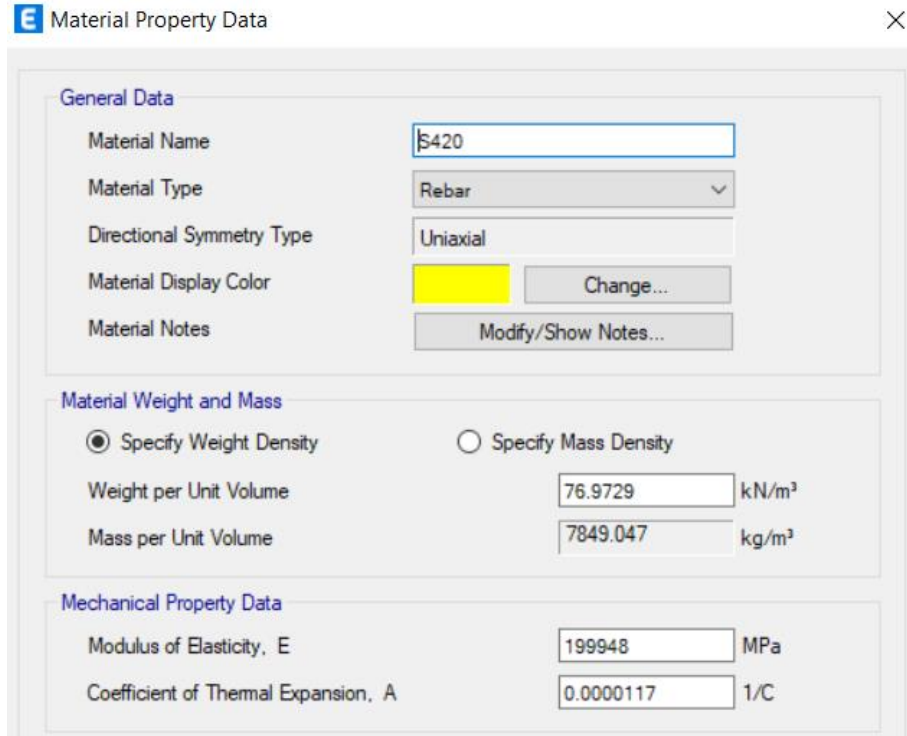
Yapısal analizde kullanılan malzeme tanımlamaları ETABS yazılımında beton için Şekil 5.8, donatı için ise Şekil 5.9'da verilmiştir.



The image shows the 'Material Property Data' dialog box in ETABS for a concrete material named 'C30'. The dialog is divided into three sections: General Data, Material Weight and Mass, and Mechanical Property Data. In the General Data section, the Material Name is 'C30', Material Type is 'Concrete', Directional Symmetry Type is 'Isotropic', Material Display Color is a red square, and Material Notes is empty. In the Material Weight and Mass section, 'Specify Weight Density' is selected, with a weight per unit volume of 23.5631 kN/m³ and a mass per unit volume of 2402.77 kg/m³. In the Mechanical Property Data section, the Modulus of Elasticity (E) is 31800 MPa, Poisson's Ratio (U) is 0.2, Coefficient of Thermal Expansion (A) is 0.0000099 1/C, and Shear Modulus (G) is 13250 MPa.

Section	Property	Value	Unit
General Data	Material Name	C30	
	Material Type	Concrete	
	Directional Symmetry Type	Isotropic	
	Material Display Color	Red	
	Material Notes		
Material Weight and Mass	Specify Weight Density	☒	
	Specify Mass Density	☐	
	Weight per Unit Volume	23.5631	kN/m³
	Mass per Unit Volume	2402.77	kg/m³
Mechanical Property Data	Modulus of Elasticity, E	31800	MPa
	Poisson's Ratio, U	0.2	
	Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099	1/C
	Shear Modulus, G	13250	MPa

Şekil 5.8 C30 Beton malzemesi tanımı (ETABS)

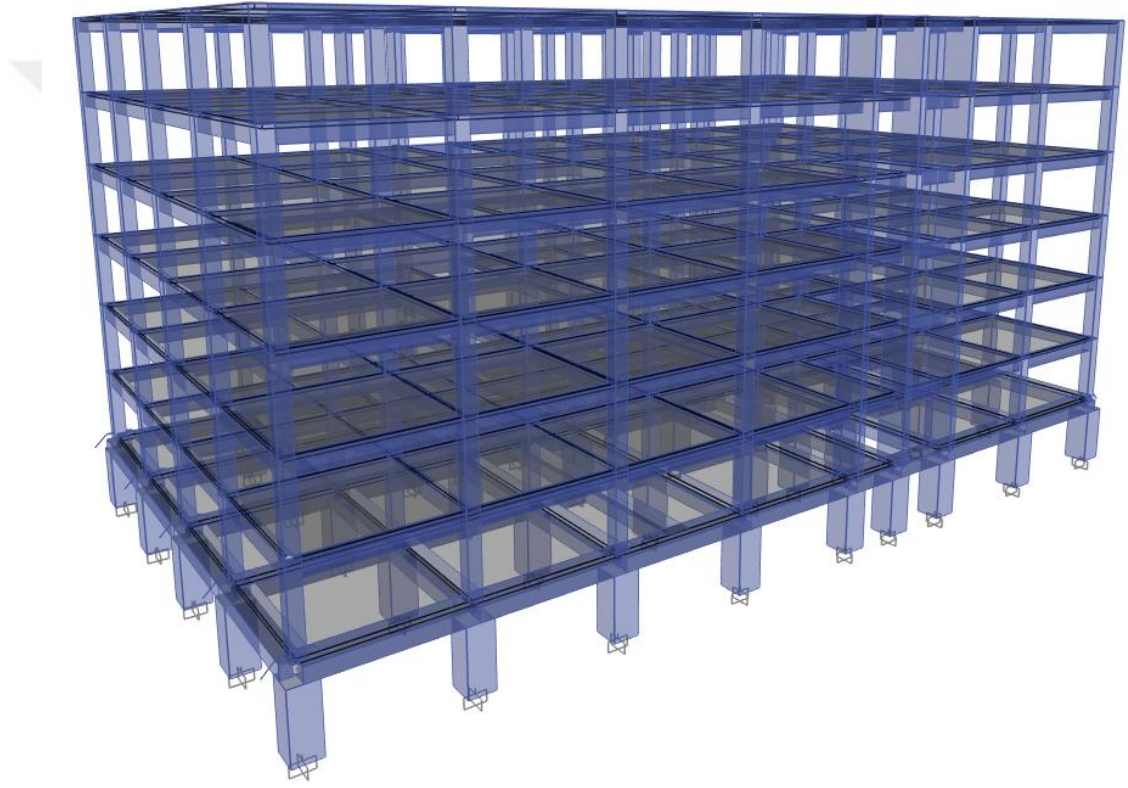


The image shows the 'Material Property Data' dialog box in ETABS for a rebar material named 'B420'. The dialog is divided into three sections: General Data, Material Weight and Mass, and Mechanical Property Data. In the General Data section, the Material Name is 'B420', Material Type is 'Rebar', Directional Symmetry Type is 'Uniaxial', Material Display Color is a yellow square, and Material Notes is empty. In the Material Weight and Mass section, 'Specify Weight Density' is selected, with a weight per unit volume of 76.9729 kN/m³ and a mass per unit volume of 7849.047 kg/m³. In the Mechanical Property Data section, the Modulus of Elasticity (E) is 199948 MPa and the Coefficient of Thermal Expansion (A) is 0.0000117 1/C.

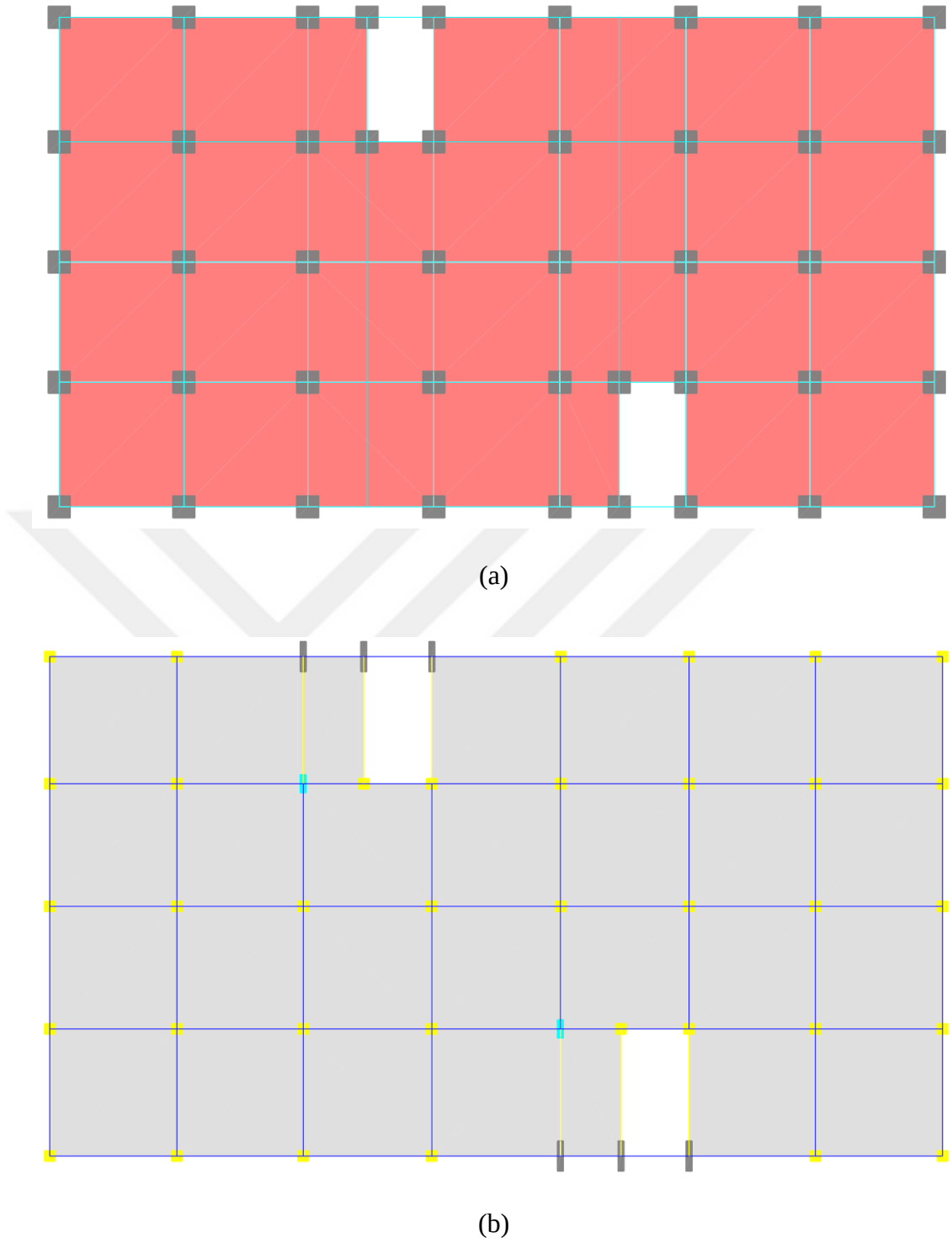
Section	Property	Value	Unit
General Data	Material Name	B420	
	Material Type	Rebar	
	Directional Symmetry Type	Uniaxial	
	Material Display Color	Yellow	
	Material Notes		
Material Weight and Mass	Specify Weight Density	☒	
	Specify Mass Density	☐	
	Weight per Unit Volume	76.9729	kN/m³
	Mass per Unit Volume	7849.047	kg/m³
Mechanical Property Data	Modulus of Elasticity, E	199948	MPa
	Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000117	1/C

Şekil 5.9 B420C donatı çeliği tanımı (ETABS)

Yalıtım sistemi tasarımında sürtünmeli sarkaç izolatörler (Friction Pandulum System- FPS) kullanılmıştır. Yapılan deneyler ve izolatör sistemine ait üretimsel veriler ile tasarımsal koşullara göre, modellemede ve davranışta dikkate alınacak parametreler ETABS modelinde link elemanlarla modellenmiştir. Deprem yalıtımı uygulanan sistemde izolatör yerleşimi yapılacak olan düşey taşıyıcıların kesit ebatları 150cmx150cm olarak seçilmiştir. İzolatör düzleminde yer alan kirişler ise 150cm genişliğinde ve 80cm derinliğindedir. İzolatör katında döşeme kalınlıkları 25 cm alınmıştır. İzolatörlü sisteme ait üç boyutlu görünüş ve örnek bir normal kat planı sırasıyla şekil 5.10'da ve şekil 5.11'de sunulmuştur.

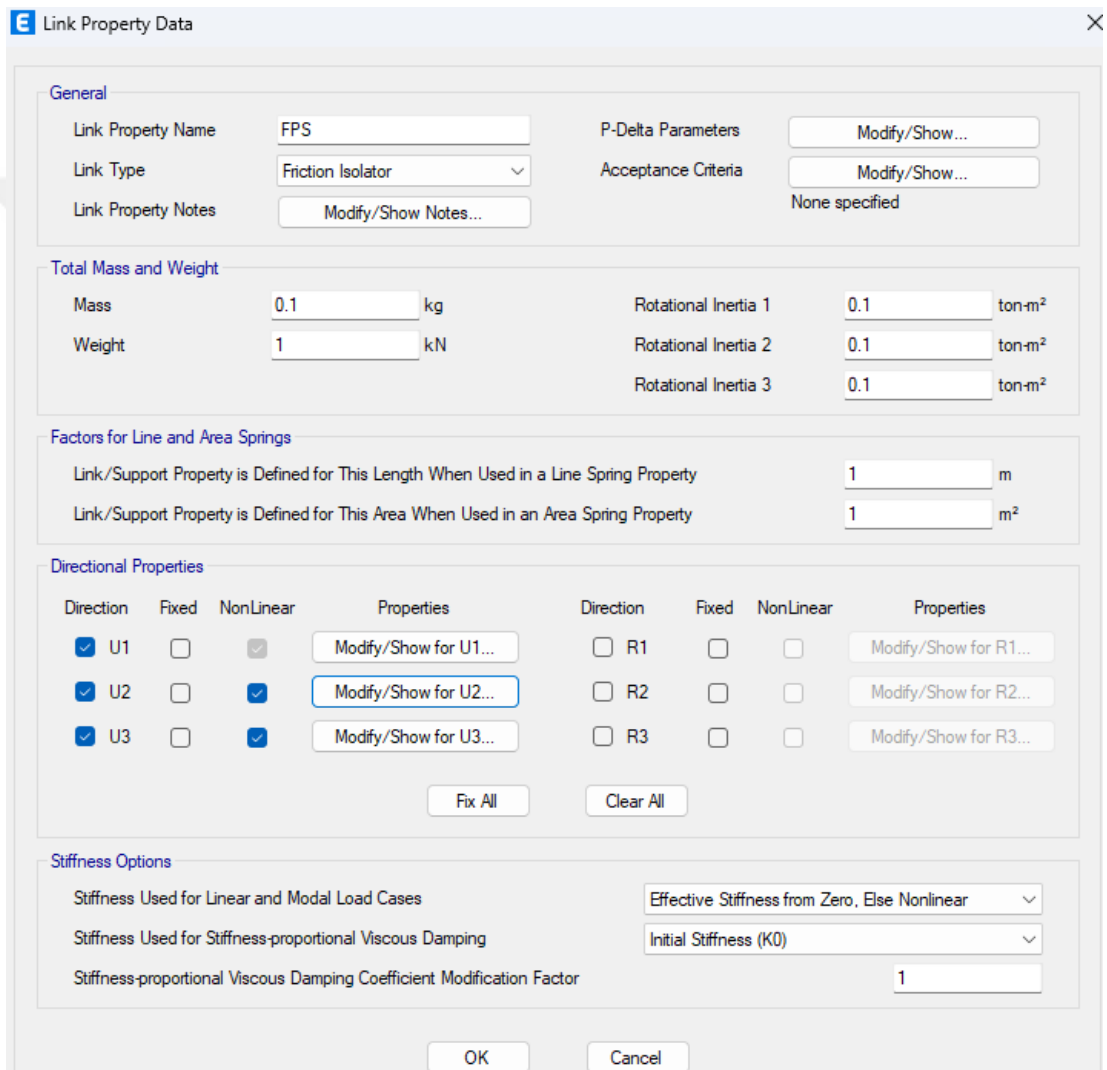


şekil 5.10 Deprem yalıtımlı tasarım 3D modeli (ETABS)



Şekil 5.11 Deprem yalıtımlı tasarım izolatör katı (a) ve normal kat (b) planları (ETABS)

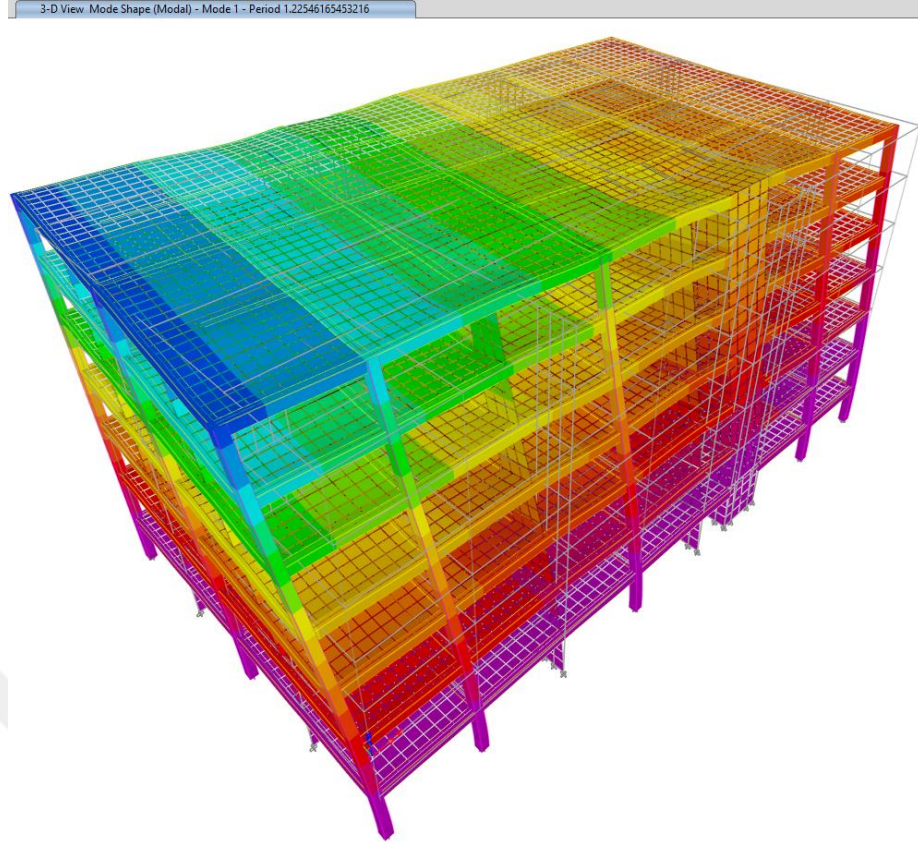
İzolatör özelliklerinin yansıtıldığı link elemanların hesap modelinde kullanımı Şekil 5.12’de, link elemanlar için yapılan tanımlamalar ise Şekil 5.13’de verilmiştir. Burada yer alan parametreler izolatör çeşidi ve deneysel veriler doğrultusunda bir kabul yapılarak kullanılmıştır.



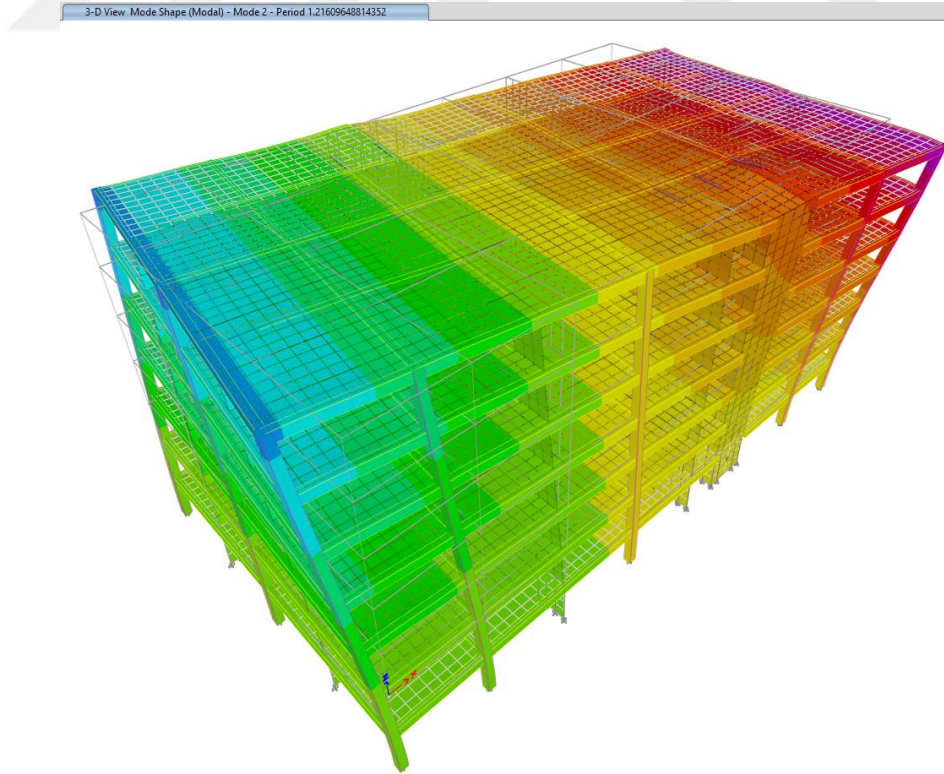
Şekil 5.13 Link elemanlar ile tanımlanan izolatör parametreleri

5.4 Analiz Sonuçları

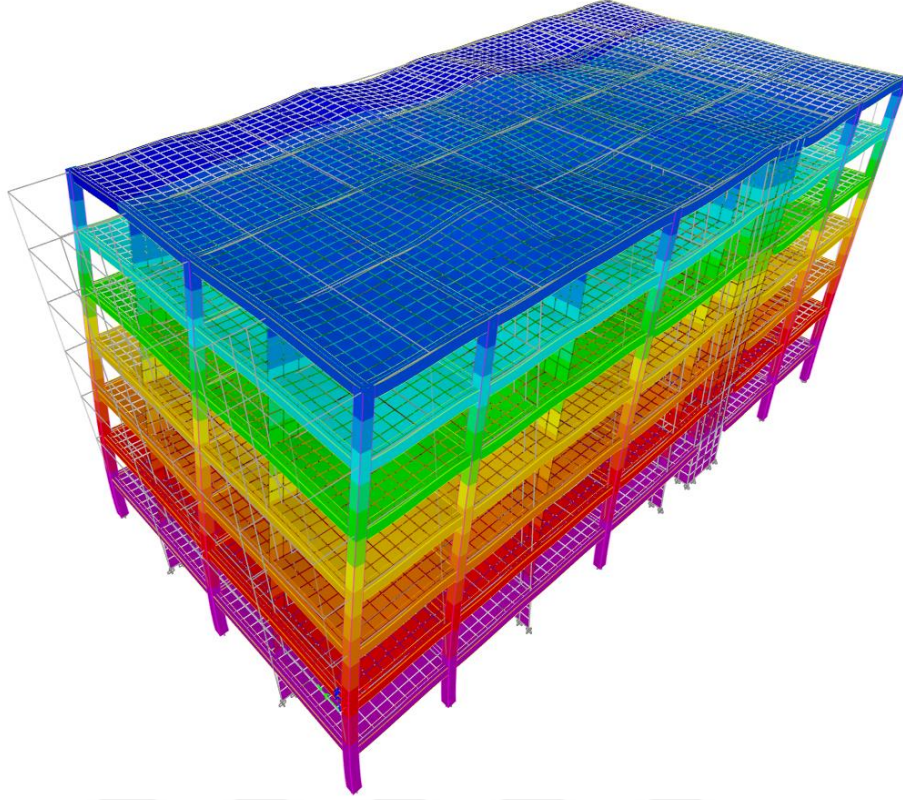
Modal hesap yöntemlerinde, hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, TBDY-18 EK 4B'ye göre (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmaması kuralına göre belirlenmelidir ancak mod katkısı %3'ü aşan modlar da dikkate alınmalıdır. Konvansiyonel ve deprem yalıtımlı sistemde hakim ilk üç moda ait görseller Şekil 5.14 ile **Error! Reference source not found.**'da sunulmuştur. Modal analiz sonuçlarından elde edilen modal parametrelere ait sayısal sonuçlar konvansiyonel yapı için Tablo 5.3'de, deprem yalıtımlı bina için ise Tablo 5.4'de verilmiştir.



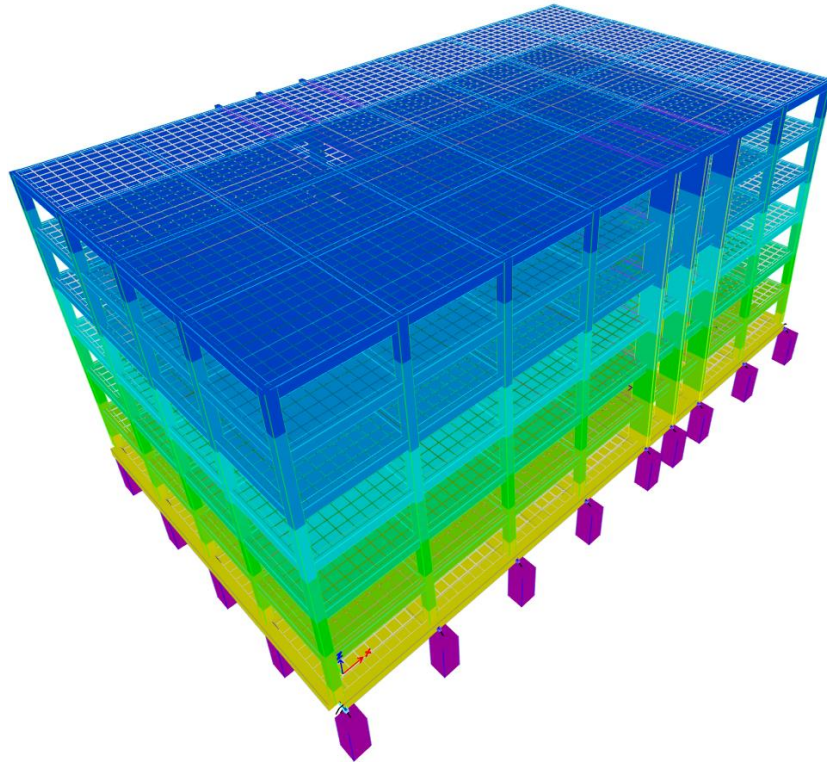
Şekil 5.14 Konvansiyonel binaya ait 1.mod şekli (Y Yönü)



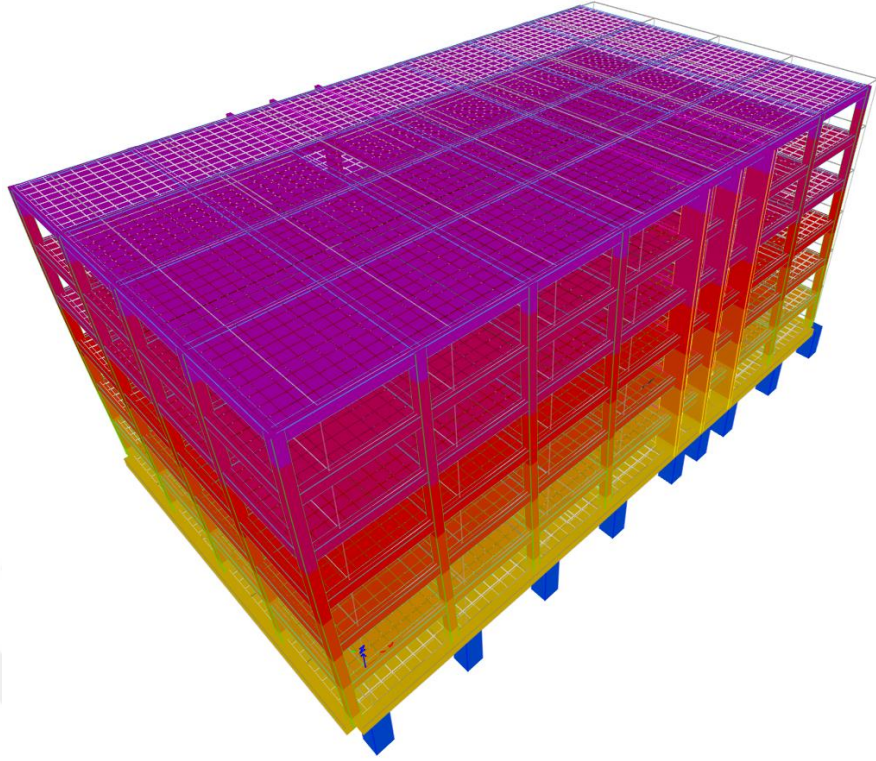
Şekil 5.15 Konvansiyonel binaya ait 2.mod şekli (Burulma)



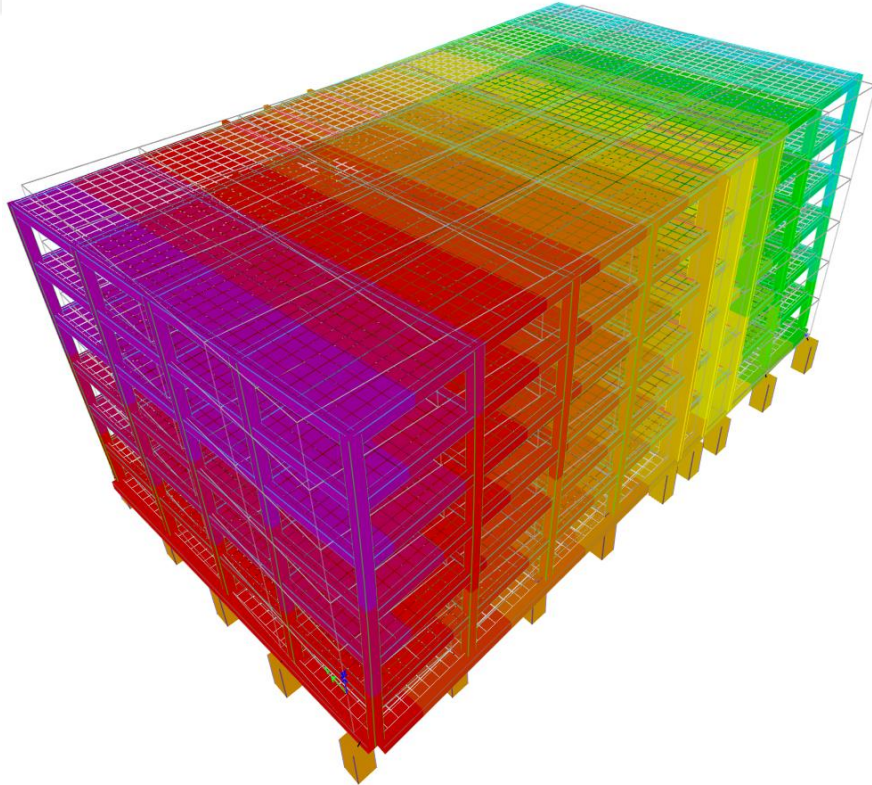
Şekil 5.16 Konvansiyonel binaya ait 3.mod şekli (X Yönü)



Şekil 5.17 Deprem yalıtımlı binaya ait 1.mod şekli (Y Yönü)



Şekil 5.18 Deprem yalıtımlı binaya ait 2.mod şekli (X Yönü)



Şekil 5.19 Deprem yalıtımlı binaya ait 3.mod şekli (Burulma)

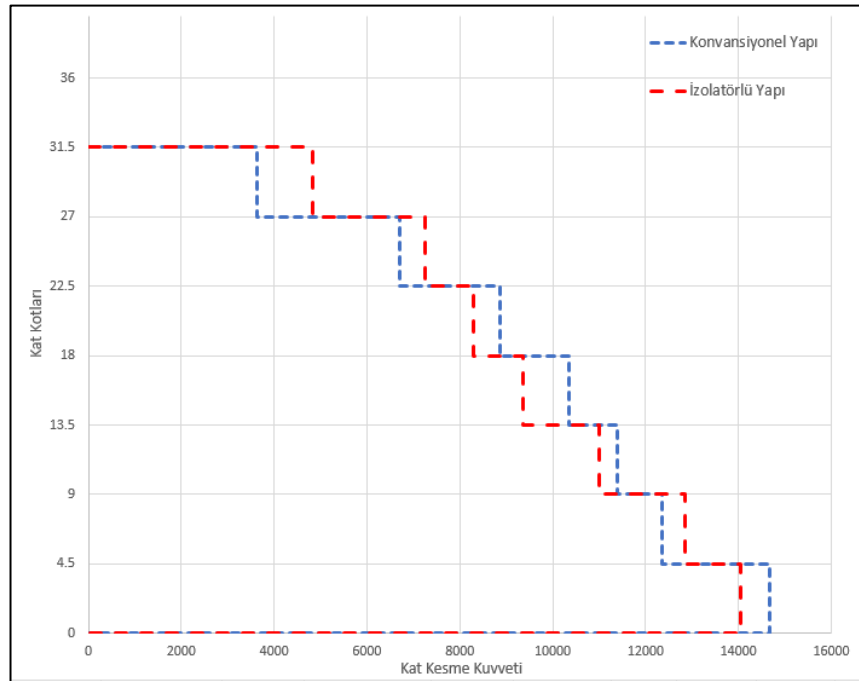
Tablo 5.3 Modal periyot ve kütle katılım oranları (Konvansiyonel Yapı)

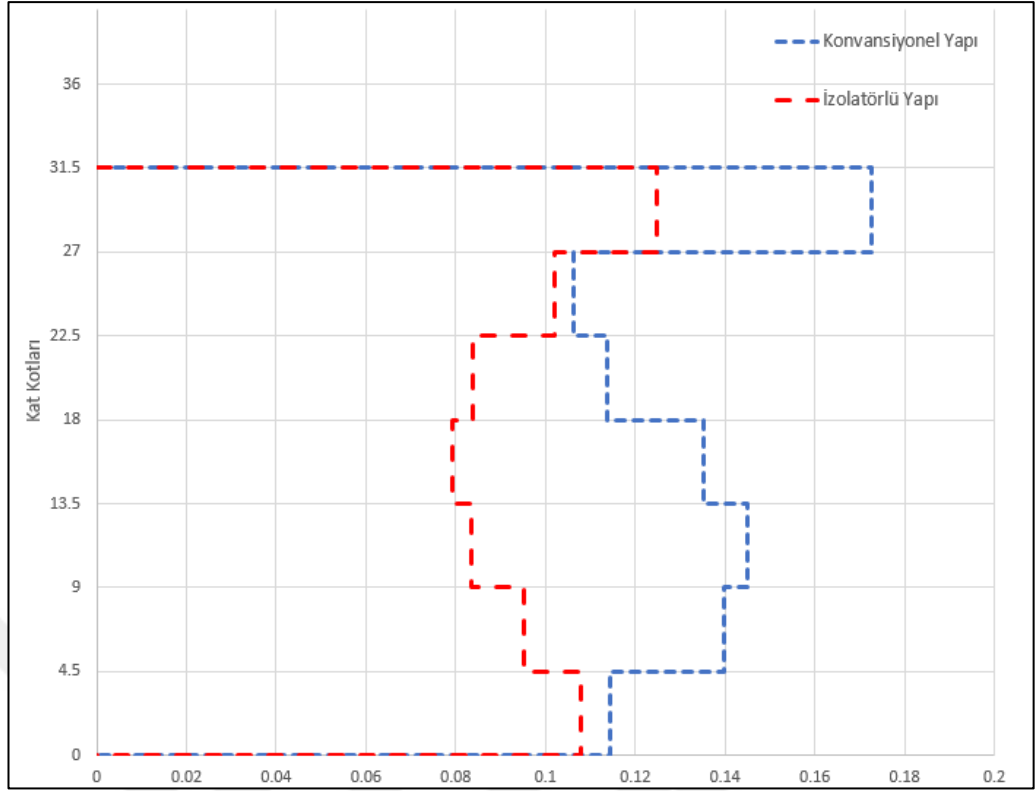
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	ΣUX	ΣUY	ΣUZ
Modal	1	1.225	0.001	0.6142	0	0.001	0.6142	0
Modal	2	1.216	0	0.1032	0	0.001	0.7174	0
Modal	3	1.032	0.7083	0.0009	0	0.7093	0.7183	0
Modal	100	0.034	0.0001	0.0001	0	0.9978	0.9975	0

Tablo 5.4 Modal periyot ve kütle katılım oranları (Deprem Yalıtımlı Yapı)

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	ΣUX	ΣUY	ΣUZ
Modal	1	2.359	0	0.9648	0	0	0.9648	0
Modal	2	2.352	0.9668	0	0	0.9668	0.9648	0
Modal	3	2.176	0	0.0001	0	0.9668	0.9648	0
Modal	300	0.013	0	0	0	1	1	0

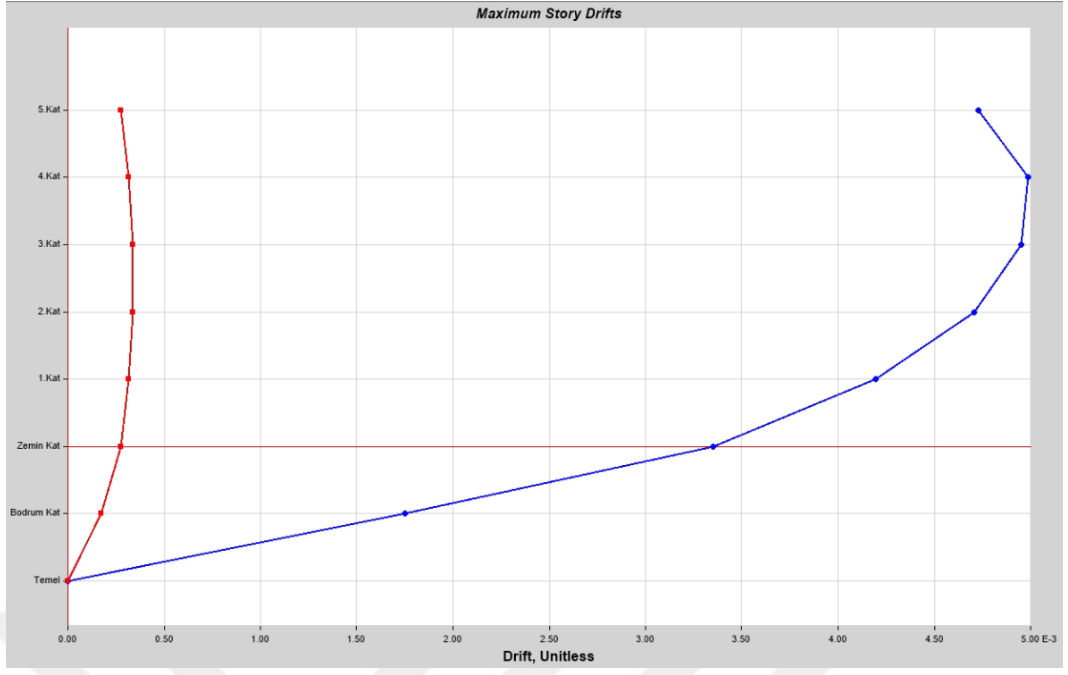
Analiz sonuçlarından elde edilen taban kesme kuvvetleri ve kat dağılımları hem konvansiyonel, hem de deprem yalıtımlı sistem için karşılaştırmalı olarak Şekil 5.20’de verilmiştir. Kat ivmelerinin kıyaslaması ise Şekil 5.21’de sunulmuştur.

**Şekil 5.20** DD2 Yüklemesi Taban Kesmeleri: (a) Konvansiyonel, (b) Yalıtımlı sistem

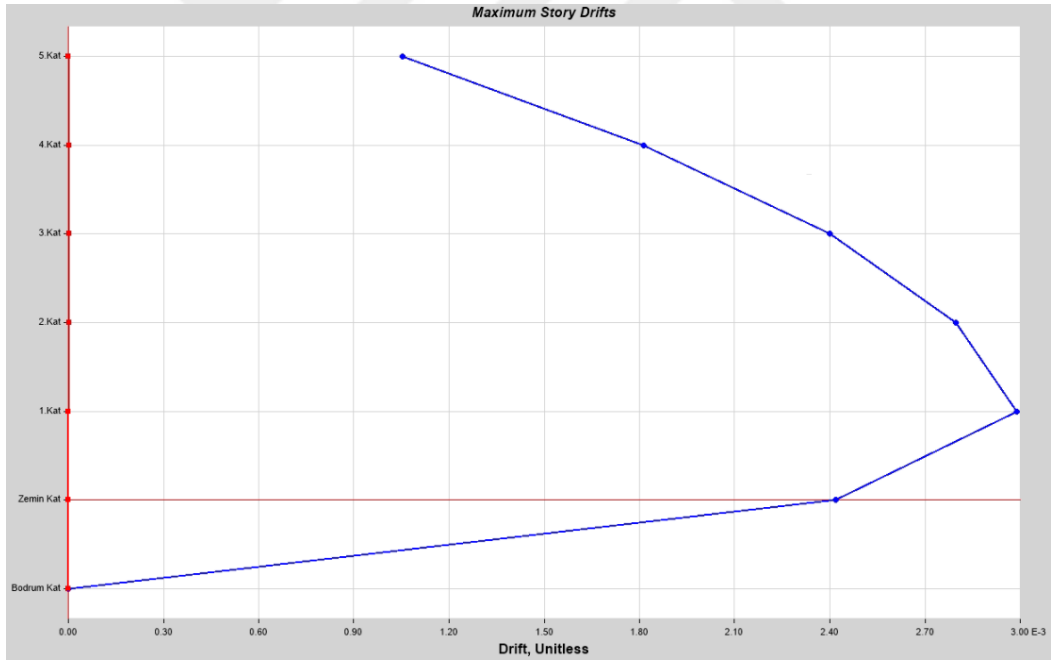


Şekil 5.21 Analiz sonuçlarından elde edilen kat ivmelerinin karşılaştırılması

TBDY 14.14.5.1'e göre üst yapıdaki görelî kat ötelemeleri, Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesi için $0.005h_i$, Sınırlı Hasar (SH) performans seviyesi için $0.01h_i$, Kontrollü Hasar (KH) performans seviyesi için $0.015h_i$ değerini aşmamalıdır (**Tablo 3.8**). X doğrultusu için Şekil 5.22a'da konvansiyonel yapı için, Şekil 5.22b'de ise deprem yalıtımlı bina için görelî kat öteleme değerleri verilmiştir. Benzer şekilde Şekil 5.23'de ise Y doğrultusu sonuçları sunulmuştur. Binaların tasarımında limit değerlerin altında kalmıştır.

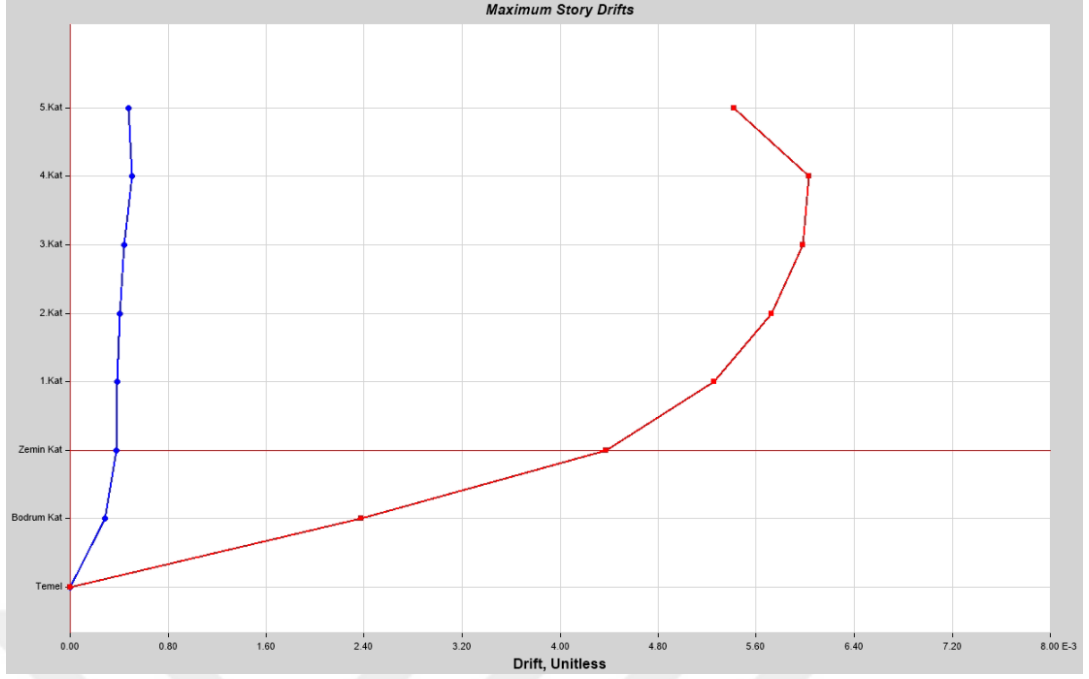


(a)

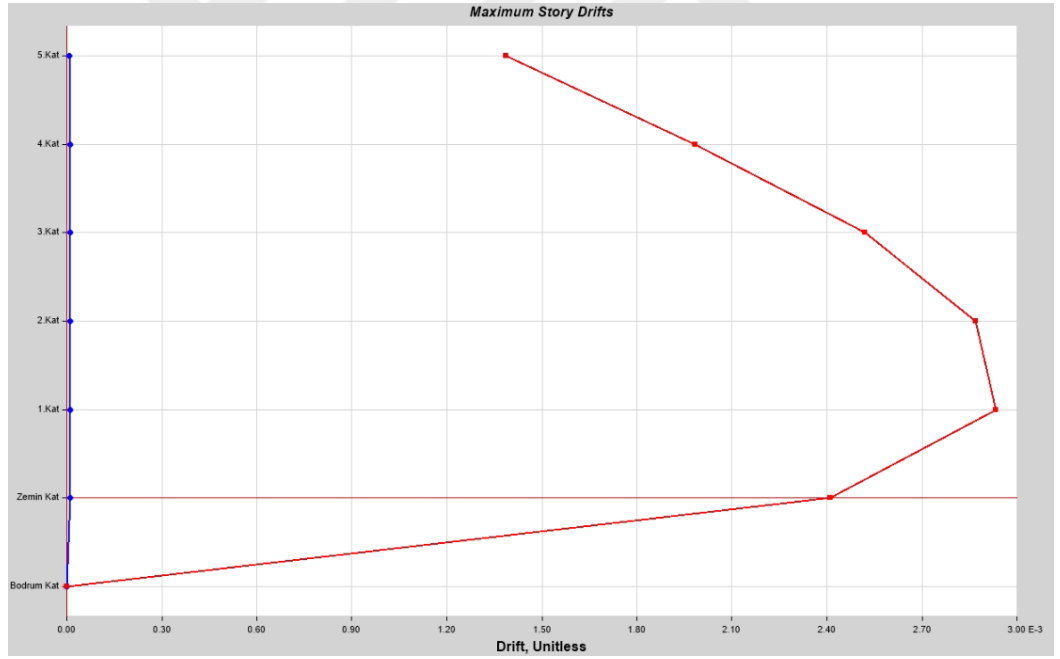


(b)

Şekil 5.22 X Doğrultusu göreli kat ötelemeleri: (a) Konvansiyonel, (b) Yalıtımlı sistem



(a)



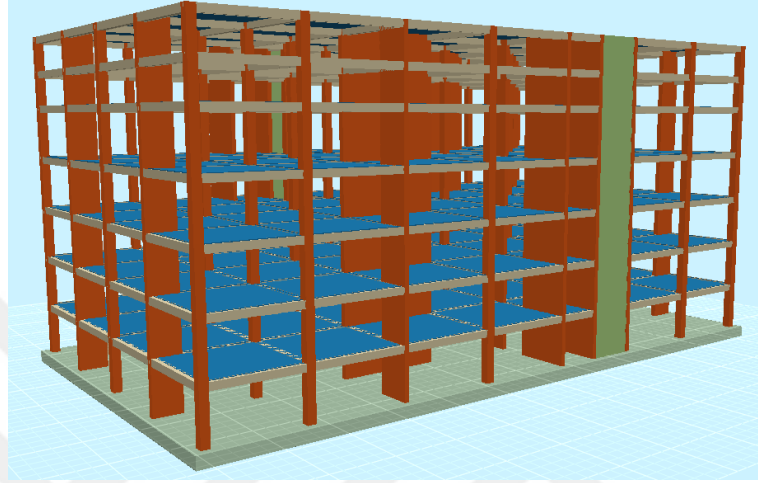
(b)

Şekil 5.23 Y Doğrultusu göreli kat ötelemeleri: (a) Konvansiyonel, (b) Yalıtımlı sistem

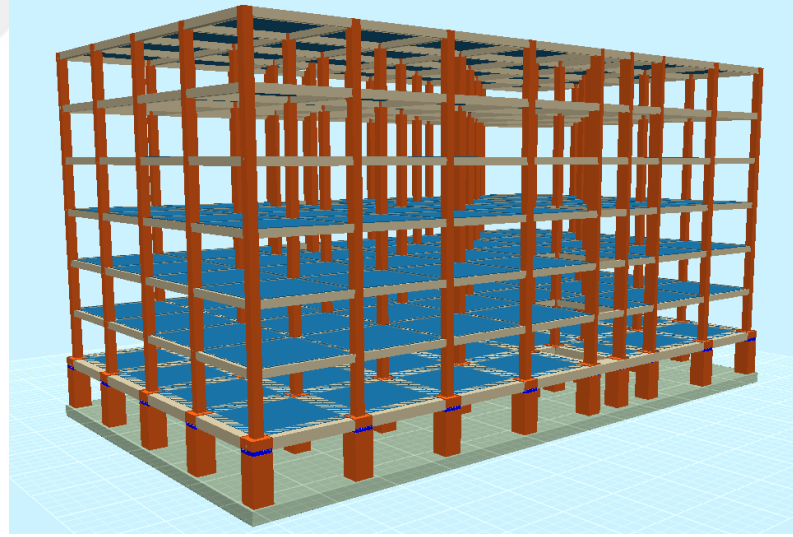
5.5 Maliyet Karşılaştırması

Konvansiyonel yaklaşımla ve deprem izolatörlü olarak tasarlanan konut binasının metraj hesapları Sta4CAD programı yardımıyla yapılmıştır. Her iki durum

için de, ETABS ile belirlenen tasarım donatıları Sta4CAD programında oluşturulan hesap modeli elemanlarına atanmıştır ve bu yolla metraj zeti Sta4Cad ıktısı olarak alınmıştır. Alınan bu sonuçlar üzerinden maliyet kıyaslaması yapılmıştır. Sta4CAD’de modellenen konvansiyonel yapıya ait 3D görünüş şekil 5.24’de, deprem izolatörlü yapıya ait görünüş ise şekil 5.25’de verilmiştir.



şekil 5.24 Sta4CAD konvansiyonel yapı modeli



şekil 5.25 Sta4CAD deprem yalıtımlı yapı modeli

Metraj kıyaslamaları, beton, kalıp ve donatılar için ayrı ayrı sırasıyla Tablo 5.5, Tablo 5.6, ve Tablo 5.7’de verilmiştir. Deprem yalıtımlı binada 44 adet izolatör kullanılmıştır. İzolatörler için 5000 \$ / 1 adet kabul yapılarak hesaplanan toplam maliyet kıyaslamalı olarak Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.5 Beton metrajı kıyaslaması

BİNA YAPISI	Beton			
	Miktar (m ³)	Birim Fiyat (2024)	Tutar	Oran
İZOLATÖRLÜ	6781	2842.80	₺ 19,277,027	1.03
KONVANSİYONEL	6585		₺ 18,719,838	

Tablo 5.6 Kalıp metrajı kıyaslaması

BİNA YAPISI	Kalıp			
	Miktar (m ²)	Birim Fiyat (2024)	Tutar	Oran
İZOLATÖRLÜ	20707	634.51	₺ 13,138,862	0.93
KONVANSİYONEL	22240		₺ 14,111,502	

Tablo 5.7 Donatı metrajı kıyaslaması

BİNA YAPISI	Demir (Poz: 15.160.1004)			
	Miktar (ton)	Birim Fiyat (2024)	Tutar	Oran
İZOLATÖRLÜ	935.7	32514.45	₺ 30,423,771	1.17
KONVANSİYONEL	796.4		₺ 25,894,508	

Tablo 5.8 Toplam maliyet kıyaslaması

BİNA YAPISI	İzolator Maliyeti		Toplam	
	Miktar (adet)	Birim Fiyat (2024)		
İZOLATÖRLÜ	44	\$5,000	₺ 70,429,660	1.199
		₺ 7,590,000		
KONVANSİYONEL			₺ 58,725,848	

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, sismik izolasyon yöntemlerinin çalışma prensipleri ve etkileri konu alınmıştır. Çeşitli izolasyon yöntemlerinin başlıca özellikleri derlenerek, tasarım ve uygulama aşamalarındaki olumlu/olumsuz özellikleri açıklanmıştır. İzolasyon sistemlerinin yapısal davranışa etkisinin sayısal yöntemle ortaya konabilmesi adına, çalışmanın son bölümünde ETABS yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, konu alınan bir bina yapısı öncelikle ankastre mesnetli geleneksel (konvansiyonel) sistem ile tasarlanmıştır. Ardından aynı sistem, sürtünmeli sarkaç izolatörler kullanılarak da tasarlanmıştır ve yapısal davranış ile ilgili göstergeler olan, modal analiz verileri, taban ve kat kesme kuvvetleri, kat ivmeleri, görelî kat ötelemeleri gibi parametreler karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Çalışmanın son bölümünde ayrıca, iki yönteme ait metrajlar da hesaplanarak sismik izolasyon uygulamasının maliyet açısından sonuçları görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgulara göre;

- ❖ Deprem yalıtımlı sistemde hakim X ve Y yönü periyot değerleri 1 – 1.2s mertebelerinden 2.4 s mertebelerine uzamıştır. Tasarım spektrumu dikkate alındığında, bu durumun binaya aktarılacak olan deprem ivmelerini azalttığı sonucuna varılmaktadır.
- ❖ Modal sonuçlara göre, deprem yalıtımlı sistemin hakim X ve Y yönü modlarına ait kütle katılım değerleri 0.97 mertebelerine ulaşmaktadır ki bu yapı davranışı açısından oldukça önemli bir durumdur. Konvansiyonel sistemde hakim mod kütle katılımları 0.61-0.71 mertebelerindedir.
- ❖ Taban kesme kuvvetleri kıyaslandığında özellikle binanın alt katlarında konvansiyonel yapı kat kesme kuvvetlerinin daha büyük olduğu tespit edilmiştir.
- ❖ Konvansiyonel sistem ile yalıtımlı sistem kat ivmeleri kıyaslandığında, yalıtımlı sistemdeki kat ivmelerinin beklenildiği üzere daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür.
- ❖ Görelî kat ötelemelerine bakılacak olursa, deprem yalıtımlı sistemde görelî kat ötelemelerinin daha düşük olduğu görülmektedir ve dolayısıyla izin verilen limitlerin altında kalmak bu durumda daha

kolay olmuştur. Ancak konvansiyonel sistemde görelî öteleme değeri daha yüksektir. İzin verilen 0.008 değeri altında kalınabilmesi için sistemde oldukça fazla miktarda ve uygun yerleşimde deprem perdelerinin kullanımı gerektiği açıktır.

- ❖ Sismik izolasyonlu modelde görelî kat ötemeleri ve kat ivmeleri daha düşük olduğundan, deprem etkisi bina tarafından daha az hissedilmekte, deprem izolasyon katı tarafından sönümlenmektedir. Konvansiyonel sistemde, binaya aktarılan ivmeler bina taşıyıcı sistemi tarafından taşınmak durumundadır ki bu durum eleman kesit tesirlerinin artışına sebep olmaktadır.
- ❖ Beton metrajı kıyaslamalarına göre beton sarfıyatı her iki sistem için birbirine oldukça yakındır. Yalıtımlı sistemlerde izolasyon katı uygulamasının gerekliliği olarak seçilen daha büyük kesitler, beton miktarında bir miktar artışa yol açmıştır.
- ❖ Kalıp metrajı kıyaslaması yapıldığında, her iki sistem için mertebelerin yine yakın olduğu görülmektedir ancak konvansiyonel sistemdeki kalıp ihtiyacı %7 mertebelerinde daha fazladır.
- ❖ Donatı metrajlarına göre izolasyonlu sistemde donatı sarfıyatı %17 civarlarında daha fazla olmuştur. Bu durumun oluşmasında, bodrum ve zemin katlarda daha büyük kesitler kullanılması etkilidir.
- ❖ İzolasyon sistemi için kullanılacak izolatör türü ve yerleşiminin seçimi maliyet açısından oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında kullanılan izolatörler, konvansiyonel sistemdeki donatı metrajının yaklaşık olarak %30'u kadar bir ilave maliyet oluşturmuştur.
- ❖ Maliyet açısından konvansiyonel sistem ve yalıtımlı sistemler beton, donatı, kalıp ve izolatör elemanlarının toplam maliyeti üzerinden kıyaslanırsa izolasyon uygulanan sistemin, konvansiyonel sisteme göre %20 oranında daha maliyetli olduğu sonucuna varılmıştır.
- ❖ Sonuç olarak %20 mertebelerindeki bir maliyet artışına yol açsa da, izolasyon uygulaması yapılan hastane binasının olası tasarım depreminde hedeflenen sismik performansı sağlayacak şekilde tasarlanmasının yapısal davranış açısından oldukça olumlu katkılar sağladığı görülmüştür.

7 KAYNAKLAR

Al-Ameeri, A. (2017). *Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Çelik Binaların Deprem Analizi*. Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Alemdağ, E. (2016). *A New Method To Increase Effectiveness of Base Isolation On Torsionally Unrestrained Structures*. Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Aras, M., Çalışkan, Ö., ve Kaya, T. (2017). Yapı Davranışına Sismik İzolatörlerin Etkisinin Araştırılması Conference: *INTERNATIONAL ACADEMIC RESEARCH CONGRESS INES*, Ekim.

Asher, JW., Young, RP. Ve Ewing, RD. (2001). Seismic Isolation Design of the Arrowhead Regional Medical Center. *Structural Design of Tall Buildings*, 10(5): 321-334.

Ateş, Ş. ve Dumanoglu, A. A. (2003). Kauçuk Mesnetli Binaların Dinamik Analizi. *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 26-30 Mayıs, İstanbul.

Ayhan, O. (2006). *Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesinde Klasik Yöntem ile Sürtünmeli Sarkaç Sistemlerin Karşılaştırılması*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Bakkaloğlu, E. (2018). *Hastane Binalarında Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanım Kararının Bina Üretim Sürecine Etkileri*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Baş, A. S. (2024). *Betonarme Yapılarda Sismik İzolatör Kullanımı ve Sismik İzolatör Tiplerinin İncelenmesi*. Sakarya: Sakarya Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Başaran, E. ve Bal, İ. E. (2017). Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Yapılarda Yakın Fay Etkisinin İncelenmesi. *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-13 Ekim, Eskişehir.

Baştuğ, B. (2004). *Yapı Sistemlerinde Depreme Karşı Sismik İzolatör Kullanılması*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Bayülke, N., (1993). Yapı Temellerinin Deprem Titreşimlerinden Lastik Takozlarla Yalıtımı. *Deprem Araştırma Bülteni*, Sayı: 71.

Castaldo, P., Palazzo, B. ve Vecchia, P.D. (2015). Seismic reliability of base-isolated structures with friction pendulum bearings. *Dept. of Civil Engineering University of Salerno via Giovanni Paolo II*, 80-93.

Cimilli, S. (2001). *Elastomerik Pedler İle Sismik İzolasyon*. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Çağlar M. C. (2002). *Taban İzolasyonlu Sistemler*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Demir, S. (2008). *Sismik İzolasyon Sistemleriyle Yapıların Tasarımı ve Mevcut Bir Yapıya Uygulanması*. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Dinçer, E. (2013). *Temel İzolasyonlu Yapıların Dinamik Analizi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Eniş, A. (2024). *Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolatör Kullanımı ve Kullanıcı Tercihine Etkisi*. İstanbul: Haliç Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Ercan, E. ve Nuhoglu, A. (2005). Taban İzolatörlü ve Pasif Enerji Sönümleyicili Yapıların Dinamik Davranışı. *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 109-132.

Erdik, M. (2007). Binalarda deprem yalıtımı ve ülkemizdeki uygulamalar. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 1-26.

Erişgen, G. (2010). *Deprem Geliş Açısının Sismik İzolasyonlu Binalara Etkisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

ETABS V20.3. Structural Analysis Program. *Computers and Structures, Inc.*, Amerika Birleşik Devletleri.

Güner, G. (2012). *Bir Hastane Yapısının Klasik Yöntemle ve Sismik İzolatör Kullanılarak Tasarımının Dinamik Yönden Karşılaştırılmasının Yapılması*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Güzey, Ş. (2002). *Kauçuk Tabanlı Sismik İzolatörlerin Elastik Davranışlarının Sayısal Olarak İncelenmesi*. Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Hong, W.K. ve Kim, H.C. (2004). Performance of a Multi-Story Structure with a Resilient-Friction Base Isolation System. *Elsevier-Computer and Structures*, 82: 2271-228.

Hoşbaş, A. (2006). *Çok Katlı Betonarme Yapının Sismik İzolatörlerle Modellenmesi ve Yapının Perdelerle Modellenmesi ve Yapının Perdelerle Güçlendirilmiş Durumu ile Karşılaştırılması*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Jangid, R.S. (2007). Optimum Lead-Rubber Isolation Bearings for Near-Fault Motions. *Engineering Structures*, 29(10): 2503-2513.

Karabörk, T., Deneme İ.Ö. ve Bilgehan R.P. (2010). *Temeli İzole Edilen Yapılarda Dinamik Yapı-Zemin Etkileşimi*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(1): 77-87.

Karakurt, P. (2015). *Sismik İzolatörlü Binalarda Kat Adeti Etkisi*. Niğde: Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Kelly, J.M., 1998. Seismic Isolation of Civil Building in the USA. *Construction Research Communication Limited, San Francisco*, 1(3): 279-285.

Koh, C. H., ve Balendra, T. (1989). Seismic Responce of Base Isolated Buildings Including P Δ Effects of Isolation Bearings. *Eartquake Engineering and Structural Dynamics*, 18,4, 461-473.

Kök, S. (2014). *Depreme Dayanımı için Sismik İzolasyon Sistemleri Kullanımı ve Türkiye'deki Uygulamalarının Analizi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Kurt, Z. (2019) *Ankastre ve sürtünme sarkaç mesnetli binaların dinamik davranışlarının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre belirlenmesi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Kurtuluş, H. (2012). *Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörlerin Rijitleşme Özelliğinin Sismik İzolasyonlu Binaların Deprem Davranışına Etkisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Lee, P.L., Mazeika, A., Hartman, C., Whittaker, A. ve Constantinou, M.C. (2001). Seismic Isolation of an Internet Service Exchange Facility: Abovenet ISX-SF1. *Structural Engineers Association of California 70 Annual Convention Proceedings*, California, 67-86.

Lomiento, G. (2011) Testing protocols for seismic isolation systems. *Conference: 14th Conference of Seismic Engineering ANIDIS*, July.

Mostaghel, N. (1983). Sismik İzolasyon Sistemleriyle Yapıların Tasarımı ve Mevcut Bir Yapıya Uygulanması, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 11, No. 6, pp. 729-748, 1983.

Murat, E. (2007). *Binaların Tabanlarına Elastomer Mesnetler Yerleştirilerek Sismik Yalıtım Uygulanması*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Nasery, M. M., Ergün, M., Ateş, Ş. Ve Husem, M. (2015). Süneklilik Düzeyi Yüksek Bir Binanın Dinamik Davranışına Deprem İzolatörlerinin Etkisinin Araştırılması. *Conference: Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, Mayıs.

Öncü, S. (2011). *Puls Periyotlarının Sismik İzolasyonlu Binaların Performansına Etkisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Özpalanlar, C.G. (2004). *Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Öztürk, B.K. (2007). *Yapısal Kontrol Sistemlerinin Değerlendirilmesi ve Taban İzolatörlerinin Betonarme Bir Binaya Uygulanması*. Konya: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Öztürk, Ş. (2023). *TBDY 2018'e Göre Betonarme Yapıların Farklı Tip Sismik İzolatör Birimleri Kullanılarak Modellenmesi ve Analizi*. Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Pekgökgöz, R.K., Gürel M.A., Kömür, M. ve Çılı, F. (2007). Sismik Taban Yalıtım Sistemi Uygulanmış Bir Binada Maliyet Analizi. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 25(3).

Pınarbaşı, S. ve Akyüz, U. (2005). Sismik izolasyon ve elastomerik yastık deneyleri. *İmo Teknik Dergi*, 237, 3581-3598.

Ryan, K. L. ve Chopra, A. K. (2004) Estimation of seismic demands on isolators in asymmetric buildings using non-linear analysis. *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, (33): 395-418.

Saifullah, M. (2015). *Sismik İzolasyonlu Binalar İçin Yakın Fay Katsayılarının Gerekliliği ve Yeterliliği*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

SAP 2000, (2000). Structural Analysis Program. *Computers and Structures, Inc., Amerika Birleşik Devletleri*.

Sevim, E. (2016). *Sismik İzolatörlerin Bina Türü Yapıların Dinamik Davranışına Etkisi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Shrimali, M.K., Bharti, S.D. ve Dumne, S.M. (2014). Seismic Response Analysis of Coupled Building Involving MR Damper and Elastomeric Base Isolation. *Ain Shams Engineering Journal*, 2(6): 457-470.

Soyluk, A. ve Tuna, M.E. (2011). *Düzensiz Binalarda Sismik Taban İzolatörü Uygulamasının Mimari Tasarıma Etkisi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 3 (26): 635-642.

Spyrakos, C.C., Maniatakis, C.A. ve Koutromanos, I.A. (2009). Soil-Structure Interaction Effects on Base Isolated Buildings Founded on Soil Stratum. *Elsevier-Engineering Structures*, 31: 729-737.

Sta4CAD. Structural Analysis for Computer Aided Design. *Sta Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik, İstanbul, Türkiye*.

Şahin, M. (2020). *Kauçuk İzolatörlü Bir Yapının Soğuk Hava Koşulları Etkisi Altındaki Modal Davranışının Operasyonel Modal Analiz Yöntemi ile İncelenmesi*. Erzurum: Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Şirin, S. ve Boduroğlu, H. (2010). *Sürtünme sönümlü elemanlı betonarme sistemlerin sismik performansı*. İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Dergisi, İstanbul, 9(6), 169-177.

TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, AFAD, İçişleri Bakanlığı, 2018, Ankara, Türkiye.

Tokuç, M. (2008). *Mevcut Betonarme Bir Okul Binasının Performansının Değerlendirilmesi ve Sismik İzolasyon Kullanılarak Güçlendirilmesi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. "

Tokuç, M. (2008). *Mevcut Betonarme Bir Okul Binasının Performansının Değerlendirilmesi ve Sismik İzolasyon Kullanılarak Güçlendirilmesi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Tolay, A. (2006). *Sismik İzolasyon Sistemlerinin Maliyet Analizi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Toprak, T. (2012). *Burulma Düzensizliği Olan Yapılarda Sismik İzolasyon Kullanımının Deprem Yükleri Altındaki Davranışa Olan Etkisi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Tsai, C.S., Chen, W.S., Chen, B.J. ve Pong, W.S. (2006). Vertical Distributions of Lateral Forces on Base Isolated Structures Considering Higher Mode Effects. *Structural Engineering and Mechanics*, 23(5): 543-56.

Türk, H. A. (2019). *Çok katlı betonarme yapılarda farklı sismik izolatör sistemlerin ve kat adetinin deprem davranışına etkisi*. Konya: Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Türker, H. (2003). *Taban İzolasyonu ile Klasik Güçlendirme Arasında Bir Maliyet Karşılaştırılması*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Türker, H. (2005). Sismik İzolasyon Sistemlerinin Kullanılış Tipleri Örnek Bir Maliyet Analizi. *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 65-87.

UBC 97, (1997). Uniform Building Code 97. *International Code Council, I. Baskı, Amerika Birleşik Devletleri*.

Urgu, M. İ. (2006). *Sismik izolasyonlu yapıların tasarımı*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

URL-1. <https://arfen.com.tr/Uploads/1024x768/34be3607-3543-4bef-8265-a3f1bc46932c.png>

Uyar, M. (2005). *Yapılarda Temel İzolatörlerinin Kullanılışı*. Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Wu, YM. ve Samali, B. (2002). Shake Table Testing of a Base Isolated Model. *Engineering Structures*, 24(9): 203-215.

Yavuz, E. (2008). *Sismik İzolasyon Tekniği ve Kullanılışına İlişkin Örnek Uygulama*. Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Yıldız, M. B. (2020). *Sismik İzolatörlerin Farklı Konumlarının Binaların Dinamik Davranışlarına Etkisi*. Bayburt: Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Yiğit, S. (2019). *Mevcut Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Sismik İzolasyon Kullanılması*. Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Yurdakul, M. (2011). *Üç Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Yapıların Dinamik Davranışına Zemin Eğilebilirliğinin Etkisi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Yücesoy, A. (2005). *Sismik İzolatörler ile Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*. Hatay: Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Zulfakar, M. (2021). *Farklı Sürtünme Yüzeyli Sarkaç İzolatörlerin Yapı Deprem Davranışı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

8 ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kübra KARAASLAN

ORCID Numarası : 0009-0004-1120-8488

Öğrenim Durumu

2010 - 2015 Lisans: İstanbul Aydın Üniversitesi– İnşaat Mühendisliği

2023 - 2025 Yüksek Lisans: İstanbul Arel Üniversitesi – İnşaat Mühendisliği

Yayın Listesi:

Ulusal/Uluslararası Bildiri Listesi:

KARAASLAN K., ÖZTÜRK M., Konutlarda Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin Kullanımının Araştırılması. 9. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi (MAYIS'2025), İstanbul, Turkey, Mayıs 30/31, 2025.