

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ORTA KATLI BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSINA  
SİSMİK İZOLATÖRLERİN ETKİSİ**

**Uğur DELİKKAYA**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇANKIRI  
2025**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Uğur DELİKKAYA tarafından hazırlanan “Orta Katlı Betonarme Yapıların Deprem Performansına Sismik İzolatörlerin Etkisi” adlı tez çalışması 17/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Dr. Öğr. Üyesi Pembe Merve KARABULUT

### Jüri Üyeleri :

**Başkan** : Dr. Öğr. Üyesi Pembe Merve KARABULUT  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Çankırı Karatekin Üniversitesi

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ERGÜN  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Bayburt Üniversitesi

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Salih YILMAZ  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Çankırı Karatekin Üniversitesi

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ersoy YILMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum **“Orta Katlı Betonarme Yapıların Deprem Performansına Sismik İzolatörlerin Etkisi”** konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (17/06/2025).

**Uğur DELİKKAYA**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ORTA KATLI BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSINA SİSMİK İZOLATÖRLERİN ETKİSİ

Uğur DELİKKAYA

Çankırı Karatekin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Pembe Merve KARABULUT

Türkiye Dünya'nın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Artan şehirleşmeyle birlikte nüfusun büyük çoğunluğu aktif deprem faylarının üzerinde kurulmuş olan şehirlerde yaşamaktadır. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan merkezli 7.8 ve 7.5 büyüklüğündeki depremler, 10 ilimizde önemli can kayıplarına ve büyük hasarlara sebep olmuştur. Gerçekleşen depremlerin ardından yapılan hasar tespit çalışmalarında tünel kalıp sistemleri ile inşa edilmiş yapılarda meydana gelen hasarların diğer yapı sistemlerinde meydana gelen hasarlara göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu tür yüksek şiddetli depremlerde sismik izolatör kullanımının yapı güvenliği açısından taşıdığı önem de bir kez daha gözler önüne serilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında, tünel kalıp sistemi ile inşa edilen orta katlı betonarme yapıların deprem performansı ile karkas yapı sistemleri (kirişli döşemeli sistem ve asmolen döşemeli sistem) ile inşa edilen orta katlı betonarme yapıların deprem performansları izolatörlü ve izolatörsüz durumlara bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Yapıların sonlu elemanlar modelleri ve analizleri ideCAD yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Deprem analizleri, tasarım spektrumuna dayalı Mod Birleştirme Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Yerel zemin sınıfının, sonuçlar üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan beş farklı zemin sınıfına bağlı olarak analizler tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapıların deprem performansının betonarme karkas yapı sistemleri ile inşa edilen yapılara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Yapı maliyeti açısından değerlendirildiğinde ise kirişli döşemelerin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Sismik izolatörlerin kullanılması durumunda yapısal tepkilerin tüm zemin sınıfları için önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir. Sismik izolasyonlu yapıların hedeflenen performansı gösterebilmeleri için, maliyet-etkinlik analizi de göz önünde bulundurularak uzman yapı mühendisleri tarafından tasarlanmaları gerekmektedir.

2025, 75 sayfa

**ANAHTAR KELİMELER:** Betonarme yapı, sismik izolatör, deprem.  
**ABSTRACT**

Master of Science Thesis

**THE EFFECT OF SEISMIC ISOLATORS ON THE EARTHQUAKE  
PERFORMANCE OF MID-RISE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**

Uğur DELİKKAYA

Çankırı Karatekin University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Advisor: Assist. Prof. Dr. Pembe Merve KARABULUT

Turkey is located on the Alpine-Himalayan earthquake zone, one of the most active earthquake zones in the world. With increasing urbanization, the majority of the population lives in cities built on active earthquake faults. The 7.8 and 7.5 magnitude earthquakes centered in Kahramanmaraş, Pazarcık and Elbistan on February 6, 2023 caused significant loss of life and major damage in 10 provinces. In the damage assessment studies conducted after the earthquakes, it was determined that the damage in structures built with tunnel formwork systems was less than the damage in other structural systems. In addition, the importance of using seismic isolators in terms of structural safety in such high-magnitude earthquakes was once again revealed. In this thesis study, the earthquake performance of mid-rise reinforced concrete structures built with tunnel formwork systems and mid-rise reinforced concrete structures built with carcass construction systems (beam floor system and hollow block floor system) were compared depending on the conditions with and without isolators. Finite element models and analyses of the structures were performed with ideCAD software. Earthquake analyses were performed with the Mode Combination Method based on the design spectrum. In order to see the effect of the local soil class on the results, analyses were repeated depending on the five different soil classes included in the Turkish Building Earthquake Code. When the obtained results were examined, it was determined that the earthquake performance of the structures constructed with the tunnel formwork system was better than the structures constructed with reinforced concrete frame construction systems. When evaluated in terms of construction cost, it was seen that beamed floors were more advantageous. It was determined that structural responses were significantly reduced for all soil classes in the case of the use of seismic isolators. In order for seismic isolated structures to show the targeted performance, they should be designed by expert structural engineers, also considering the cost-effectiveness analysis.

**2025, 75 pages**

**Keywords:** Seismic isolator, reinforced concrete, earthquake



## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, tüm aşamalarda yardımını esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Pembe Merve KARABULUT'a sabrı, rehberliği ve anlayışı için teşekkür ederim.

Her zaman ve her konuda yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili eşim Elanur'a tez çalışmalarım sırasında bana verdiği destek ve sabrı için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Uğur DELİKKAYA**  
**Çankırı, Haziran 2025**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
3. GENEL BİLGİLER .....	10
3.1 İskelet Sistemleri.....	10
3.1.1 Tünel kalıp sistemleri.....	10
3.1.1.1 Tünel kalıp sistemleri çeşitleri .....	13
3.1.1.2 Tünel kalıp sistemlerinin uygulanması .....	13
3.1.1.3 Tünel kalıp sistemlerinin yapısal ve statik özellikleri.....	13
3.1.1.4 Tünel kalıp sistemlerinin avantajları .....	13
3.1.1.5 Tünel kalıp sistemlerinin dezavantajları .....	13
3.1.2 Kirişli döşeme sistemleri .....	15
3.1.3 Dişli döşeme sistemleri .....	18
3.1.3.1 Asmolen döşeme sistemleri.....	18
3.1.3.2 Nervürlü döşeme sistemleri.....	20
3.1.3.3 Kirişsiz döşeme .....	20
3.2 Sismik İzolatörler .....	21
3.2.1 Sismik izolatörlerin tarihçesi .....	23
3.2.2 Sismik izolatör çeşitleri .....	24
3.2.2.1 Düşük sönümlü doğal ve yapay kauçuklu izolatörler .....	13
3.2.2.2 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler .....	13
3.2.2.3 Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler.....	13
3.2.2.4 Çelik bilya katmanlı ve çelik levha neopren izolatörler .....	13

3.2.2.5 Sürtünmeli sarkaç sistemi .....	13
3.2.2.6 Esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi .....	13
3.2.2.7 Gerb sistemi .....	13
3.3 Yalıtım Sistemlerinin Mekanik Özellikleri.....	31
3.3.1 Kauçuk yalıtım sistemlerinin mekanik özellikleri .....	31
3.3.2 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım sistemlerinin mekanik özellikleri.....	33
3.4 TBDY 2018’de Sismik İzolasyon .....	33
3.4.1 Sismik izolasyonun tasarım ilkeleri .....	33
3.4.2 Sismik izolasyon kullanılan yapılarda performans hedefleri .....	34
3.5 Sismik İzolatör Maliyet ve Bakım Değerlendirilmesi.....	37
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	39
5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	47
5.1 Periyot Değerlerinin Karşılaştırılması.....	47
5.2 Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması.....	55
5.3 Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması .....	68
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	73
KAYNAKLAR .....	75

Hata!

Yer

işareti

tanımlanmamış.

## SİMGELER DİZİNİ

A	Kauçuğun kesit alanı
Cm	Santimetre
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
$E_c$	Düşey yük altındaki anlık basınç modülü
$E_c'$	Sıkıştırılmayan durumdaki basınç modülü
$F_1$	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
$F_S$	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etkisi katsayısı
$F_Q$	Karakteristik dayanım
G	Kauçuğun kayma modülü
Hz	Hertz
K	Kullanılan malzemenin hacim modülü
$K_1$	Kauçuk yalıtım sistemlerinin elastik rijitliği
$K_2$	Kauçuk yalıtım sistemlerinin akma sonrası rijitliği
$K_h$	Yatay rijitlik
$K_v$	Düşey rijitlik
Q	Hareketli yük
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a$	Deprem yükü azaltma katsayısı
S	Bıçım faktörü
S	Saniye
$t_r$	Kauçuğun toplam kalınlığı
W	Yalıtım birimi üzerine etkiyen yük
$\varepsilon_c$	Birim basınç şekil değiştirme
$\gamma$	Kauçuğun kayma şekil değiştirmesi
$\gamma_c$	Kayma şekil değiştirme
$\Delta$	Düşey yer değiştirme

## KISALTMALAR DİZİNİ

BKS	Bina kullanım sınıfı
DD-1	En büyük deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	Tasarım deprem yer hareketi düzeyi
DGT	Dayanıma göre tasarım
DTS	Deprem tasarım sınıfı
HDRB	Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler
KH	Kontrollü hasar performans düzeyi
KK	Kesintisiz kullanım performans düzeyi
LRB	Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler
MRPRA	Malezya kauçuk üreticileri birliği
SH	Sınırlı hasar performans düzeyi
ŞGDT	Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım
TBDY	Türkiye bina deprem yönetmeliği
TDY	Türkiye deprem yönetmeliği
TOKİ	Toplu konut idaresi başkanlığı
TGUA	Tasarım gözetmeni uygulama alanı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 6 Şubat depreminde yıkılan karkas yapı sistemi ve yıkılmayan tünel kalıp sistemi ile yapılmış yapılar .....	3
Şekil 3.1 Tünel kalıp perde donatısının imalatı .....	12
Şekil 3.2 Tünel kalıp döşeme donatısının imalatı .....	13
Şekil 3.3 Bir doğrultuda ve iki doğrultuda çalışan kirişli döşemeler .....	17
Şekil 3.4 Kirişli döşeme .....	18
Şekil 3.5 Asmolen döşeme .....	19
Şekil 3.6 Asmolen ve nervürlü döşeme .....	20
Şekil 3.7 Sismik izolatör .....	22
Şekil 3.8 Düşük sönümlü kauçuk izolatör .....	25
Şekil 3.9 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör .....	26
Şekil 3.10 Yüksek sönümlü kauçuk izolatör (Güner,2012) .....	28
Şekil 3.11 Çelik bilya katmanlı izolatör .....	29
Şekil 3.12 Sürtünmeli sarkaç sistemi .....	30
Şekil 3.13 Esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi .....	31
Şekil 4.1 Tünel kalıp sistemi kalıp planı .....	40
Şekil 4.2 Tünel kalıp sistemi 3 boyut görünümü .....	40
Şekil 4.3 Kirişli döşeme sistemi kalıp planı .....	41
Şekil 4.4 Kirişli döşeme sistemi 3 boyut görünümü .....	41
Şekil 4.5 Asmolen döşeme kalıp planı .....	42
Şekil 4.6 Asmolen döşeme sistemi 3 boyut görünümü .....	42
Şekil 4.7 Kastamonu ili, Abana İlçesi, tez çalışmasına konu olan yapının konumu .....	43
Şekil 4.8 ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarına ait yatay elastik tasarım spektrumu .....	45
Şekil 4.9 ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarına ait düşey elastik tasarım spektrumu .....	45
Şekil 5.1 Tünel kalıp sistem sismik izolatörlü model 1. Mod şekli .....	50
Şekil 5.2 Tünel kalıp sistem sismik izolatörlü model 2. Mod şekli .....	51
Şekil 5.3 Tünel kalıp sistem sismik izolatörlü model 3. Mod şekli .....	51
Şekil 5.4 Asmolen döşeme sismik izolatörlü model 1. Mod şekli .....	52
Şekil 5.5 Asmolen döşeme sismik izolatörlü model 2. Mod şekli .....	52
Şekil 5.6 Asmolen döşeme sismik izolatörlü model 3. Mod şekli .....	53
Şekil 5.7 Kirişli döşeme sistemi sismik izolatörlü model 1. Mod şekli .....	53
Şekil 5.8 Kirişli döşeme sistemi sismik izolatörlü model 2. Mod şekli .....	54
Şekil 5.9 Kirişli döşeme sistemi sismik izolatörlü model 3. Mod şekli .....	54
Şekil 5.10 ZA zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri .....	55
Şekil 5.11 ZB zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri .....	56
Şekil 5.12 ZC zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri .....	56
Şekil 5.13 ZD zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri .....	57
Şekil 5.14 ZE zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri .....	57

Şekil 5.15 ZA zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri.....	58
Şekil 5.16 ZB zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri .....	59
Şekil 5.17 ZC zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri .....	59
Şekil 5.18 ZD zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri.....	60
Şekil 5.19 ZE zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri .....	60
Şekil 5.20 ZC zemin sınıfında X ve Y yönünde görelî kat ötelemeleri .....	61
Şekil 5.21 İzolatörlü ve izolatörsüz tünel kalıp sisteminin 5 farklı zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri.....	62
Şekil 5.22 İzolatörlü ve izolatörsüz kırışli döşeme sistemi sisteminin 5 farklı zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri.....	62
Şekil 5.23 İzolatörlü ve izolatörsüz asmolen döşeme sisteminin 5 farklı zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri.....	63
Şekil 5.24 İzolatörlü ve izolatörsüz tünel kalıp sisteminin 5 farklı zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri.....	63
Şekil 5.25 İzolatörlü ve izolatörsüz kırışli döşeme sisteminin 5 farklı zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri.....	64
Şekil 5.26 İzolatörlü ve izolatörsüz asmolen döşeme sisteminin 5 farklı zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri.....	64

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Geometrik özelliklere göre sıkıştırılmayan durumdaki basınç modülü değerleri .....	32
Çizelge 3.2 TBDY 2018 tablo 13.1 betonarme taşıyıcı sistem elemanları için II. aşamada uygulanacak etkin kesit rijitliği çarpanları.....	34
Çizelge 3.3 TBDY 2018 tablo 3.5 deprem tasarım sınıflarına göre deprem yalıtımlı binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları .....	34
Çizelge 3.4 TBDY 2018 tablo 14.1 deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları tablosu .....	34
Çizelge 3.5 İdecad yapı analiz programında tanımlanmış olan kauçuk mesnetlerin özellikleri .....	35
Çizelge 4.1 TBDY 2018 tablo 2.1 kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları .....	48
Çizelge 4.2 TBDY 2018 tablo 2.2 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları..	48
Çizelge 4.3 Zemin sınıfına göre deprem parametre verileri .....	48
Çizelge 5.1 Tünel kalıp sistem modal analiz sonuçları.....	48
Çizelge 5.2 Kirişli döşeme sistemi modal analiz sonuçları.....	48
Çizelge 5.3 Asmolen döşeme modal analiz sonuçları.....	48
Çizelge 5.4 Farklı izolatör türlerinde kat ötelemelerinin karşılaştırılması.....	66
Çizelge 5.5 Farklı zemin sınıflarında taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırmaları.....	70
Çizelge 5.6 Farklı izolatör türlerinde taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırmaları .....	71

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz Dünya'da bulunan en aktif deprem kuşaklarından Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almaktadır. Artan nüfusa bağlı olarak gelişen şehirleşmeyle birlikte aktif fay hatlarının bulunduğu konumlarda şehirler kurulmuştur.

Yapılar taşıyıcı sistemlerine göre kâgir (yığma) yapılar, prefabrik yapılar ve iskelet (karkas) yapılar olarak 3 ayrı şekilde sınıflandırılmaktadır.

Kâgir (yığma) yapılar, doğal veya yapay malzemelerin harç kullanılarak veya kullanmadan örülmesi ile inşa edilen yapılardır.

Prefabrik yapılar, amacına göre genişlik ve uzunlukları değişken olan, istenilen araziye konulmak üzere inşa edilen yapılardır.

İskelet (karkas) yapılar, döşeme, kiriş ve kolon gibi taşıyıcı elemanlar kullanılarak inşa edilen yapılardır. Bu tür yapılarda döşemeler veya çatı üzerlerine gelen yükleri yatay taşıyıcı eleman olan kirişlere aktarır. Kirişler ise döşemeler veya çatıdan gelen yükleri kolonlara aktarır. Kolonlar da bu yükleri temele iletirler. İskelet (karkas) yapılar üç alt gruba ayrılmaktadır:

- Ahşap İskelet Yapılar: Taşıyıcı elemanların ahşap yapı elemanlarından oluştuğu yapı türüdür.
- Betonarme İskelet Yapılar: Taşıyıcı elemanların betonarme yapı elemanlarından oluştuğu yapı türüdür.
- Çelik İskelet Yapılar: Taşıyıcı elemanların çelik yapı elemanlarından oluştuğu yapı türüdür.

Ülkemizde inşa edilen yapılar yaygın olarak betonarme karkas yapı olarak inşa edilmektedir. Betonarme karkas yapı şeklinde inşa edilen yapılarda genellikle bodrum

perdeleri, asansör perdeleri, merdiven perdeleri haricinde düşey taşıyıcı eleman olarak kolonlardan yararlanır. Kolonların yönetmelik esaslarına ve ön mühendislik tasarımına uygun bir şekilde ve yönlerinin ve konumlarının belirlenmesi sonrasında statik projeler tasarlanmaktadır. Ancak ülkemizin depremselliği göz önüne alındığında mevcut yapılarda düşey taşıyıcı eleman olarak perde kullanımının az olduğu görülmektedir. Fay hatlarının bulunduğu ülkemizde yeni inşa edilen yapılarda ve yenilenen kentsel dönüşüm projelerinde düşey taşıyıcı olarak perde kullanımı oldukça önemlidir.

Son zamanlarda tünel kalıp sistemlerinin de oldukça fazla kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Özellikle afet bölgelerinde TOKİ (Toplu Konut İdaresi Başkanlığı)'nin inşa ettiği yapılarda tünel kalıp sistemleri kullanılmaktadır. Tünel kalıp sistemleri ile inşa edilen yapıların düşey taşıyıcı elemanları çoğunlukla perdelerden oluşmaktadır.

Yaşanan depremlerin ardından mevcut yapıların hasar durumlarının tespiti ve değerlendirilmesi amacıyla hasar tespit çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonrası hasar gören yapıların hasar derecesine göre kullanılabilir durumda olup olmadığı tespit edilmekte; aynı zamanda farklı taşıyıcı sistemlerin deprem karşısındaki performansları da birbirleriyle kıyaslanabilmektedir.

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan merkezli gerçekleşen büyüklükleri 7.8 ve 7.5 olan depremlerde 10 ilimiz ciddi bir şekilde etkilenmiş olup mevcut yapı stoklarında büyük hasar oluşmuştur. Bu depremlerin ardından gerçekleştirilen hasar tespit çalışmalarında tünel kalıp sistemleri ile inşa edilen yapılardaki hasarın diğer yapı tarzlarında inşa edilen yapılara göre çok daha az olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1.1).



**Şekil 1.1** 6 Şubat depreminde yıkılan karkas yapı sistemi ve yıkılmayan tünel kalıp sistemi ile yapılmış yapılar

Depreme dayanıklı yapıların tasarımında; statik tasarımın öneminin yanı sıra, gelişen teknolojiyle hayatımıza giren bazı yeni yöntemler de kullanılmaktadır.

Son yıllarda ülkemizde inşa edilmekte olan birçok kamu binasında ve yüksek katlı yapılarda sismik izolatör kullanımı yaygınlaşmıştır. Sismik izolatörler sayesinde yapıların deprem karşısındaki performansları oldukça artmakta aynı zamanda depremin yapı içinde hissedilme miktarı azalmaktadır. Sismik izolatörler yapının temeli ile kendisi arasında bir izolasyon görevi görerek yapının kendisini depremden minimum şekilde etkilenmesini sağlar. Yapının taşıyıcı elemanlarının maliyetine oranla, sismik izolatörlerin maliyeti oldukça fazla olmasına karşın yapı güvenliği her zaman önemli olan hastane, okul gibi kamu binalarında olabildiğince kullanılmaktadır.

Ülkemiz fay hatlarını içinde barındıran deprem riski yüksek olan bir ülkedir. Bu nedenle, yapı inşası mutlaka denetimli ve yönetmeliğe uygun şekilde yapılmalıdır. Statik proje çalışmalarından önce mutlaka gerekli zemin etütleri ve geoteknik analizler yapılmalıdır. Temel türü mevcut zemin türüne uygun olarak belirlenmelidir. Ardından

tüm yapı taşıyıcı sistemleri geoteknik rapora ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 yönetmelik maddelerine uygun olarak tasarlanmalıdır. Uygulama esnasında da gerekli kontroller yapılarak her adımda statik projeye ve mevcut yönetmeliklere uygun şekilde imalat yapılmasına özen gösterilmelidir.

Aynı zamanda böylesine şiddetli depremde sismik izolatörün de önemi bir kez daha anlaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında; Kastamonu ili, Abana İlçesi TOKİ inşaatı kapsamında öncesinde tünel kalıp olarak modellenmiş ve inşa edilmiş 4 katlı konut yapısı, kirişli döşeme sistemi ve asmolen döşeme sistemi olarak da modellenecek, farklı zemin koşulları ve sismik izolatör etkisi altında analizleri yapılarak farklı taşıyıcı sisteme sahip orta katlı yapıların deprem karşısındaki davranışının incelenmesi ve birbirleri ile maliyet ve uygulanabilirlik analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Belirli parametrelerin değiştirildiği modellerde yapılan analizler sonucunda elde edilen kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri, modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu tez çalışmasında Kastamonu ili, Abana ilçesinde tünel kalıp sistemi ile inşa edilmiş olan bir yapı kirişli sistem ve asmolen döşemeli sistem olarak modellenerek, sismik izolatörlü ve izolatörsüz olarak analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları karşılaştırılarak yapıların taşıyıcı sistem türlerinin farklılıklarının ve yapıya izolatör etkisinin sonuçları incelenmiştir. Analizler yapılırken ideCAD programı kullanılmıştır. ideCAD programı modal analiz yöntemiyle çizilen projeyi analiz ederek yönetmeliğe uygun şekilde statik proje oluşturmaktadır. Bu konu hakkında literatürde mevcut olan ve benzerli gösteren çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Baştuğ (2004) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında taban izolasyonu uygulanmış yapılarda mesnetlerin kayma doğrultularındaki histeretik hareket sebebiyle artan sönüm ve mesnetlerdeki yer değiştirme sebebiyle taban kesme kuvvetinde önemli ölçüde azalma meydana geldiği görülmüştür (Baştuğ 2004).

Braga ve Laterza (2004) yapmış oldukları çalışmada Güney İtalya'daki bir konut binasında iki farklı izolatör türü kullanılarak alçak katlı yapılarda taban izolasyonunun sismik davranışını incelemişlerdir. Her iki izolatör türünün de yapıya deprem kuvvetine karşı oldukça olumlu etkilediği, yapıların alçak katlı olması sebebiyle benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Braga and Laterza 2004).

Yücesoy (2005) yapmış olduğu yüksek lisans tezinde, sismik izolatör kullanılarak inşa edilen yapıların deprem etkilerinin azaltılması yönünde sisteme olumlu katkı sağladığı kanısına varılmıştır (Yücesoy 2005).

Jangid (2007) çalışmasında çok katlı bir yapıda kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanarak yapının kesme kuvveti, deformasyonu, izolatörün deprem kuvvetini sönümlemesi gibi performanslarını incelemiştir. Uygun izolatör kullanılması durumunda izolatörün yapının yer değiştirmesini önemli ölçüde azalttığı, yapıya deprem kuvveti karşısında oldukça olumlu etkisi olduğu görülmüştür (Jangid 2007).

Matsagar ve Jangid (2008) yaptıkları çalışmada sismik izolatör kullanılarak güçlendirilen yapıların analitik tepkileri incelenmiş ve güçlendirilmiş sistemlerin tepkisi güçlendirme olmayan sistemlerin tepkisiyle kıyaslanmıştır. Üst yapılarda sismik kuvveti azaltırken altyapılar ve temeller arasında güçlendirme tasarımlarının ekonomisini ve etkinliğini arttırdığı, güçlendirilen yapıların sismik tepkisinin azaldığı sonucuna varılmıştır (Matsagar and Jangid 2008).

Sarıçay (2009) yaptığı yüksek lisans tezi çalışmasında tünel kalıp sisteminin avantajlarını, üretim sürecini, taşıyıcı sistem bileşenlerini, TDY’de perdeli yapılar için verilen kuralları araştırmıştır. Tünel kalıp sistemi kullanılan yapılarda yüksek katlı binaların yapılmasının daha avantajlı olduğu ve binalarda iki yönlü rijitliği sağlayabilmek ve düzensizlik olmamasının daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür (Sarıçay 2009).

Güner (2012), “Bir Hastane Yapısının Klasik Yöntemle ve Sismik İzolatör Kullanılarak Tasarımının Dinamik Yönden Karşılaştırılmasının Yapılması” isimli yüksek lisans tez çalışmasında, 8 katlı bir hastane yapısını ETABS programını kullanarak izolatörsüz ve kurşun çekirdekli kauçuklu izolatörlü olarak modelleyerek karşılaştırmıştır. İzolatörlü modelde yapı periyodunda ciddi oranda büyüme olduğu, deprem taban kesme kuvvetinde azalma olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda sismik izolatörlü modelde katların rölatif ivmelerinde azalma görülmüştür (Güner 2012).

Sevim (2016), “Sismik İzolatörlerin Bina Türü Yapıların Dinamik Davranışına Etkisi” adlı yüksek lisans tezinde perdeli-çerçeve, çerçeve ankastre hastane modeli ile çerçeve sismik izolatörlü hastane modeli kullanılmıştır. Bu üç model karşılaştırıldığında izolatörlü modelin periyodunun diğer modellerden yüksek olduğu görülmüştür. Yapının periyodunun yeteri kadar artmasıyla zeminde yapıya aktarılan deprem etkisi azaldığı göz önünde bulundurulduğunda izolatörün faydası bir kez daha anlaşılmıştır (Sevim 2016).

Türk (2019), “Çok Katlı Betonarme Yapılarda Farklı Sismik İzolatörler Sistemlerin Ve Kat Adetinin Deprem Davranışına Etkisi” adlı yüksek lisans tez çalışmasında 6, 12 ve

18 katlı olarak oluşturulan 9 ayrı model 1999 Kocaeli deprem ivme kayıtları kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarının karşılaştırılmasıyla doğru tasarlanmış sismik izolasyonlu yapıların deprem karşısında etkin bir performans gösterdiği sonucuna varılmıştır (Türk 2019).

Yıldız (2020) yüksek lisans tezinde sismik izolatörlü yapıyı tasarlarken izolatörün konumunun performansına etkisini incelemiştir. Çok katlı binalarda izolatörlerin kolon üst seviyesine yerleştirilmesinin daha ekonomik olacağı, kolon alt ucuna yerleştirilen izolatörlerin binada mimari zorluklara sebep olacağı, izolatörlü binalarda izolatörsüz binalara göre periyotların yaklaşık 3 kat fazla olduğu sonuçlarına varılmıştır (Yıldız 2020).

Çatlıoğlu (2021) yüksek lisans tezinde izolatör kullanılmadan inşa edilen bir bina ile sismik izolatör kullanılarak inşa edilen bir binayı deprem performansı ve maliyeti açısından karşılaştırmıştır. İzolatörsüz bina ile izolatörlü bina karşılaştırıldığında izolatörlü binada katlar arası ötelemenin daha az olduğu görülmüştür. Sismik izolasyonun proje maliyetini yaklaşık olarak %29,12 artırırken en üst katın görelî yer değiştirmesini ise %69 oranında azalttığı görülmüştür (Çatlıoğlu 2021).

Çonay (2021), hazırlamış olduğu tez çalışmasında sismik izolatörlerin yapını kendisi ile temeli arasında bir deprem yalıtımı yaptığını belirtmiştir. Sismik izolatörlerin yapılarının incelendiği bu tez çalışmasında yapıların inşasında sismik izolatör türü seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında açıklamalar bulunmaktadır. Sönüm oranı normal katlarda %5 iken izolatörlü yapılarda %20'ye çıkararak izolatörün depremin yıkıcı etkisini oldukça azalttığı, izolatörlü yapılarda perde ihtiyacının oldukça azaldığı veya tamamen ortadan kalktığı görülmüştür (Çonay 2021).

Demirel ve çalışma arkadaşları (2022) yaptıkları çalışmada 2020 yılında Samos'da gerçekleşen depremin verilerinden yararlanarak İzmir Bayraklı'daki orta yüksekliğe sahip bir binaların modellenerek deprem performanslarını incelemiştir. 20 yaş üzerindeki orta yükseklikteki binaların ağır hasarlar aldığı hatta bazı binaların yumuşak/zayıf kat sebebiyle çöktüğü, binalarda çıkmalardan kaynaklı meydana gelen

hasarların depremden sonra yapıyı kullanılamaz hale getirdiği görülmüştür (Demirel et al. 2022).

Dilek (2023) yapmış olduğu çalışmada 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre tünel kalıp sisteminin dayanım ve maliyet açısından incelemesi yapılmıştır. 2007 ve 2018 yönetmelikleri kıyaslandığında 2007 yönetmeliğine göre tasarlanan yapıda bazı parametrelerde daha güvensiz verilere ulaşılmıştır (Dilek 2023).

Dürüst (2023) yüksek lisans tez çalışmasında, tabanda izolatör kullanılan yapı ile ara katta izolatör kullanılan yapıyı karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmaya sonucunda zemin kotundan veya çeşitli sebeplerden dolayı tabanda izolatör kullanılamaması durumunda ara katlarda izolatör kullanarak tabanda kullanılan yapıya yakın deprem performansına katkıda bulunduğu sonucuna varmıştır (Dürüst 2023).

Öztürk (2023) yüksek lisans tezinde TBDY 2018'e göre tasarlanan bir yapıya kurşun çekirdekli izolatör ile eğrisel yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatörleri eklenerek modellerin analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre izolatör türlerinden kurşun çekirdekli izolatörün deprem karşısındaki performansının eğrisel yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatöre göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Öztürk 2023).

Baş (2024) tarafından yapılan çalışmada sismik izolasyon yönteminin deprem etkisini zeminde sönmüleyerek yapıya iletilmesini engellediği ve yapıdaki deprem etkilerinin azaltıldığı sonuçlarını elde etmiş, ayrıca tez kapsamında izolatörlerin özellikleri, uygulanması ve çeşitleri ile ilgili bilgiler verilmiştir (Baş 2024).

Eniş (2024) tez çalışmasında sismik izolatörlerin kamu binalarında ve yüksek katlı yapılarda sağlamış olduğu deprem güvenliği avantajlarını detaylı bir şekilde analiz ederek incelemiştir. İzolasyon maliyetine karşın deprem anında sağlamış olduğu can ve mal güvenliğinin oldukça fazla olmasının ve uzun süre yapı ile birlikte güvenliği sağlıyor olmasının maliyet faktörünün önüne geçtiği belirtilmiştir (Eniş 2024).

Jasim ve diğerkleri (2024) tarafından yapılan çalışmada yapıya gelen deprem kuvvetine karşı yapıda kullanılan farklı türlerdeki izolatör türlerinin performansını SAP-2000 programını kullanarak analiz edip sonuçlarını karşılaştırmışlardır. HDRB ve LRB türü izolasyon sistemlerinin deprem etkisini azaltmada eşit derecede etkili olduğu görülmüştür (Jasim et al. 2024).

Liu ve çalışma arkadaşları (2024) alışmalarında ETABS analiz programında sismik izolatörlü yapı tasarlanarak izolatörün binaların deprem dayanıklılığını arttırmadaki önemini veriler yardımıyla gözler önüne sermiştir. İzolatörün konumunun oldukça etkili olduğu, izolatörün temele veya ilk katta kolonların üstüne yerleştirilmesinin depremde en iyi performansı sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır. (Liu et al 2024).

Bu tez çalışmasında literatür kaynaklarından farklı olarak farklı izolatör türleri de aynı yapılar üzerinde karşılaştırılarak yapının performansına olan etkisi incelenmiştir.

### **3. GENEL BİLGİLER**

Yapıların taşıyıcı iskelet sistemleri ve sismik izolatörlerle ilgili genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### **3.1 İskelet Sistemleri**

İskelet sistemleri tünel kalıp sistemleri, kirişli döşeme sistemleri ve dişli döşeme sistemleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

##### **3.1.1 Tünel kalıp sistemleri**

Tünel kalıp sistemleri ilk olarak 2. Dünya savaşının ardından Fransa'da ortaya çıkan konut ihtiyacını hızlı ve düşük maliyetli bir şekilde karşılamak için ortaya çıkmıştır (Nasvik, 2003).

Tünel kalıp sistemleri ülkemizde genel olarak toplu konutlarda kullanılan bir sistemdir. Bu sistemlerde taşıyıcı eleman olarak çoğunlukla perdeler kullanılmaktadır. Perdeler TBDY 2018'e göre kesit uzunluğunun kalınlığına oranı en az 6 olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır.

Tünel kalıp sistemi betonarme yapılarda taşıyıcı duvar ve döşemenin tek seferde dökülmesine imkan veren tünel şeklindeki çelik kalıp sistemleridir. Sistemin avantajlı yönü az iş gücüne rağmen hızlı bir üretim yapılabilmesidir. Duvar ve döşeme betonunun tek seferde dökülmesi sayesinde soğuk derz oluşumunun önüne geçilerek monolitik bir şekilde yapı inşası yapılabilmektedir. Döşeme ile kritik duvar birleşim yerlerindeki bu monolitik özellik, yatay yüklere karşı yapının rijitliğini arttırmaktadır.

Tünel kalıp sistemiyle yapılan inşaatlarda üretim hızı geleneksel yapım teknolojilerine göre çok daha yüksektir. Kalıpların içine önceden kapı ve pencere kasaları, elektrik boruları ve buatları yerleştirildiği için diğer sistemlerde sonradan yapılan bu işler beton dökümüyle bitirilmiş olmaktadır (Blakeley, 1975).

Betonarme yapıların maliyeti, % 40 oranında kaba inşaat, kalan % 60 oranında ise ince inşaat kısmından oluşmaktadır. Belirtilen kaba inşaat maliyetinin % 25'i beton maliyeti, %25'i demir maliyeti, % 10'u kalıp maliyeti, % 40'ını işçilik maliyeti oluşturmaktadır. Kalıp giderleri yapılarda maliyetin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Günümüzde artan yapı maliyetlere karşılık, yapı inşa edilirken kalıp işçilik maliyetlerinin düşürülmesi ile büyük oranda tasarruf sağlanabilir.

Tünel kalıp imalatı sırasında kalıplar sırasıyla yerleştirilir. Donatı imalatı yapılan perdelerin diğer taraflarına da kalıplar yerleştirilir. En son döşeme donatı imalatı gerçekleştirilir. Gerekli kontrollerin ardından beton dökümüne başlanabilir.

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere iki sıra yerleştirilen kalıplar arasındaki perdelerde donatı imalatı yapılmaktadır. Perde donatı imalatının tamamlanmasından sonra gerekli kontrollerin ardından sırasıyla diğer kalıplar da yerleştirilecektir.



**Şekil 3.1** Tünel kalıp perde donatısının imalatı

Perde donatı imalatı sırasında özel deprem etriye ve çirozları kontrol edilmelidir. Özel deprem etriyelerinin her iki ucunda mutlaka 135 derece kıvrımlı kancalar bulunacaktır. Özel deprem çirozlarında ise bir uçta 90 derece kıvrımlı kanca yapılabilir. Bu durumda kolonun veya perdenin bir yüzünde, kanca kıvrımları 135 derece ve 90 derece olan çirozlar hem yatay hem de düşey doğrultuda şaşırtmalı olarak düzenlenecektir. Özel deprem etriyeleri boyuna donatıyı dıştan kavrayacak ve kancaları aynı boyuna donatı etrafında kapanacaktır. Özel deprem çirozlarının çapı ve aralığı, etriyelerin çap ve aralığı ile aynı olacaktır. Çirozlar, her iki uçlarında mutlaka boyuna donatıları ve dış etriyeyi saracaktır. Etriyeler ve çirozlar beton dökülürken yerlerinden kaymayacak biçimde boyuna donatılara sıkıca bağlanacaktır (TBDY 2018).

Perde donatılarının imalatının ardından kalıplar tamamlandıktan sonra döşeme donatılarının imalatına başlanır. Şekil 3.2’de perde donatı imalatının bitimiyle kalıpların konulmasının ardından döşeme donatı imalatına başlandığı görülmektedir.



**Şekil 3.2** Tünel kalıp döşeme donatısının imalatı

Perde ve döşeme donatılarının imatlarının ve gerekli kontrollerin ardından beton dökümü işlemine geçilmektedir.

### **3.1.1.1 Tünel kalıp sistemleri çeşitleri**

Tünel kalıp sistemleri yapılış şekline göre Tam Tünel Kalıp ve Yarım Tünel Kalıp olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Tam tünel kalıp ekipmanları döşemelerle birlikte, binanın yan dış duvarlarının, iç bölme perdelerinin betonlanmasına izin veren kalıp ekipmanlarıdır. Bu ekipmanlar ile kalıpların sökülmesinin ardından döşemelerin dikme desteğine alınması mümkün olabilmektedir. Beton kalıpta iken ısınması sağlanmakta ve böylece betonun priz süresi kısalmaktadır (Tepebaş, 2010).

Yarım tünel kalıp sistemleri ise iki yarım kalıbın birleşmesi sonucu oluşurlar. Yarım tünel kalıbın sökülmesinden sonra döşemeler dikmeler ile desteklenir ve ardından beton ısıtılabilir.

### **3.1.1.2 Tünel kalıp sistemlerinin uygulanması**

Yapı inşasında her zaman en baştan itibaren titizlikle hareket edilmesi gerekmektedir. Öncelikle gerekli zemin etüt ve geoteknik raporları hazırlanarak yapının statik projesi bu raporlardaki zemin parametrelerine ve mimari projeye uygun olarak tasarlanmalıdır. Statik projenin uygulanması aşamasında nitelikli işçi gücü ile gerekli kontroller sağlanarak yapılar inşa edilmelidir.

Tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapılarda projeye uygun şekilde ilk olarak temel inşa edilir. Tünel kalıbın başlayacağı ilk katta perdelerin konumlarının belli olması için yaklaşık 10-12 cm yüksekliğinde olan aks betonu dökülür. Perdelerin donatı imalatları gerçekleştirilir. Yarım tünel kalıp perdeye vinç yardımıyla yerleştirilir ve kalıbın diğer yüzü kapatılmadan önce elektrik tesisatı, kapı, pencere gibi boşluklar kalıp üzerine monte edilir. Gerekli işlemlerin ardından diğer yarım tünel kalıp getirilerek aynı işlemler yapılır ve kalıplar kapatılır. Kalıpların şekülü ayarlanır. Kontrollü bir şekilde beton dökümü yapılır. Beton kürlenme amacıyla soğuk hava koşullarında ısıtıcılar yardımıyla ısıtılır. Ardından kalıp sökülür. Döşemeler kalıp sökümünün ardından dikmeler ile 7 gün boyunca desteklenir. Bu aşamalar yapı tamamlanana kadar aynı şekilde uygulanır.

### **3.1.1.3 Tünel kalıp sistemlerinin yapısal ve statik özellikleri**

Tünel kalıp sistemleri ile inşa edilen yapılarda yapının depremlere karşı mukavemeti artmaktadır. Aynı zamanda perdeler sayesinde ses yalıtımı, yangına karşı sağlamlık konusunda da emniyetli bir taşıyıcı sistem türüdür.

Taşıyıcı sistem olarak perdelerin görev yaptığı tünel kalıp sistemleri diğer taşıyıcı sistemlere göre daha rijit yapıdadırlar. Rijit yapıda olmaları sebebiyle depreme karşı diğer sistemlere göre daha dayanıklı olmaktadır.

#### **3.1.1.4 Tünel kalıp sistemlerinin avantajları**

Tünel kalıp sistemlerinin avantajları genel olarak üretim hızı, benzer projeler tekrarlandığı takdirde aynı kalıplar kullanıldığı için uygun maliyet, kalıpların sağlam ve uzun ömürlü olması, uygulama esnasında kolaylık, deprem güvenliğini sağlaması, yangında diğer sistemlere göre daha dayanıklı olması şeklinde sıralanabilmektedir.

#### **3.1.1.5 Tünel kalıp sistemlerinin dezavantajları**

Tünel kalıp sistemlerinin çelik kalıplarının ilk üretim maliyetlerinin yüksek olması, beton dökümünde fazla veya az vibratör etkisiyle homojen olmayan düzensiz beton yerleşimi gibi dezavantajları vardır.

Tünel kalıp sistemleri ile tasarlanan yapılarda sık kullanılan perdeler dolayısıyla bazı durumlarda istenilen mimari tasarım elde edilememektedir.

#### **3.1.2 Kirişli döşeme sistemleri**

En az bir kenarı kirişe oturan döşeme türüdür. Kirişli döşemeler bir doğrultuda çalışan ve iki doğrultuda çalışan plak döşeme olarak ikiye ayrılır.

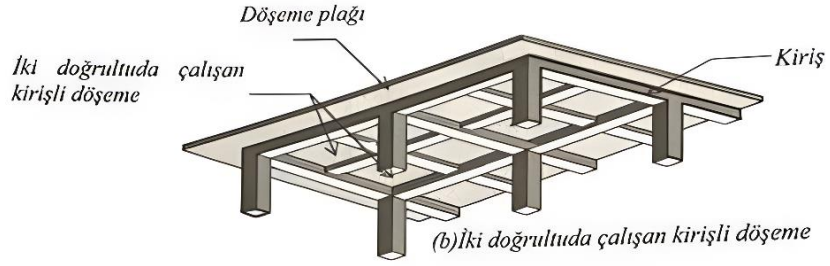
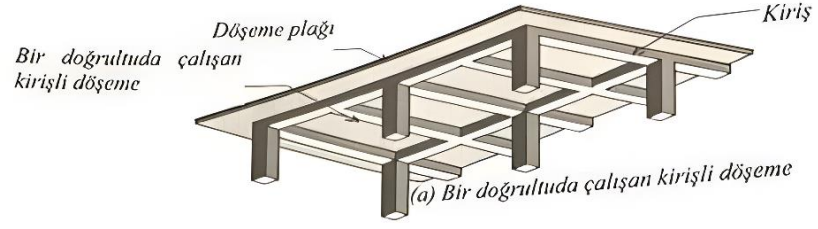
Bir doğrultuda çalışan plak döşemeler düzgün yayılı yük taşıyan ve uzun kenarının kısa kenarına oranı 2'den büyük olan betonarme plaklardır. Buna bağlı olarak döşemeye gelen yük kısa doğrultu boyunca taşınır. Eğilme döşemenin kısa doğrultusu boyunca yaşanır, uzun doğrultuda eğilme sifıra yakın miktarda yaşanır ve sedye formu olur. Eğilme donatısı döşemenin kısa doğrultusu boyunca, dağıtma donatısı ise döşemenin uzun doğrultusu boyunca yerleştirilir. Döşeme hesabı yapılırken kısa doğrultu dikkate alınarak yapılır. Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelere aynı zamanda hurdi döşemeler de denmektedir.

Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde yük etkisi ile döşeme aşağı doğru çökme yapar. Buna bağlı olarak altta çekme, üstte basınç oluşur. Kısa doğrultuda meydana gelen momentten dolayı uzun doğrultuda çatlaklar oluşur. Bu çatlakları sınırlandırmak için alt tarafa kısa doğrultuda bir düz bir pilye donatı eşit aralıklarla konur. Bu konulan donatılara esas (ana) donatı denmektedir. Uzun doğrultuda meydana gelen momentten dolayı kısa doğrultuda az ve ince çatlaklar oluşur. Bu çatlakları sınırlandırmak amacıyla alt tarafa uzun doğrultuda düz donatı eşit aralıklarla konur ve pilye donatı kullanılmaz. Alt tarafa uzun doğrultuda konan düz donatıya dağıtma donatısı denmektedir.

İki doğrultuda çalışan plak döşemeler ise düzgün yayılı yük taşıyan dört kenarı boyunca mesnetlenmiş ve uzun kenarının kısa kenarına oranı 2 veya daha küçük olan betonarme plaklardır. Döşemeye gelmekte olan yük kısa ve uzun doğrultuda taşınmaktadır. Eğilme her iki doğrultuda yaşanırken şekil olarak bir tekne formu almaktadır. Eğilme donatısı her iki doğrultuda da yerleştirilmektedir. İki doğrultuda çalışan kirişli döşemelere aynı zamanda dal döşeme de denmektedir.

İki doğrultuda çalışan plak döşemelerde üzerine gelen yükün etkisiyle beraber döşeme aşağı doğru çökere tekne formu alır. Buna bağlı olarak altta çekme, üstte basınç oluşur. Bunun sonucunda altta çatlak üstte ezilme meydana gelmektedir.

Şekil 3.3'te bir doğrultuda çalışan kirişli döşeme ile iki doğrultuda çalışan kirişli döşeme görülmektedir.



**Şekil 3.3** Bir doğrultuda ve iki doğrultuda çalışan kirişli döşemeler

Kirişli (plak) döşemede yük döşemeye gelmektedir. Döşeme üzerine gelen yükü bir doğrultuda veya iki doğrultuda olmak üzere yatay taşıyıcı eleman olan kirişlere aktarmaktadır. Kirişler ise kendilerine gelen yükü düşey taşıyıcı eleman olan kolon ve perdeler aktarırlar. Kolon ve perdeler de kendilerine gelen yükü temele aktarır. Temele gelen yük en son zemine aktarılır.

Ülkemizde en yaygın kullanılan döşeme türü kirişli (plak) döşemedir. Kirişli döşemeye ait örnek Şekil 3.4'te verilmiştir.



**Şekil 3.4** Kirişli döşeme

### **3.1.3 Dişli döşeme sistemleri**

Kirişli döşemelerde kirişler arası mesafe büyüdükçe kullanılan plakanın kalınlığı da aynı oranda büyür. Kalınlaşan plakanın ağırlığını azaltmak amacıyla aralıkları 70 cm'yi aşmayan kirişlerin olduğu döşemeler dişli döşemeler olarak adlandırılır.

En yaygın dişli döşemeler nervürlü ve asmolen döşemedir. İkisinin arasındaki temel fark dolgu malzemesidir.

#### **3.1.3.1 Asmolen döşeme sistemleri**

Dişlerin arasına beton, briket gibi hafif dolgu malzemesi yerleştirerek düzgün bir döşeme elde etmeyi amaçlayan döşeme türüdür. Dolgu malzemesinin kullanılma amacı tavanın düz bir şekilde görünmesini sağlamaktır.

Kalıp işleminin ardından statik projeye uygun bir şekilde kiriş demirleri yerleştirilir. Ardından kirişlerin aralarına nervür donatıları aynı yönde çalışacak şekilde projede belirtildiği gibi bağlanır.

Asmolen döşemenin en büyük avantajı diğerlerin arasına gelen dolgu sayesinde kalıp maliyetinde nervürlü döşemeye göre daha avantajlıdır. Büyük açıklıklı döşemeler yapılabilmesi, kalıp işçiliği diğer döşeme sistemlerine göre daha az ve hızlı olması, imalat sonucunda düz tavan elde edilmesi, sıva gibi maliyetleri azaltması, ısı ve ses yalıtımı sağlaması gibi avantajları da vardır.

Dezavantajları olarak da kirişli döşemelere göre daha ağır olması, zımbalama riskinin yüksek olması, deprem bölgeleri için uygun olmaması, kullanılan dolgu malzemesine göre yangın riski oluşturması gösterilebilir.

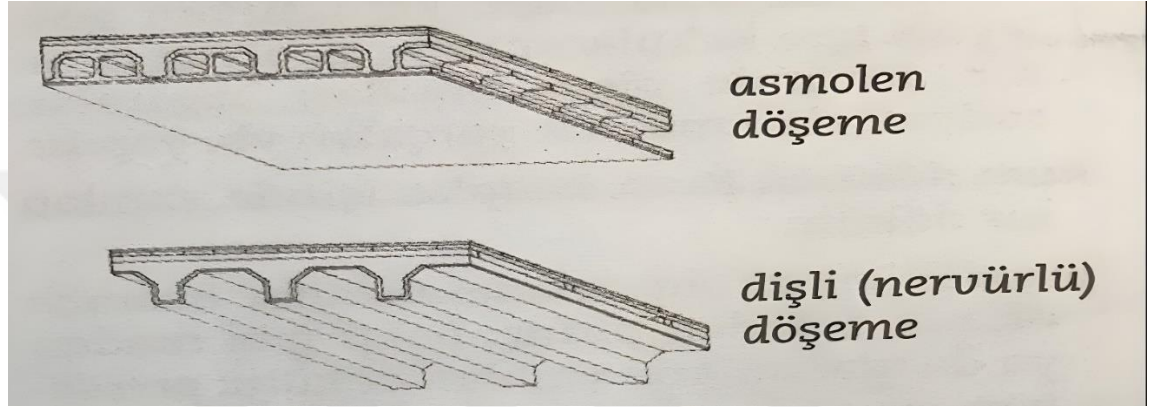
Asmolen döşemelerde Şekil 3.5'te görüldüğü üzere dolgu malzemesi olarak tuğla, köpük, briket gibi malzemeler kullanılabilir.



**Şekil 3.5** Asmolen döşeme

### 3.1.3.2 Nervürlü döşeme sistemleri

Dolgu malzemesi kullanılmayan dişli döşeme türüdür. Bu döşeme türünde fazla sayıda diş kullanılacağı için kalıp maliyeti yüksektir. Kalıp maliyetini azaltabilmek için çelik kalıplar tercih edilmektedir. Asmolen ve nervürlü döşeme farkı Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Asmolen ve nervürlü döşeme

### 3.1.3.3 Kirişsiz döşeme

Kirişin bulunmadığı, döşemeden gelen yükün direkt olarak kolonlara aktarıldığı döşeme türüdür. Kirişsiz döşemenin en büyük dezavantajı zımbalamadır. Döşeme kalınlığının yetersiz olduğu durumlarda zımbalama ile karşılaşılabılır. Zımbalamanın önüne geçmek için döşeme kalınlığının artırılması, kolona başlık konulması ve donatı miktarının artırılması seçenekleri göz önünde bulundurulabilir. Ancak bu durumda da ekonomiklik durumu değişkenlik gösterebilmektedir. Zımbalama yükü orta kolonlarda kenar kolonlara göre daha fazla olsa da orta kolonların yükü dağıtacak alanı daha fazla olduğu için zımbalama etkisi kenar ve köşe kolonlarda daha önemli bir hal almaktadır. Yani köşe ve kenar kolonlar da zımbalama konusunda orta kolonlar kadar hassas davranmaktadırlar.

Kirişsiz döşemeye aynı zamanda mantar döşeme de denilmektedir.

Mantar döşemelerde asansör ve merdiven bölümlerinde eksenlerin düzgünlüğünün bozulması sebebiyle bu bölgelerde kiriş kullanılarak projelendirilmesi tavsiye edilmektedir.

Kirişsiz döşemeler inşa edilirken projede öngörülen beton dayanımının sağlanması gerekmektedir. Yapıya gelecek yatay deprem kuvvetleri yeterli boyutlardaki ve sayıdaki perdeler ile karşılanmalıdır. Başlıklı ve tablalı sistemlerde tablada ve döşemenin içinde mutlaka zımbalama hesabı yapılarak projelendirilmelidir. İmalat sırasında paspayı kullanılmalı ve donatı ile beton arasında aderans sağlanmalıdır. Kenar ve köşe kolonlarda zımbalamanın önüne geçmek amacıyla kiriş bulundurulmalıdır.

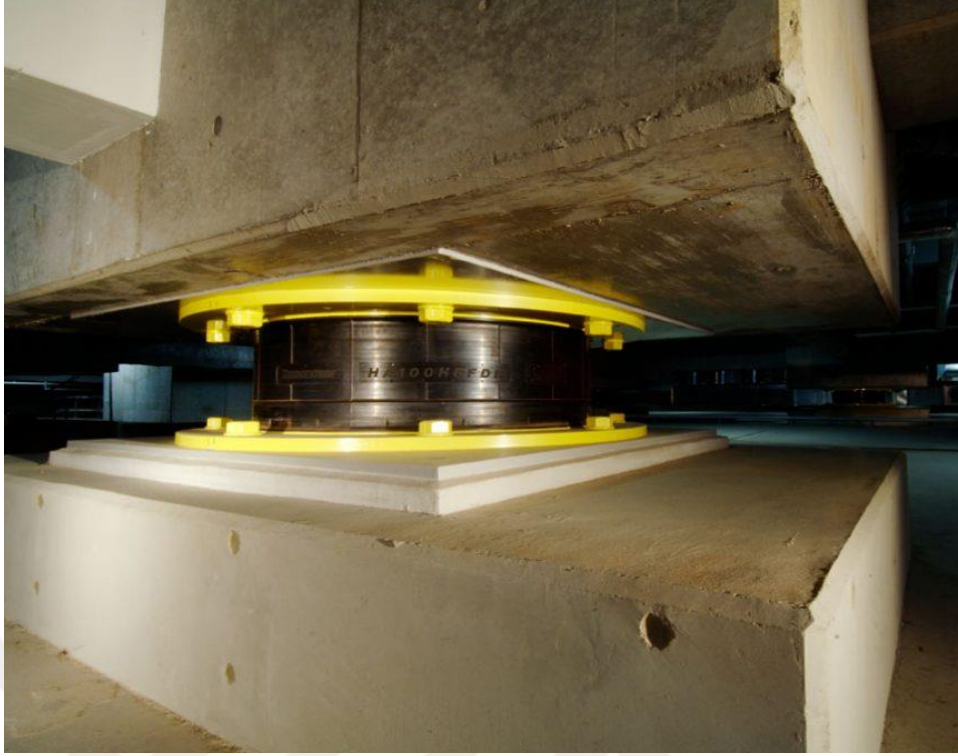
Kirişsiz döşemenin avantajları olarak kalıp ve donatı işçiliğindeki uygulama kolaylığı, inşaat süresinin kısa olması, mimari açıdan duvar gibi elemanların uygulama kolaylığı gösterilebilir.

Kirişsiz döşemenin dezavantajları olarak da zımbalama ve zımbalamaya karşı alınan önlem olarak döşeme kalınlığının artması gösterilebilir.

### **3.2 Sismik İzolatörler**

Ülkemizde ve dünyada gelişen teknoloji ile birlikte, yapı tasarımında depreme karşı güvenli yapı oluşturmak amacıyla sismik izolatörler (Şekil 3.7) kullanılmaktadır.

Sismik izolatörlerin amacı yapının temeli ile gövdesinin birbirinden ayrı çalışmasını sağlayarak deprem esnasında sismik enerjiyi dağıtmak ve yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmaktır. Sismik izolatörler yapıya etkiyen deprem enerjisini azaltarak, binanın deprem kuvvetinden yaklaşık olarak % 75 daha az etkilenmesini sağlarlar. İzolatörler deprem kuvvetini sönmüleyerek yapıda oluşabilecek hasarı minimum düzeye indirir. Bu sayede deprem sonrasında oluşan hasar kısa sürede onarılabilir. Aynı zamanda deprem kuvvetini azaltan izolatörler can ve mal kaybını önlemekte büyük pay sahibidir.



**Şekil 3.7** Sismik izolatör

Sıradan betonarme yapılarda deplasmanlar yapı katlarına dağılır ve kat sayısının artmasıyla birlikte deplasman da artar. Sismik izolatörlü binalarda ise deplasmanlar sismik izolatör seviyesinde yoğunlaşırlar. Sismik izolasyon sisteminde kullanılan malzemeler, yatay doğrultuda rijit olmayan (esnek) davranış gösterirken düşey doğrultuda ise rijit davranış gösteren özelliğe sahiptir. Bu sayede de oluşan titreşimlerin etkisiyle yapıda meydana gelecek olan şekil değiştirmeler izolatör üzerinde sönümlenmektedir. Sismik enerji üst yapıya erişemeyip izolatörde kaldığından dolayı yapı rijit davranır.

Sismik izolatörler ülkemizde özellikle deprem sonrasında kullanılması öncelikli olan kamu binalarında (hastane, okul vb.) tercih edilmektedir. Olası deprem durumunda önemli kamu binalarının hasar almadan depreme karşı dayanıklı durarak deprem sonrasında tedavi, barınma gibi ihtiyaçların karşılanması sağlanmak zorundadır.

### 3.2.1 Sismik izolatörlerin tarihçesi

Sismik izolasyon tarihte ilk olarak 1876 yılında Tokyo Üniversitesi Profesörlerinden John Milne tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda yapının altına izolasyon amaçlı yapılan 25 cm çapındaki çelik bilyeler yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde 25 cm çapındaki bilyelerin hafif depremlerde başarılı olmasına karşın sürtünme kuvvetinin az olmasından kaynaklı rüzgara karşı başarısız olduğu gözlemlenmiştir. Sürtünme yüzeyini arttırmak için 25 cm olan bilye çapları değiştirilerek 2,5 cm çapındaki bilyeler ile deneyler tekrarlanmıştır. Bu deneylerin sonuçları karşılaştırılarak daha küçük çaplı olan bilyelerde depreme ve rüzgara karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Sismik izolasyon ile ilgili ilk resmi belge 1905 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan silindir sistem ile yapılan çalışmanın ardından alınmıştır.

1921 yılında Tokyo'da inşa edilen bir otelde izolasyonu uygulayan ilk kişi mimar Frank Lyond Wright olmuştur. Yapının altındaki üst ve alt tabakayı birbirine yakın olan kazıklarla birleştirerek ortada bulunan çamur tabakası üzerinde yüzen bir sistemle yapıyı depremden izole etmiştir.

Dünyada ilk kauçuk sismik izolasyonlu yapı 1969 yılında Makedonya'da bir ilkokul binasında uygulanmıştır. Kullanılan kauçuk malzeme saf kauçuktan yapılmıştır ve içine başka bir malzeme konulmamıştır. Dolayısıyla deprem esnasında meydana gelen yatay ve düşey kuvvetlere karşı aynı rijitlikte tepki vermektedir. Bundan dolayı düşey harmonik hareket yapmaktadır.

1981 yılında Yeni Zelanda'da inşa edilen William Clayton binası, kurşun çekirdekli izolatör kullanılan ilk yapıdır.

Gelişen teknoloji, artan nüfusa bağlı olarak artan konut ihtiyacı ve depreme karşı tedbir almak amacıyla sismik izolatörlerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

### 3.2.2 Sismik izolatör çeşitleri

Sismik izolatörler aşağıda gösterildiği üzere üç temel prensibe bağlı olarak sınıflandırılmıştır.

#### Elastomerik Tabanlı İzolasyon Cihazları

- Düşük Sönümlü Doğal ve Yapay Kauçuklu İzolatörler
- Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler
- Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler

#### Kayma Temelli İzolasyon Cihazları

- Çelik Bilya Katmanlı ve Çelik Levha Neopren İzolatörler
- Sürtünmeli Sarkaç Sistemi
- Esnek Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi

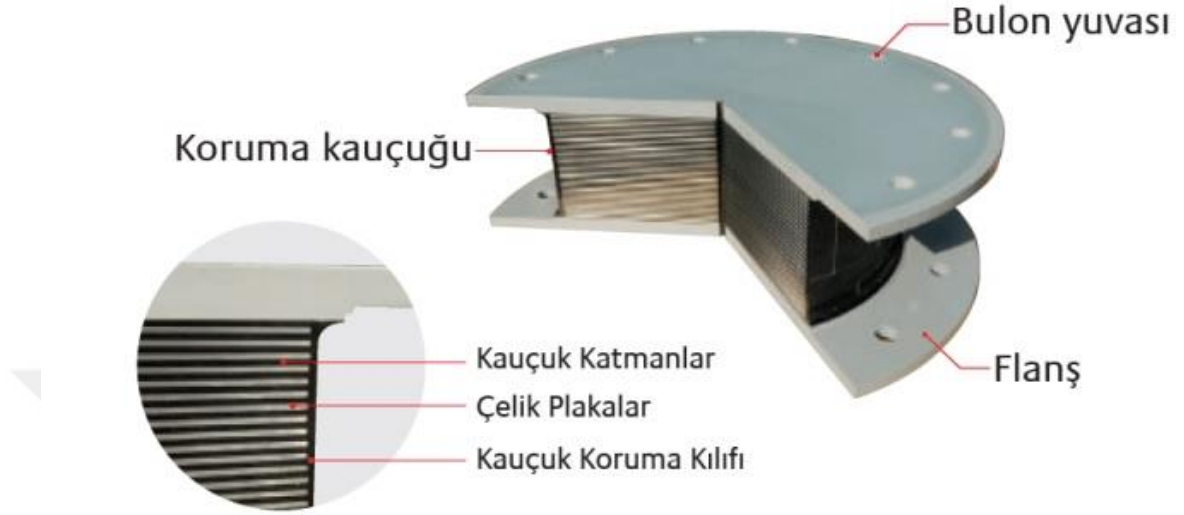
#### Yay Tipi Sistemler

- Gerb Sistemi

#### 3.2.2.1 Düşük sönümlü doğal ve yapay kauçuklu izolatörler

Düşük sönümlü izolatörler ilk üretilen izolatör çeşididir. İki adet kalın çelik levhanın arasına yerleştirilen bir dizi ince çelik ve kauçuk katmanlarından meydana gelen bu izolatör çeşidinde ince çelik levhalar kauçuğun genleşmesini engelleyerek yüksek düşey sertlik sağlarlar (Şekil 3.8). Bu izolatör çeşidinin imalat ve modellenmesi oldukça kolaydır. Üretim basit olması, modellenmesinin rahat olması gibi olumlu özelliklerinin yanında mekanik sistem, sıcaklık değişimlerinden ve zamanın ilerlemesinde olumsuz etkilenmemektedir. Sistemde ek bir sönümleme sisteminin

bulunmaması nedeniyle ek bir sönümleyici sisteme ihtiyaç duyması ise sistemin olumsuz özellikleri arasında yer almaktadır.

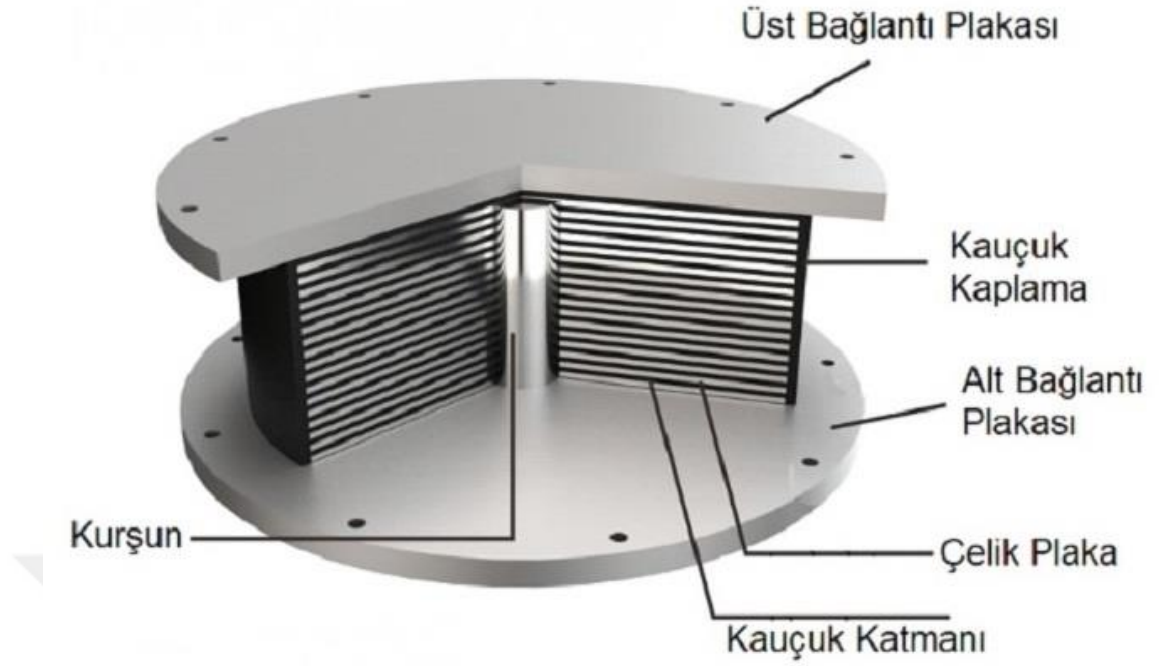


**Şekil 3.8** Düşük sönümlü kauçuk izolatör

### 3.2.2.2 Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB) 1975 yılında ilk defa Yeni Zelanda'da üretilmiştir. Bundan dolayı Yeni Zelanda mesnedi de denmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler de aynı düşük sönümlü kauçuk izolatörler gibi kauçuk katmanların çelik plakalar arasında sıkıştırılmasıyla üretilmektedir.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin düşük sönümlü kauçuk izolatörlerden farkı sistemdeki zayıf olan sönümlenme özelliğini artırmak ve kayma şekil değiştirmesinde düzenli bir şekil değiştirmesi sağlamak için şekilde gösterildiği üzere izolatörün merkezine kurşun esaslı silindir çekirdek bir gövde eklenmiştir (Şekil 3.9). Eklenen bu çekirdek gövde sayesinde yüksek kayma yer değiştirmeleri engellenmiş olup izolatör mesnedinde de yer değiştirmeye bağlı olarak yeterli bir başlangıç rijitliği ve başlangıç sönümü sağlanmış olur.



**Şekil 3.9** Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör

Sismik izolatörler tek çeşit olarak kullanıldığı gibi gerekli durumlarda birden fazla çeşitte sismik izolatör tek bir sistemde de kullanılabilir. Yoğun olarak birlikte kullanılan izolatör sistemleri ise düşük sönümlü kauçuk izolatörler ile kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerdir. Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin rijitlik özelliğinden faydalanılırken kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin sönümleyici özelliğinden faydalanılmaktadır. Dış mesnetlerde dengeleyici özellikteki düşük sönümlü kauçuk izolatörler kullanılırken iç mesnetler ise sönümleyici özellikteki kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmaktadır. İki farklı izolatör tipi tek sistemde kullanarak izolatörlerin birbirini desteklemesi sağlanmaktadır.

Yer değiştirme kapasitelerinin büyük olması, kauçuk elastomerler ve kurşun çekirdek ihtiyaç duyulduğu üzere istenilen özellikte tasarlanabilmesi, büyük gerilmelerde olduğu gibi küçük gerilmeler altında da deplasman yapabilmesi, tekrarlanan yüklere karşın metal yorgunluğuna dayanıklı olmaları olumlu özellikleri arasında sayılabilmektedir.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin dezavantajlarına bakıldığında ise yüksek katlı yapılar tasarlanırken burkulma etkisi göz önünde bulundurulması gerekmesi, kauçuğun

yangına karşı dayanıksız bir malzeme olması, büyük depremlerde izolatörün içinde bulunan kurşun çekirdeğin hasara uğrayıp uğramadığının kontrolünün zor olması şeklinde sıralanmaktadır.

### **3.2.2.3 Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler**

Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler (HDRB) 1982 yılında Malezya Kauçuk Üreticileri Birliği'nin (MRPRA) çalışmaları ile düşük sönümlü kauçuk izolatörlere ek sönümleyici izolatörler olarak geliştirilmiştir. Yüksek sönümlü izolatörlerde sönümleme oranı kullanılan kauçuğun karakteristik özelliğindeki kristalizasyonu sayesinde yüksek şekil değiştirmelerde kauçuğun kayma modülü artmasına bağlı olarak düşük sönümlü kauçuk izolatörlere göre yaklaşık % 15 oranında artırılmıştır.

Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin üretimi kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle benzer şekilde yapılmaktadır. Her iki izolatörün de deprem karşısındaki dayanımının yüksek olması beklenmektedir. Birçok özelliği benzer olan bu iki izolatörlerin arasındaki tek fark yüksek sönümlü kauçuk izolatörde bulunan kauçuğun yüksek sönümleme kapasitesine sahip olmasıdır (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10** Yüksek sönümlü kauçuk izolatör (Güner,2012)

Yüksek sönümlü kauçuk izolatörlerin sönümlenme ve mekanik özellikleri sıcaklığa bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde böyle bir durum söz konusu değildir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin kullanımı yüksek sönümlü kauçuk izolatörlere göre daha yaygındır.

#### **3.2.2.4 Çelik bilya katmanlı ve çelik levha neopren izolatörler**

Çelik bilya katmanlı izolatörler düşük sürtünme katsayısı verilmesi amacı ile iki adet çelik levha arasında sıkıştırılmış çok sayıda bilyalardan oluşmaktadır. Bilya sayısı binadan gelecek olan yükü karşılayacak şekilde izolasyon sisteminin tasarımı sırasında hesabı yapılarak ayarlanmaktadır (Şekil 3.11).



**Şekil 3.11** Çelik bilya katmanlı izolatör

Çelik levha neopren izolatörler ise güçlendirilmiş elastomerik kauçuk malzemeden üretilir ve yüzeyleri paslanmaz çelik ve kurşun bronz alaşımından yapılmış iki katmanı içerir. Genellikle  $\pm 5$  cm'lik hareket sınırı bulunur. Olası bir deprem esnasında bu sınır aşıldığında sürtünme elemanları hareketi kontrol altına almak amacıyla devreye girerler.

### **3.2.2.5 Sürtünmeli sarkaç sistemi**

Sürtünmeli sarkaç sistemi sayesinde yapının salınım periyodu artar yapı yıkıcı özellik taşıyan kritik bölgeden uzaklaşır, bu sayede yapının yatay deprem kuvvetlerinden minimum şekilde etkilenmesini sağlamış olur (Şekil 3.12).

Sürtünmeli sarkaç izolatörün uygulanacak yerin zemin özellikleri ve üst yapının özellikleri göz önünde bulundurularak düşey yük taşıma kapasitesi, periyodu, enerji sönümlenme kapasitesi, deplasman kapasitesi, sürtünme değerleri, rijitlik katsayısı gibi teknik özellikleri belirlenerek üretilen izolatörler, deprem büyüklüğü ve gerçek yük tatbiki yapılarak standartlara göre test edilmektedir.

Köprü, viyadük, hastaneler, konutlar, endüstri yapıları stadyumlar, okul ve kamu binaları gibi uygulama alanlarının yanı sıra mevcut yapıların güçlendirilmesinde de sürtünmeli sarkaç sistemler kullanılabilir.

Sürtünmeli sarkaç sistemlerin avantajları, kompakt yapısal özelliğinden dolayı montaj kolaylığı, uzun ömürlü olması, yapıdaki ısı genleşmelere imkan tanınması, yangına karşı dayanıklı olması gibi sıralanabilir.

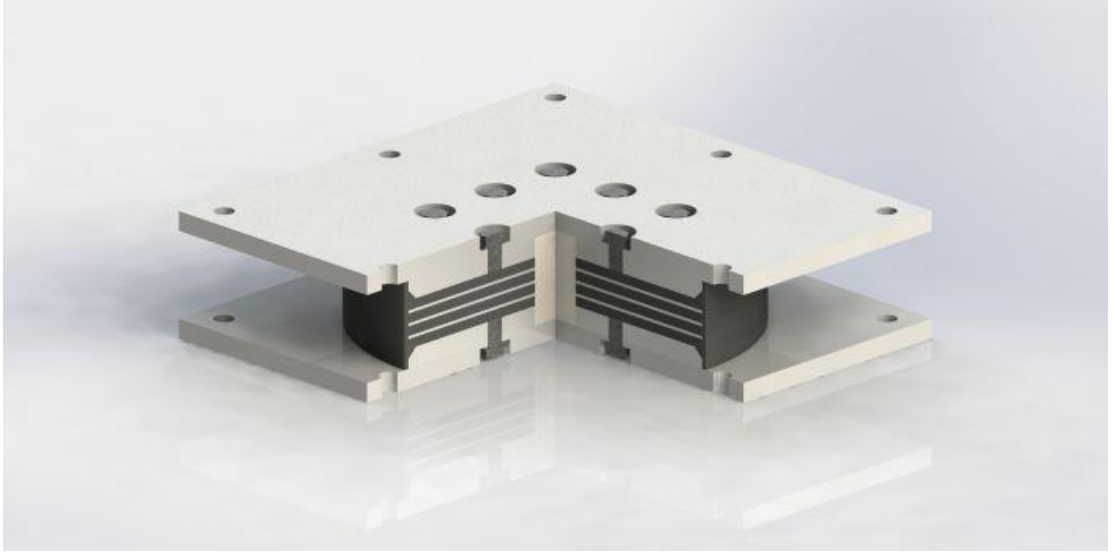


**Şekil 3.12** Sürtünmeli sarkaç sistemi

### **3.2.2.6 Esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi**

Karmaşık ve çok katmanlı olan esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi, yüksek sürtünme katsayısı problemine çözüm bulmayı amaçlamaktadır. İzolatör geridönüş kuvveti oluşturan bir merkezi kauçuk çekirdeği içerir. Bu merkezi kauçuk çekirdeği, sistemin elastikiyet ve sönümleme özelliklerine katkıda bulunur (Şekil 3.13).

Bu sistem özellikle yüksek sürtünme katsayısının problem olduğu durumlarda çözüm sunmaktadır.



**Şekil 3.13** Esnek sürtülmeli taban izolasyon sistemi

### 3.2.2.7 Gerb sistemi

Gerb sistemi genellikle üç boyutlu izolasyona ihtiyaç duyulduğu durumlarda, özellikle nükleer santraller gibi yapılarda kullanılan, hem düşey hemde yatay yönde izolasyon sağlayan bir sistemdir.

## 3.3 Yalıtım Sistemlerinin Mekanik Özellikleri

### 3.3.1 Kauçuk yalıtım sistemlerinin mekanik özellikleri

Kauçuk yalıtım sistemlerinde yatay rijitlik ( $K_h$ ) Denklem (3.1)' de verilen formülle bulunmaktadır:

$$K_h = \frac{G \cdot A}{t_r} \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)' de  $G$  kauçuğun kayma modülünü, ( $A$ ) kauçuğun kesit alanını, ( $t_r$ ) kauçuğun toplam kalınlığını göstermektedir.

$$\gamma = \frac{D}{t_r} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)' de kauçuğun kayma şekil değıştirmesi ( $\gamma$ ), kauçuğun yatay yer değıştirmesinin ( $D$ ) kauçuğun toplam kalınlığına ( $t_r$ ) oranıdır.

$$E_c = \frac{E'_c * K}{E'_c + K} \quad (3.3)$$

Çelik ve kauçuktan oluşan malzemenin düşey yük altındaki anlık basınç modülünün ( $E_c$ ) Denklem (3.3) 'teki gibidir.  $K$  kullanılan malzemenin hacim modülünü,  $E'_c$  sıkıştırılmayan durumdaki basınç modülünü göstermektedir.

$E'_c$  sismik yalıtımın geometrik özelliklerine ve kauçuğun kayma modülüne göre değışmektedir. Çizelge 3.1'de  $E'_c$  basınç modülü değeri verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Geometrik özelliklere göre sıkıştırılmayan durumdaki basınç modülü değeri

	Daire	Boşluklu Daire	Kare
$E'_c$	$6 * G * S^2$	$6 * \gamma * G * S^2$	$6,73 * G * S^2$

$$K_v = \frac{E_c * A}{t_r} \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)' te görüldüğü üzere çelik ve kauçuktan oluşan malzemenin düşey yük altındaki anlık basınç modülünün ( $E_c$ ) kauçuğun kesit alanı ( $A$ ) ile çarpımının kauçuğun toplam kalınlığına ( $t_r$ ) oranı kauçuğun düşey rijitliğini ( $K_v$ ) vermektedir.

$E_c$  değeri tek bir kauçuk katmanı için biçim faktörü ( $S$ ) tarafından belirlenir. Denklem (3.5)' te görüldüğü üzere biçim faktörü yüklenmiş alanın yüklenmemiş alana oranıdır.

$$S = \frac{\text{Yüklenmiş Alan}}{\text{Yüklenmemiş Alan}} \quad (3.5)$$

Üzerine gelen basınçtan dolayı yalıtım biriminin içindeki çelik levhaların kauçukta oluşturduğu kayma şekil değıştirmesi ( $\gamma_c$ ), birim basınç değışimi ( $\epsilon_c$ ) ve şekil faktörünün ( $S$ ) 6 katıyla ifade edildiği Denklem (3.6)' da görülmektedir.

$$\gamma_c = 6 * S * \varepsilon_c \quad (3.6)$$

Denklem (3.7)' de görüldüğü üzere birim basınç değişimi ( $\varepsilon_c$ ) düşey yerdeğiştirmenin ( $\Delta$ ) kauçuğun toplam kalınlığına ( $t_r$ ) oranıdır.

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta}{t_r} \quad (3.7)$$

### 3.3.2 Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım sistemlerinin mekanik özellikleri

Kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım sistemleri elastik rijitlik ( $K_1$ ), akma sonrası rijitlik ( $K_2$ ) ve karakteristik dayanımdır ( $F_Q$ ). Elastik rijitliğin ölçülmesi zor olduğu için ampirik akma sonrası rijitlik değeri kullanılarak hesaplanır.

## 3.4 TBDY 2018'de Sismik İzolasyon

### 3.4.1 Sismik izolasyonun tasarım ilkeleri

TBDY 2018'de sismik izolasyon kullanılan yapıların sahip olması gereken nitelikler belirtilmiştir.

Sismik izolasyon kullanılacak olan yapının bina önem katsayısı 1 olarak alınmalıdır. Yapılacak tasarımda yer hareket düzeyi olarak DD-1 ve DD-2 seçilmelidir. İzolatör uygulanacak olan yapılar sınırlı süneklik düzeyine göre tasarlanmalıdır. İzolasyon sisteminin rijitlik merkezi ile yapının kütle merkezi olabildiğince yaklaştırılarak yapıdaki burkulma etkisinin minimuma düşürülmesi hedeflenmelidir. İzolasyon sisteminin en büyük yer değıştirme hesabı DD-1 yer hareket düzeyinin izolatlörlere ait alt sınır değeri kullanılarak hesaplanırken, yapıya etkiyen en büyük yatay kuvvetin hesabı DD-2 yer hareket düzeyinin izolasyon birimlerinin üst sınır değeri ile hesaplanmaktadır. İzolasyon sisteminde DD-1 yer hareket düzeyinde oluşan en büyük yer değıştirmede sahip olduğu iç kuvvet ile en büyük yer değıştiriminin yarısında meydana gelen iç kuvvetlerin arasındaki fark en az 0.025W olmalıdır. (W:Yalıtım birim üzerine etkiyen yük) İzolasyon sisteminde gerçekleşebilecek herhangi bir D yer

değiştirmesinde yatay merkezleme kuvveti oluşabilecek şekilde tasarlanarak elastik ötesi rijitliği kullanılarak hesaplanan titreşim periyodu 6 saniyeden büyük olmamalıdır. Aynı zamanda tüm yapı modelinin sadece izolasyon doğrusal olmayan davranış için modellenirken üst ve alt yapıların doğrusal olarak modellenmesi de mümkündür. Etkin kesit rijitlik çarpanları TBDY 2018 Tablo 13.1'deki verilerden alınarak hesaplanmaktadır.

**Çizelge 3.2** TBDY 2018 tablo 13.1 betonarme taşıyıcı sistem elemanları için II. aşamada uygulanacak etkin kesit rijitliği çarpanları

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

### 3.4.2 Sismik izolasyon kullanılan yapılarda performans hedefleri

İzolatörle yapılan binalarda deprem tasarım sınıfına göre performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme ve tasarım yaklaşımları TBDY 2018 Tablo 3.5'in b maddesinde verilmiştir (Çizelge 3.3). Çizelge 3.4'te kısaltmalar olarak verilen DD-1 en büyük deprem yer hareketini, DD-2 tasarım deprem yer hareketi, DGT dayanıma göre tasarım, DTS deprem tasarım sınıfı, KH kontrollü hasar, KK kesintisiz kullanım, SH sınırlı hasar, şGDT şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım olarak açıklanabilir.

**Çizelge 3.3** TBDY 2018 tablo 3.5 deprem tasarım sınıflarına göre deprem yalıtımlı binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

(a) Yeni Yapılacak Deprem Yalıtımlı Binalar - Üstyapı

Deprem Yer Hareket 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 Yapılara Güçlendirilecek Mevcut Binalar - Üstyapı

Deprem Yer Hareket 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 Üstyapı

Deprem Yer Hareket 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 <sup>(1)</sup> -DGT <sup>(2)</sup>	KK	ŞGDT <sup>(1)</sup> -DGT <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Yalıtım sistemi için uygulanacaktır.

<sup>(2)</sup>Altyapı için uygulanacaktır.

TBDY 2018 Tablo 3.5’de DD-2 yer hareket düzeyinde hedef performans seviyesine ulaşmak için deprem yükü azaltma katsayısı  $R$  ve dayanım fazlalığı  $D$  TBDY 2018 Tablo 14.1’deki verilere göre belirlenecektir. TBDY 2018 Tablo 14.1 Çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.4** TBDY 2018 tablo 14.1 deprem yükü azaltma ve dayanım fazlalığı katsayıları tablosu

Performans Hedefi	R	D
-------------------	---	---

KK	1.2	1.2
SH	1.5	1.5

İdecad yapı analiz programında kullanılan 16 adet izolatör türü vardır. Bu izolatör türlerine ilişkin İdecad programında tanımlanmış olan kauçuk mesnetlerin özellikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

**Çizelge 3.5** İdecad yapı analiz programında tanımlanmış olan kauçuk mesnetlerin özellikleri

İzolatör Tipi	Çap	Yükseklik (m)	Düşey Basınç Kapasitesi (kN)	Düşey Rijitlik (kN/m)	Yatay Rijitlik (kN/m)	Sönüm Oranı (%)	Tasarım Yer Değiş. (mm)	Maksimum Yer Değiş. (mm)
GZP-300	0,32	0,1105	1019,716	540449,593	530,252	5	64	160
GZY-300	0,32	0,1105	1019,716	815772,97	856,562	22	64	160
GZP-400	0,42	0,124	1835,489	764787,16	866,759	5	80	200
GZY-400	0,42	0,124	1835,489	1019716,213	1447,997	18	80	200
GZP-500	0,51	0,158	2549,291	1019716,213	1070,702	5	98	245
GZY-500	0,51	0,158	2549,291	1427602,698	1784,503	18	98	245
GZP-600	0,62	0,197	4078,865	1723320,4	917,745	5	112	350
GZY-600	0,62	0,197	4078,865	2243375,669	1957,855	29	112	350
GZP-700	0,72	0,237	5608,439	2528896,208	1152,279	5	133	385
GZY-700	0,72	0,237	5608,439	3110134,45	1937,461	25	133	385
GZP-800	0,82	0,3	7341,957	3569006,745	2447,319	6	200	440
GZY-800	0,82	0,3	7341,957	4440864,108	5506,468	32	200	440
GZP-900	0,92	0,346	9177,446	4308301	3161,12	6	200	495
GZY-900	0,92	0,346	9177,446	5098581,065	3161,12	32	200	495

GZP-1000	1,0 2	0,376	11216,87 8	5832776,73 8	5832776,73 8	6	200	550
GZY-1000	1,0 2	0,376	11216,87 8	6867788,69 4	6867788,69 4	32	200	550

Çizelge 3.5 incelendiğinde GZY olan izolatör türlerinde düşey rijitlik, yatay rijitlik, sönüm oranı daha fazla iken GZP türlerinde az olduğu görülmektedir. İzolatör çapları izolatör ismindeki sayıya bağlı olarak değişmektedir. İzolatör tiplerinin çapı, yüksekliği, düşey basınç kapasitesi, tasarım yer değiştirmesi, maksimum yer değiştirmesi gibi faktörlerin izolatör ismindeki sayıya göre değiştiği görülmektedir.

Rijitlikler karşılaştırıldığında GZP-1000 ve GZY-1000 izolatörlerinin yatayda ve düşeyde en yüksek rijitliğe sahip olduğu görülmektedir.

### 3.5 Sismik İzolatör Maliyet ve Bakım Değerlendirilmesi

Sismik izolatörler kullanılacakları yapının önem katsayısına ve büyüklüğüne bağlı olarak kullanımına karar verilebilir. Sismik izolatör tercih edilirken maliyet ve bakım masrafları mutlaka göz önünde bulundurulması gerekir.

Yapılan detaylı analizler neticesinde, hangi sismik izolasyon sistemi ve izolatör tipinin seçileceği, ayrıca kaç adet kullanılacağı belirlenir. Piyasada, çeşitli teknik özelliklere sahip farklı izolatör tipleri mevcuttur ve bu tiplerin maliyetleri değişkenlik göstermektedir. İzolatörler, genellikle yapıların bodrum katlarında, kolonların altına monte edilir. Bu yerleşim, yapının içinde bulunan merdivenler gibi yapısal unsurların işlevselliğinin korunmasına yardımcı olur. İzolatörlerin bakımı ve gerektiğinde değiştirilmesi nispeten kolaydır. Ancak, bu tür bir uygulama, kazı miktarının artmasına ve ek katlar ya da destek duvarları inşa etmeyi gerektirebilir. Öte yandan, izolatörlerin kolonun ortasında veya üst kısımlarında kullanılması durumunda, binanın iç ulaşım sistemlerine yönelik ek önlemler alınması gerekebilir. Bu durum, projenin tasarım ve uygulama süreçlerinde ekstra planlama ve mühendislik çalışmalarını zorunlu kılar (Eniş, 2024).

Ülkemizde sismik izolator bulunan binaların denetiminde TGUA-5 (Tasarım Gözetmeni Uygulama Alanı) yeterliliği olan uzmanlar tarafından yapılmaktadır. Denetimler genellikle yapının 5. ve 10. yılında, ardından her 10 yılda bir yapılmaktadır. Bu denetimlerin amacı yapıların sismik izolatorlerinin sürekli olarak işlevsel ve güvenli olarak çalışmasını sağlamaktır. Sismik izolatorün ömrü türüne bağlı olarak 75 ila 100 yıl arasında değişmektedir.

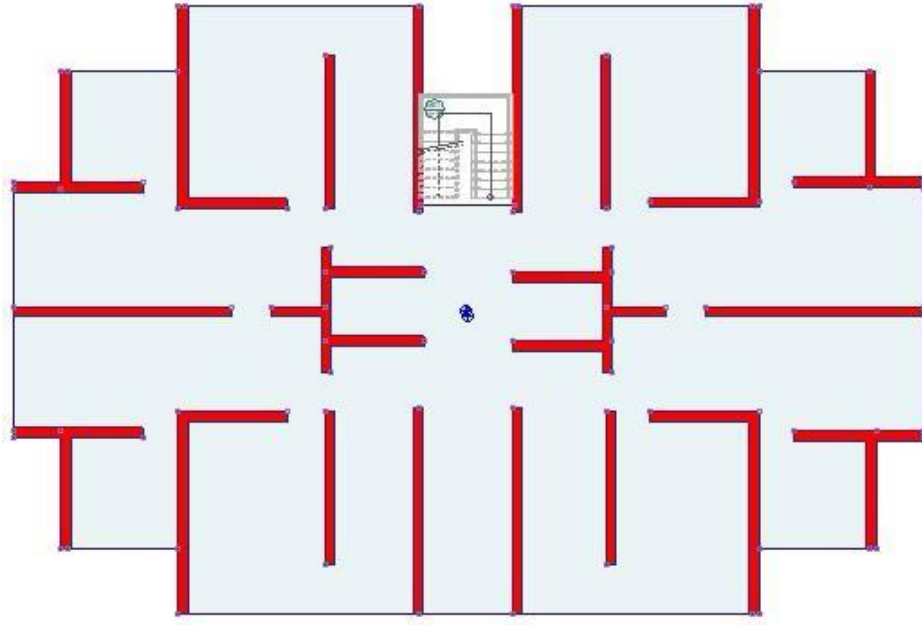


#### 4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

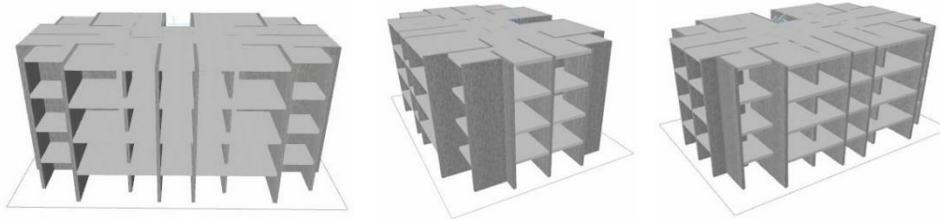
Farklı taşıyıcı sistem türüne sahip betonarme yapıların deprem davranışına zemin parametreleri ve sismik izolatör etkisinin incelenmesi amacıyla; 1.Grup tünel kalıp sistemi, 2. Grup Kirişli döşeme sistemi, 3. Grup asmolon döşeme sistemine sahip olmak üzere ZA sağlam ve sert kayalı olan zemin, ZB ayrıışmış kayalardan oluşan zemin, ZC çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakalı zemin, ZD orta sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarından oluşan zemin ve ZE gevşek kum, çakıl veya yumuşak katı kil tabakalarından oluşan zemin sınıfları için izolatörlü ve izolatörsüz olmak üzere 30 farklı model oluşturulmuştur. Tasarlanan modellerde deprem yer hareketi düzeyi DD-2 seçilmiştir. Yapıların oturum alanı 442,74 m<sup>2</sup> olup inşaat alanı 1.770,96 m<sup>2</sup>'dir.

Analiz ayarları kısmında BKS (Bina Kullanım Sınıfı) 1 seçilmiştir. Bina kullanım sınıfı yapının deprem sonrası kullanımının önemini belirten sınıflandırma şeklidir. Beton sınıfı olarak C25/30, donatı olarak S420 kullanılmıştır.

Tünel kalıp sistemi modelinin kalıp planı ve 3 boyut görünümü Şekil 4.1'de ve Şekil 4.2'de verildiği gibidir:



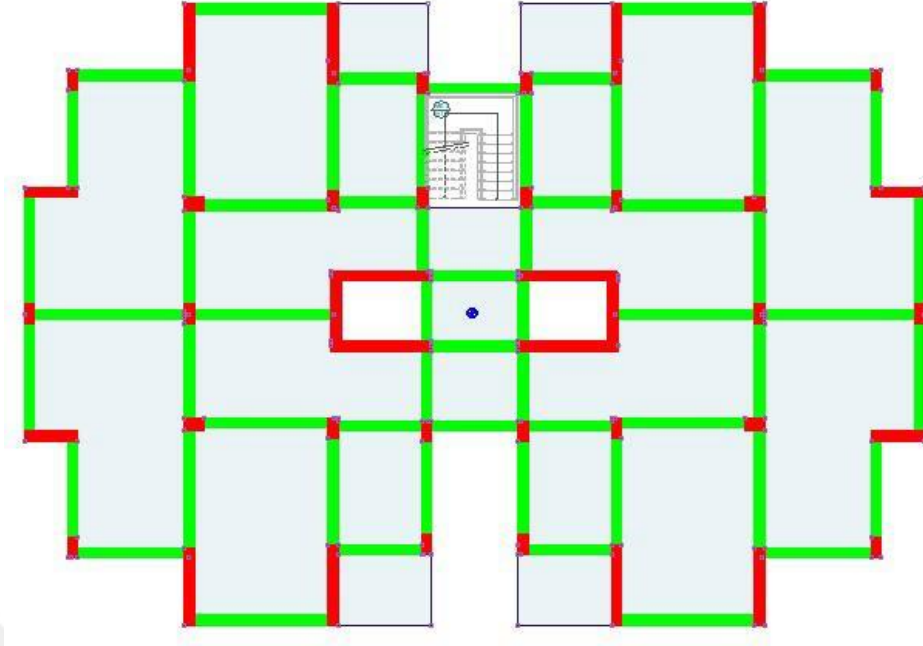
**Şekil 4.1** Tünel kalıp sistemi kalıp planı



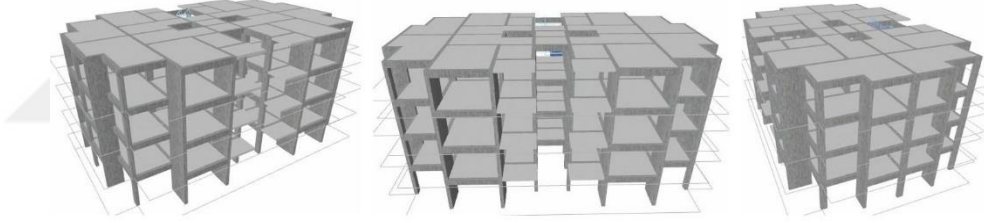
**Şekil 4.2** Tünel kalıp sistemi 3 boyut görünümü

Tünel kalıp sistemi ile oluşturulan modelde kalıp planında da görüldüğü üzere yalnızca perdeler kullanılmış olup, kolon ve kiriş gibi yapı elemanları kullanılmamıştır. Yapı zemin + 3 kat olarak tasarlanmıştır. Kat yüksekliği 3 metre, yapının toplam yüksekliği ise 12 metredir. Yapının oturum alanı 447,5 m<sup>2</sup>'dir. Perde kalınlıkları 30 ile 35 cm olarak seçilmiştir. Döşeme yüksekliği 30 cm'dir.

Kirişli döşeme sistemi olarak tasarlanılan modelin kalıp planı ve 3 boyut görünümü Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de aşağıdaki gibidir:



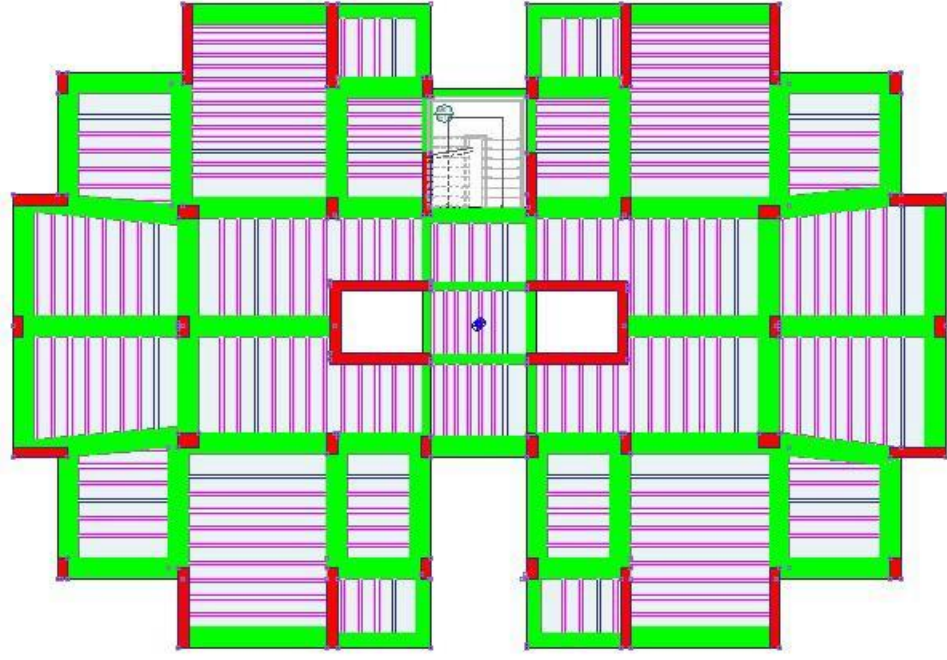
**Şekil 4.3** Kirişli döşeme sistemi kalıp planı



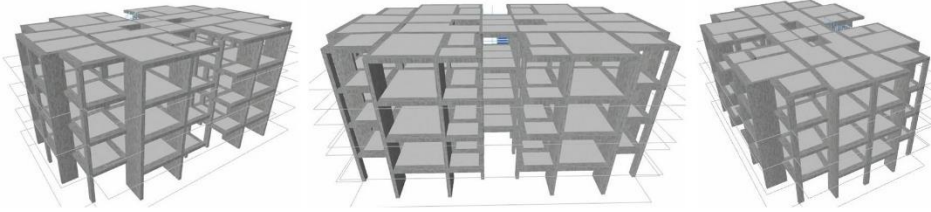
**Şekil 4.4** Kirişli döşeme sistemi 3 boyut görünümü

Kirişli döşeme sistemi ile oluşturulan modelde kalıp planında da görüldüğü üzere kolonlar, perdeler ve kirişler kullanılmıştır. Yapı zemin + 3 kat olarak tasarlanmıştır. Kat yüksekliği 3 metre, yapının toplam yüksekliği ise 12 metredir. Yapının oturum alanı 447,5 m<sup>2</sup>'dir. Kolon kesit ölçüleri 30 cm x 60 cm ve 40 cm x 60 cm'dir. Perde kalınlıkları 30 cm olarak belirlenmiştir. Kiriş yüksekliği 50 cm, genişliği ise 30 cm'dir. Döşeme yüksekliği çoğunlukla 15 cm, büyük döşemelerde ise 20 cm'dir.

Asmolen döşeme sistemi olarak tasarlanılan modelin kalıp planı ve 3 boyut görünümü Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da aşağıdaki gibidir:



**Şekil 4.5** Asmolen döşeme kalıp planı



**Şekil 4.6** Asmolen döşeme sistemi 3 boyut görünümü

Asmolen döşeme sistemi ile oluşturulan modelde kalıp planında da görüldüğü üzere kolonlar, perdeler ve kirişler kullanılmıştır. Yapı zemin + 3 kat olarak tasarlanmıştır. Kat yüksekliği 3 metre, yapının toplam yüksekliği 12 ise metredir. Yapının oturum alanı 447,5 m<sup>2</sup>'dir. Kolon kesit ölçüleri 30 cm x 60 cm ve 40 cm x 60 cm'dir. Perde kalınlıkları 30 cm olarak belirlenmiştir. Kiriş yüksekliği 32 cm, genişliği 60 cm'dir. Döşeme kalınlığı 7 cm, döşeme dış yüksekliği 32 cm'dir.

Yukarıda verilen 3 modelin ZA, ZB, ZC, ZD, ZE zemin sınıfları için sismik izolatörlü ve ankastre mesnetli olarak analizleri yapılmış olup sonuçlar karşılaştırılmıştır. Konum olarak Kastamonu ili Abana ilçesi seçilmiştir. Seçilen konum 41.9742 enlemi ile 34.0214 boylamında bulunmaktadır (Şekil 4.7).



**Şekil 4.7** Kastamonu ili, Abana İlçesi, tez çalışmasına konu olan yapının konumu

Yerel zemin etki katsayıları TBDY 2018 Tablo 2.1 (Çizelge 4.1) ve Tablo 2.2’de (Çizelge 4.2) verilmiştir.

**Çizelge 4.1** TBDY 2018 tablo 2.1 kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

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

**Çizelge 4.2** TBDY 2018 tablo 2.2 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_1$					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Hesaplarda dikkate alınan 41.9742° Enlem, 34.0214° Boylam konumuna ait deprem parametreleri aşağıda verildiği gibidir.

$$S_s=0.372, S_1=0.131, PGA=0.160, PGV=10.901$$

Burada;

$S_s$  : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

$S_1$  : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

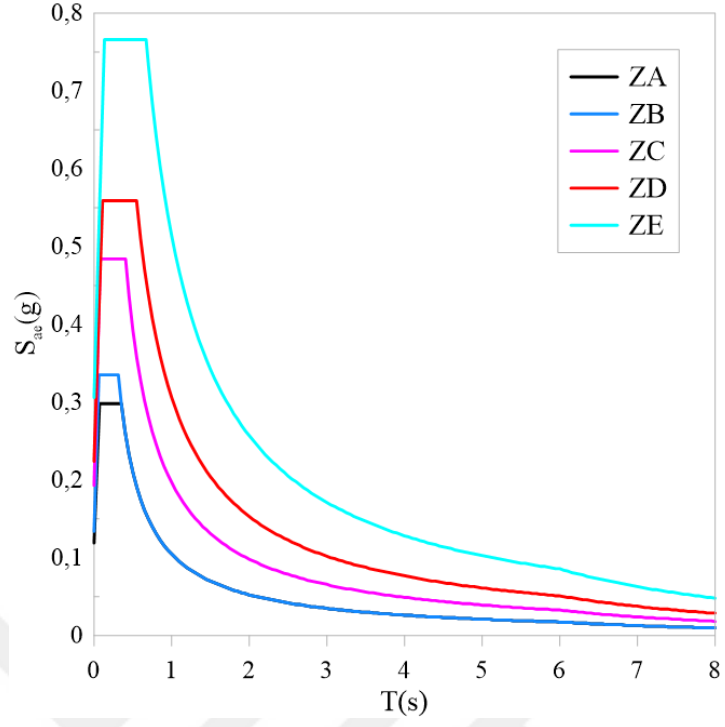
PGV : En büyük yer hızı [cm/sn] dir.

Konuma ait farklı zemin sınıflarındaki deprem parametre verileri Çizelge 4.3'de verildiği gibidir.

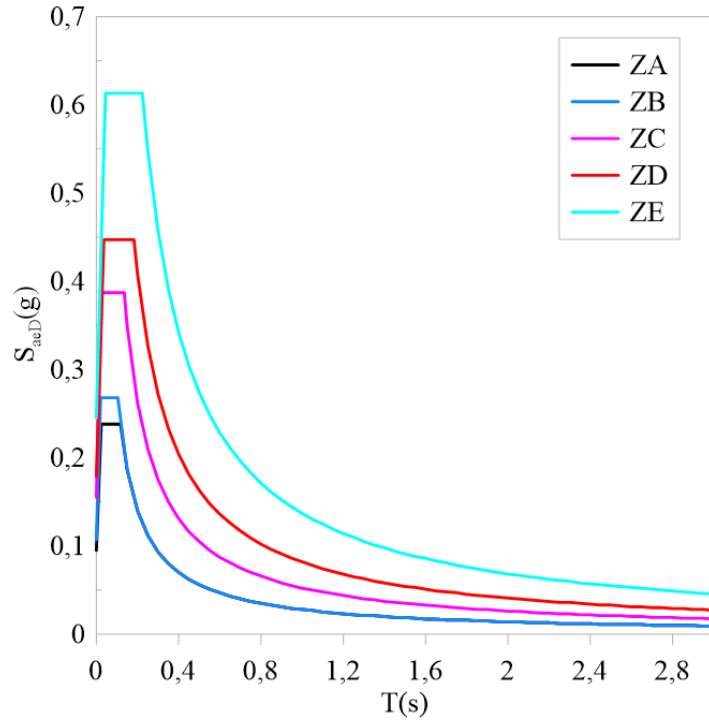
**Çizelge 4.3** Zemin sınıfına göre deprem parametre verileri

Zemin Sınıfı	$S_s$	$S_1$	PGA	PGV	$F_s$	$F_1$	$S_{DS}$	$S_{D1}$
<b>ZA</b>	0.372	0.131	0.160	10.901	0.800	0.800	0.298	0.105
<b>ZB</b>	0.372	0.131	0.160	10.901	0.900	0.800	0.335	0.105
<b>ZC</b>	0.372	0.131	0.160	10.901	1.300	1.500	0.484	0.197
<b>ZD</b>	0.372	0.131	0.160	10.901	1.502	2.338	0.559	0.306
<b>ZE</b>	0.372	0.131	0.160	10.901	2.058	3.921	0.766	0.514

Konuma ait ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarına ait yatay elastik tasarım spektrumu ve düşey elastik tasarım spektrumu Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verildiği gibidir.



Şekil 4.8 ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarına ait yatay elastik tasarım spektrumu



Şekil 4.9 ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarına ait düşey elastik tasarım spektrumu

Deprem izolatörleri zemin kat tabanında tüm kolon ve perdelerle tanımlanmıştır. Kolonlara 1 adet izolatör eklenirken perdelerle boyutlarına göre 2 veya 3 izolatör tanımlanmıştır. İzolatör türü olarak GZP-300 seçilmiştir. Tünel kalıp izolatörlü sistemde 68 adet, kirişli izolatörlü sistemde 56 adet, asmolen döşemeli izolatörlü sistemde ise 64 adet GZP-300 deprem izolatörü kullanılmıştır. Analizlerde hareketli yük (Q) 2 kN/m<sup>2</sup>, kaplama yükü (G) 1,7 kN/m<sup>2</sup> olarak kullanılmıştır. G sabit yük değeri kullanılan döşeme türü ve döşeme kalınlığına göre değişmektedir.

Modal analiz, inceleme altına alınan bir yapının dinamik davranış parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan bir yöntem olarak adlandırılmaktadır. Bir yapının dinamik davranış parametreleri ise; doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları olarak sıralanmaktadır (Celep, 2014).

Mod birleştirme yönteminde maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir (Turan, 2012).

Periyot yapının harekete başladığı an ile tekrardan ilk haline dönmesi arasındaki süreyi ifade eder. Periyodun birimi saniyedir (s) ve T ile gösterilir. Frekans ise sürekli olarak yapılan hareketin birim zamanda yaptığı tekrarın sayısıdır. Frekansın birimi Hertz'dir (Hz), sembolü ise f olarak gösterilir. Periyot ile frekans Denklem (4.1)' de görüldüğü üzere ters orantılıdır.

$$T = \frac{1}{f} \quad (4.1)$$



## **5. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Yapılan analizler incelendiğine izolotörlü yapıların periyot değerlerinde artış olduğu görülürken frekans değerlerinin de ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Göreli kat ötelemelerine bakıldığında izolotörlü modellerde göreli kat ötelemesinin azaldığı görülmektedir.

### **5.1 Periyot Değerlerinin Karşılaştırılması**

Farklı taşıyıcı sistem türleri için izolotörlü ve izolotörsüz olarak tasarlanan aynı zamanda 5 zemin sınıfı için da çözümlenen konut türü yapıya ait modal analiz sonuçları, periyot ve frekansları aşağıdaki tablolarda verildiği gibidir.

Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te sırasıyla tünel kalıp sistem, asmolen döşemeli sistem ve kirişli döşeme sistemi için sismik izolatörlü ve sismik izolatörsüz yapının ilk 6 modunda periyot ve frekans değerleri verilmektedir. Çizelgelerden de görüleceği üzere sismik izolatörler yapı periyotlarının artmasına ve bu sayede yapıya etkiyen deprem yüklerinin azalmasına neden olmaktadır. İzolatörlü ve izolatörsüz 3 ayrı sistemin hakim periyotları karşılaştırıldığında ise büyükten küçüğe sırasıyla tünel kalıp sistem, asmolen döşeme sistemi ve kirişli döşeme sisteminde görülmektedir.

**Çizelge 5.1** Tünel kalıp sistem modal analiz sonuçları

Mod	İzolatörsüz Model		İzolatörlü Model	
	Periyot (s)	Frekans (Hz)	Periyot (s)	Frekans (Hz)
1	0,44612	2,24154	1,85723	0,53844
2	0,43161	2,31690	1,82248	0,54870
3	0,43115	2,31938	1,82180	0,54891
4	0,42759	2,33869	0,28441	3,51599
5	0,16341	6,11955	0,12807	7,80794
6	0,12336	8,10640	0,11636	8,59394

**Çizelge 5.2** Kirişli döşeme sistemi modal analiz sonuçları

Mod	İzolatörsüz Model		İzolatörlü Model	
	Periyot (s)	Frekans (Hz)	Periyot (s)	Frekans (Hz)
1	0,38343	2,60802	1,83978	0,54354
2	0,35259	2,83616	1,78937	0,55886
3	0,31607	3,16385	1,75189	0,57081
4	0,10250	9,75617	0,22837	4,37886
5	0,08582	11,65186	0,20746	4,82017
6	0,07933	12,60518	0,13111	7,62692

**Çizelge 5.3** Asmolen döşeme modal analiz sonuçları

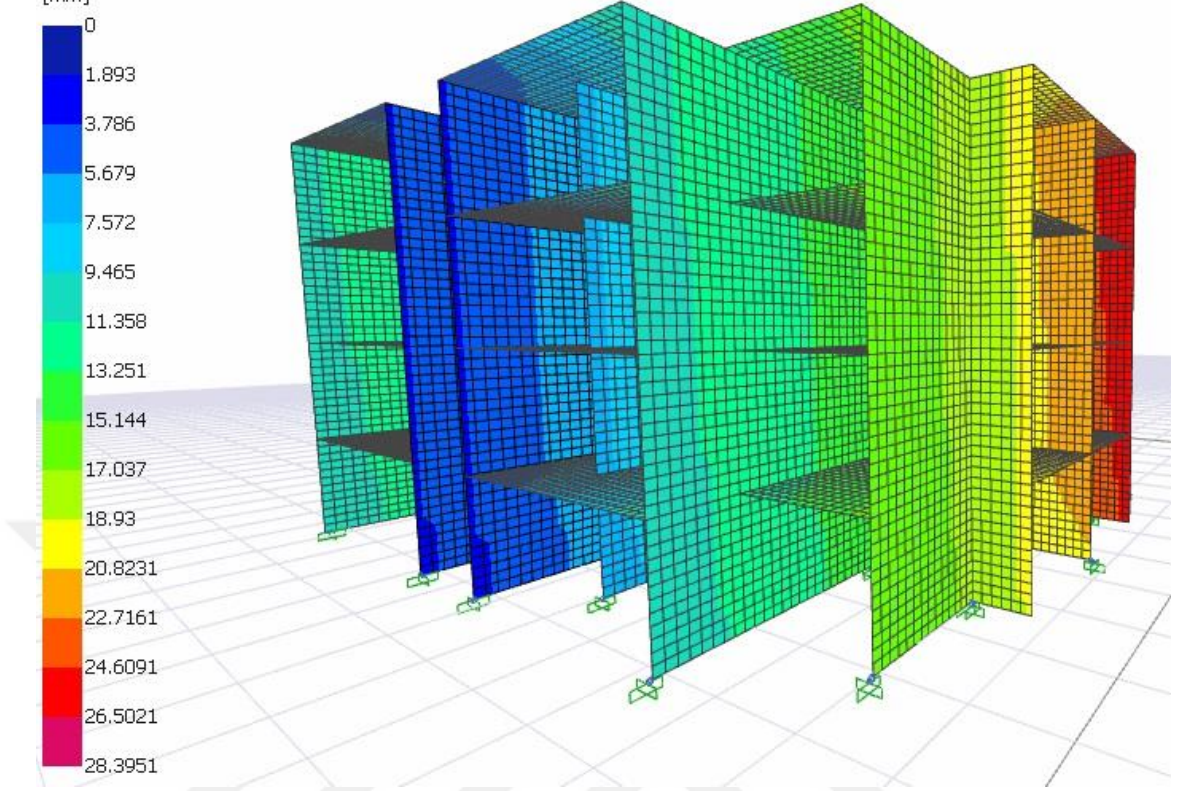
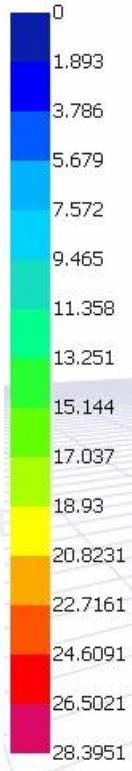
Mod	İzolatörsüz Model		İzolatörlü Model	
	Periyot (s)	Frekans (Hz)	Periyot (s)	Frekans (Hz)
1	0,41719	2,39701	1,85658	0,53863
2	0,38097	2,62486	1,79457	0,55724
3	0,32280	3,09788	1,72756	0,57885
4	0,10652	9,38777	0,26657	3,75136
5	0,08914	11,21854	0,21336	4,68694
6	0,07886	12,68007	0,12756	7,83927

Çizimi yapılan modellerin modal analiz sonuçları incelendiğinde izolatörlü modelin periyot değerlerinin izolatörsüz modele göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Periyot ve frekans değerlerinin ters orantılı olduğu da göz önünde bulundurularak ve verilere bakıldığında izolatörlü modelde frekansın azaldığı görülmektedir.

ZC zemin sınıfında modellenmiş sismik izolatörlü 3 ayrı modelin mod şekilleri ve periyotları Şekil 5.1 – Şekil 5.9’da verildiği gibidir.

Deformasyon : Mod 1 / 6 - T = 1.857234, f = 0.538435 - Modal - Deneme Sürümü

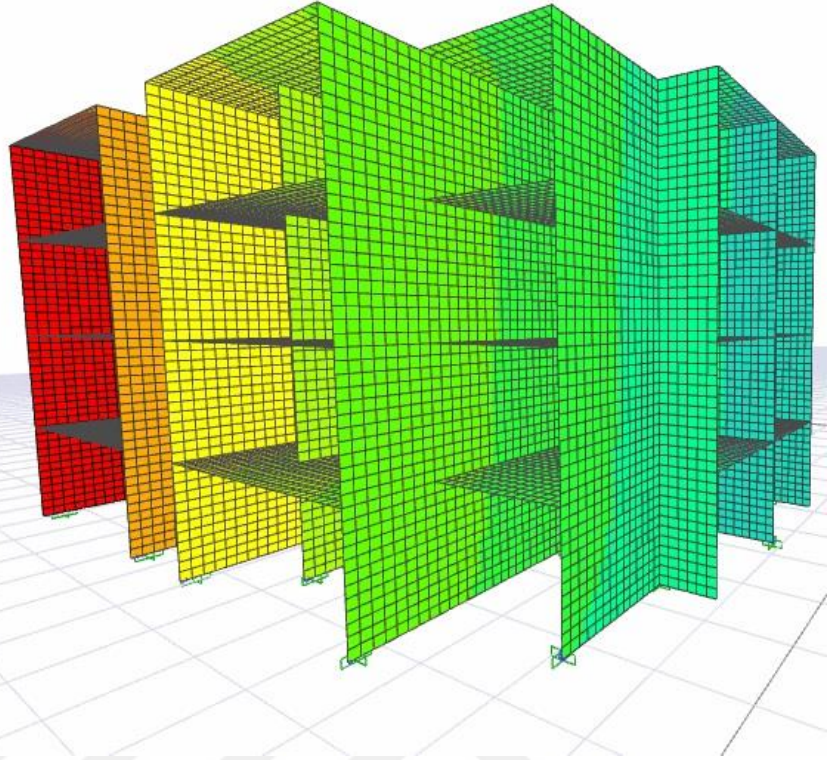
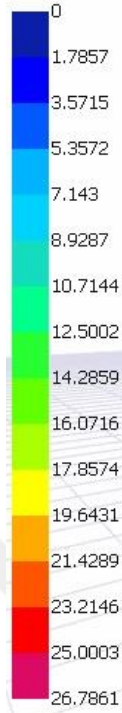
[mm]



**Şekil 5.1** Tünel kalıp sistem sismik izolatörlü model 1. Mod şekli

Deformasyon : Mod 2 / 6 - T = 1.822484, f = 0.548702 - Modal - Deneme Sürümü

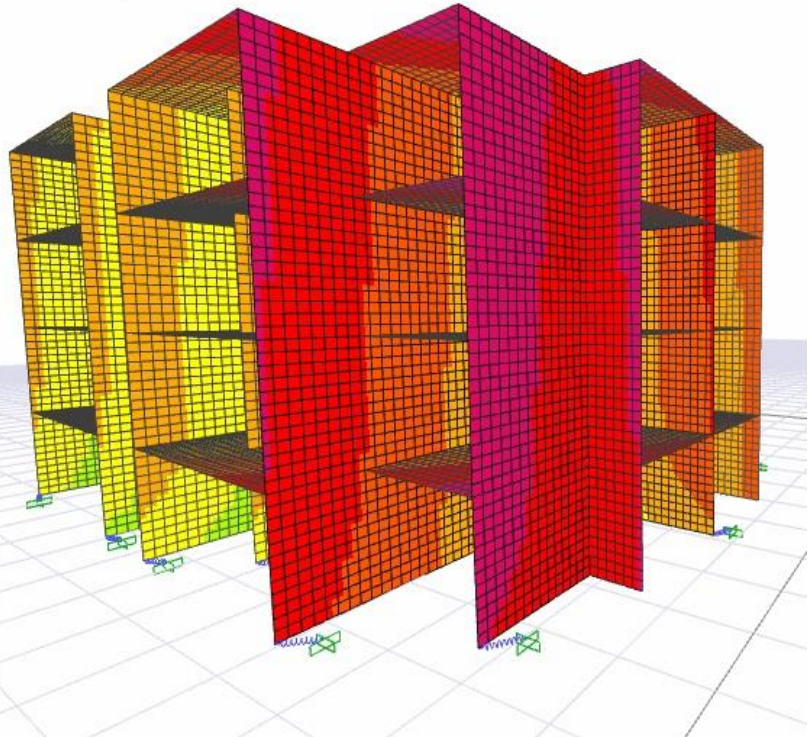
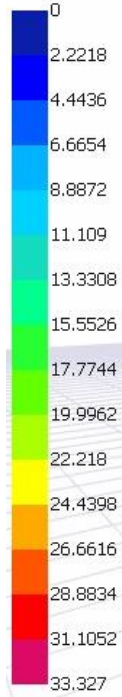
[mm]



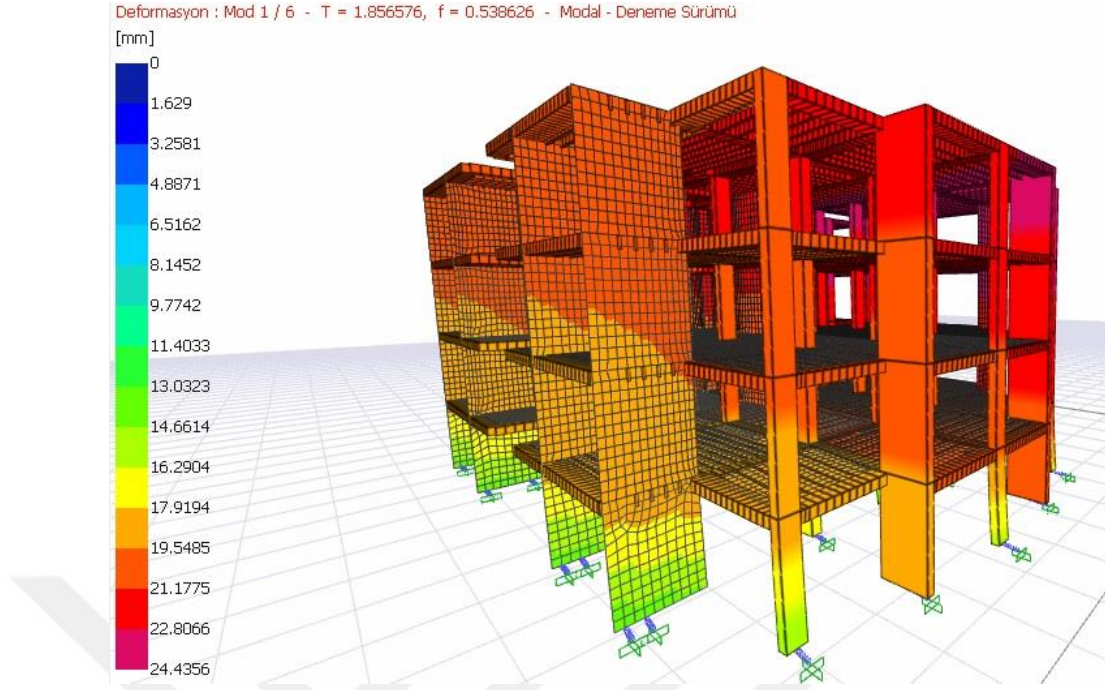
Şekil 5.2 Tünel kalıp sistem sismik izolatörlü model 2. Mod şekli

Deformasyon : Mod 3 / 6 - T = 1.821796, f = 0.548909 - Modal - Deneme Sürümü

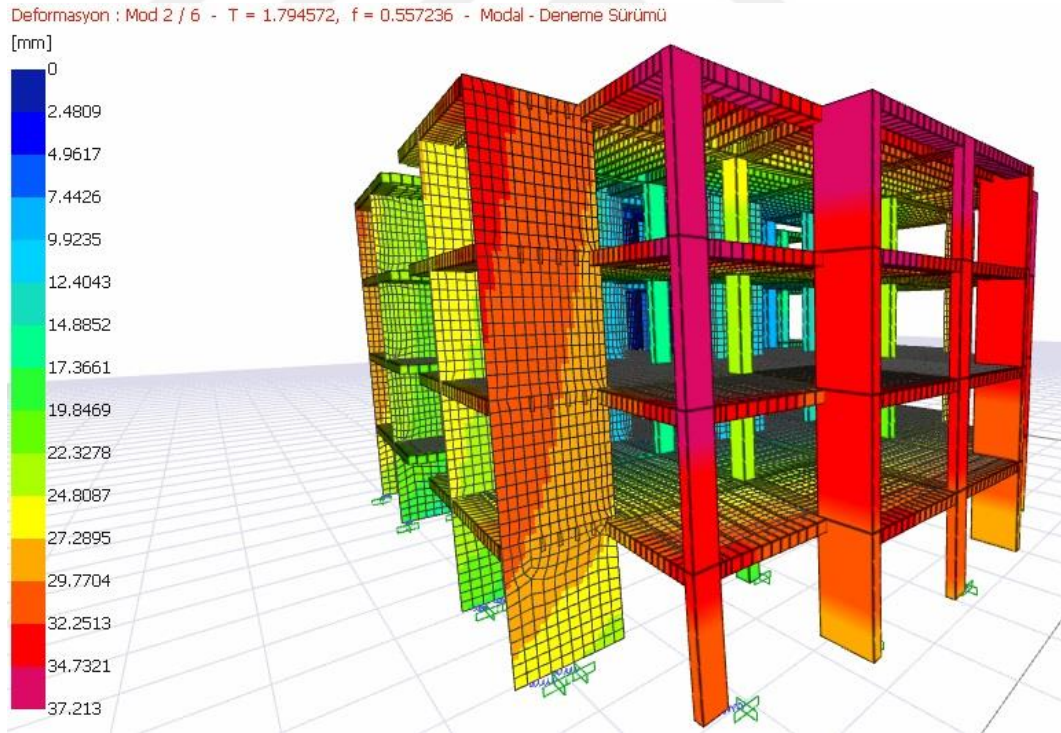
[mm]



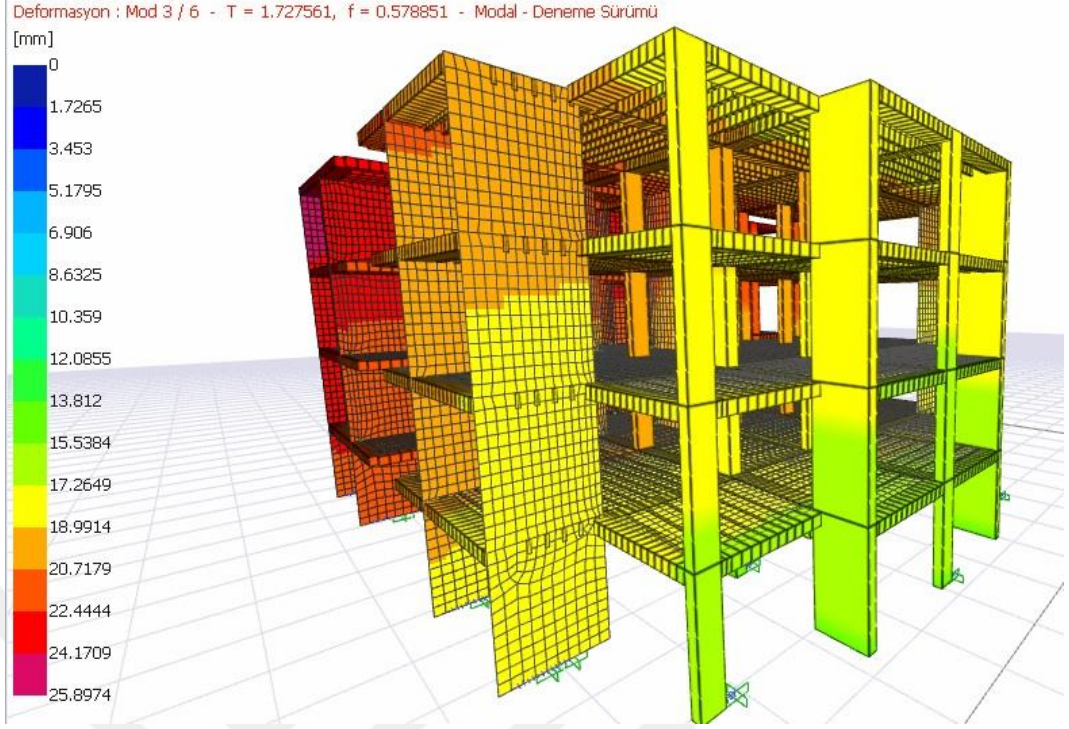
Şekil 5.3 Tünel kalıp sistem sismik izolatörlü model 3. Mod şekli



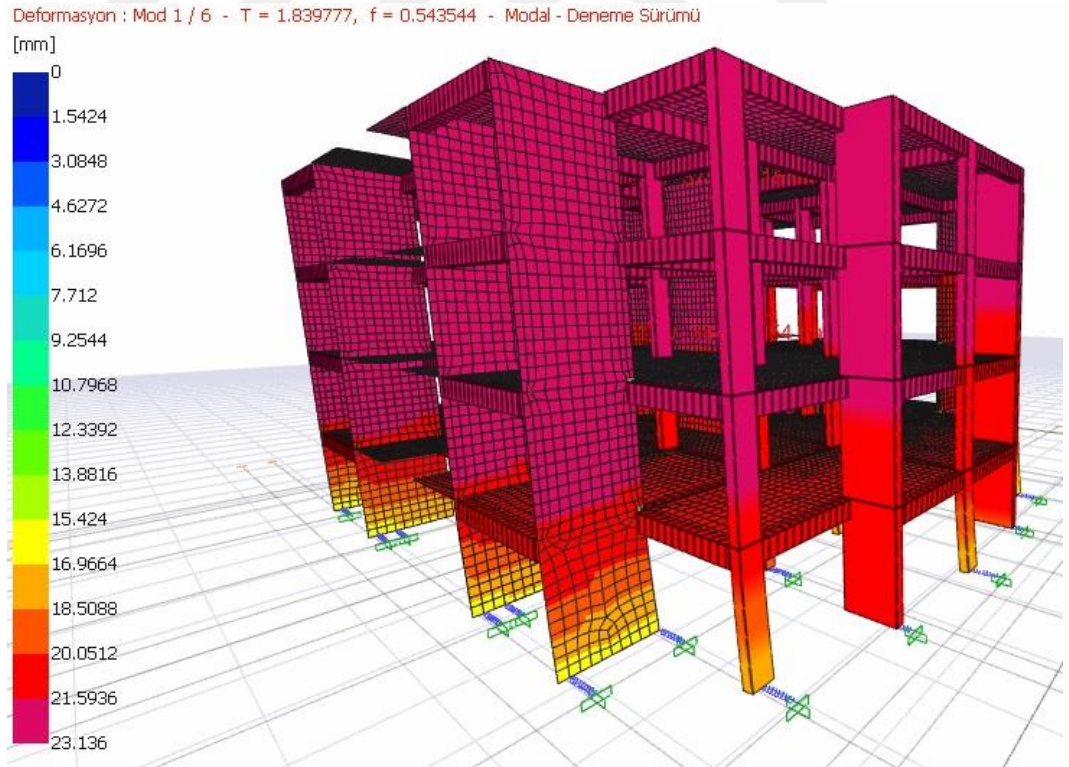
**Şekil 5.4** Asmolen döşeme sismik izolatörlü model 1. Mod şekli



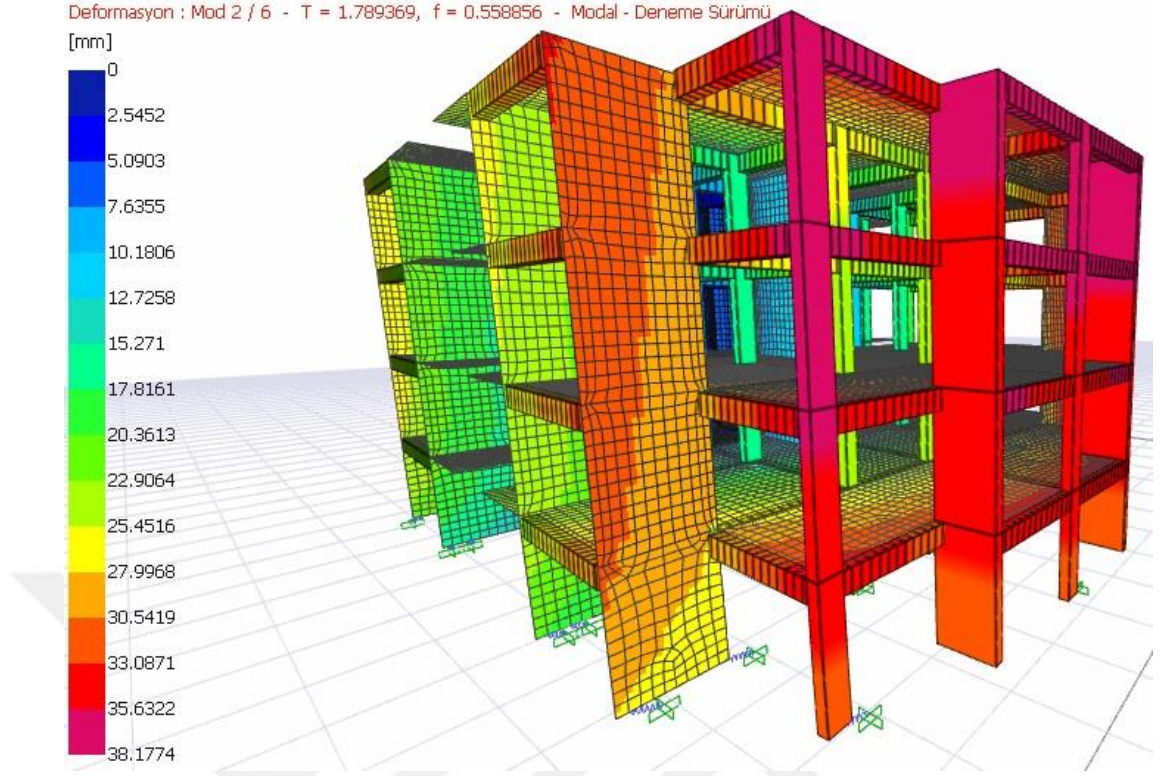
**Şekil 5.5** Asmolen döşeme sismik izolatörlü model 2. Mod şekli



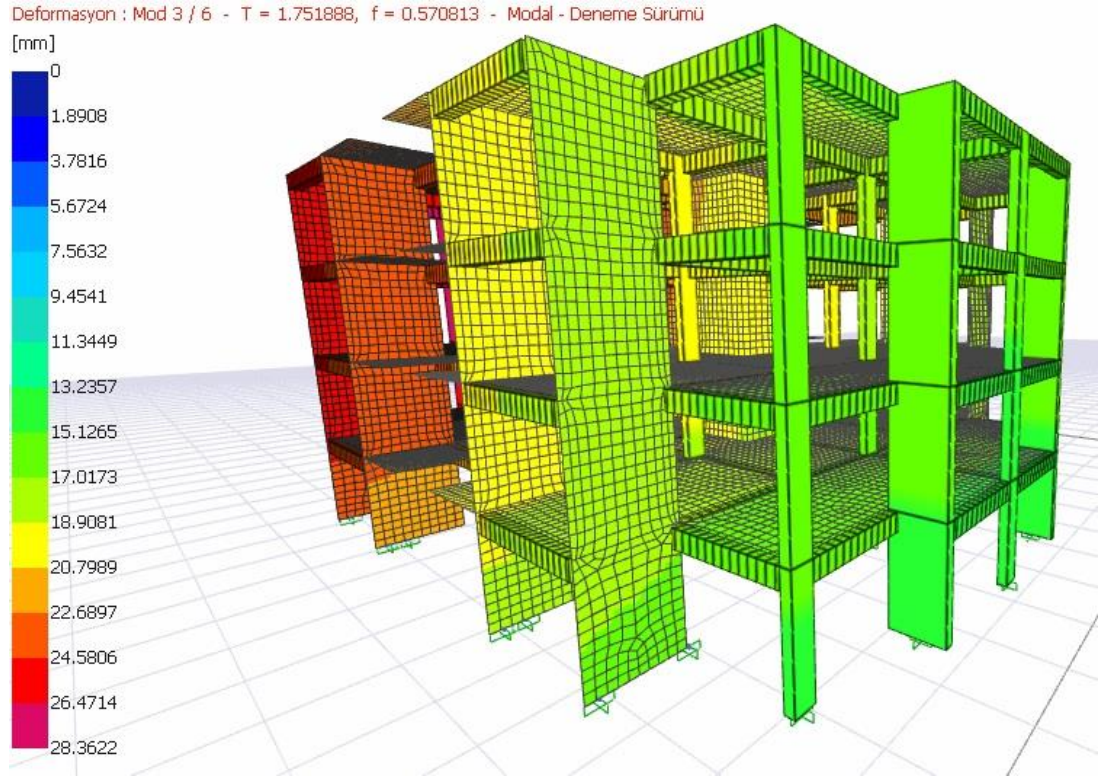
Şekil 5.6 Asmolen döşeme sismik izolatörlü model 3. Mod şekli



Şekil 5.7 Kirişli döşeme sistemi sismik izolatörlü model 1. Mod şekli



**Şekil 5.8** Kirişli döşeme sistemi sismik izolatörlü model 2. Mod şekli



**Şekil 5.9** Kirişli döşeme sistemi sismik izolatörlü model 3. Mod şekli

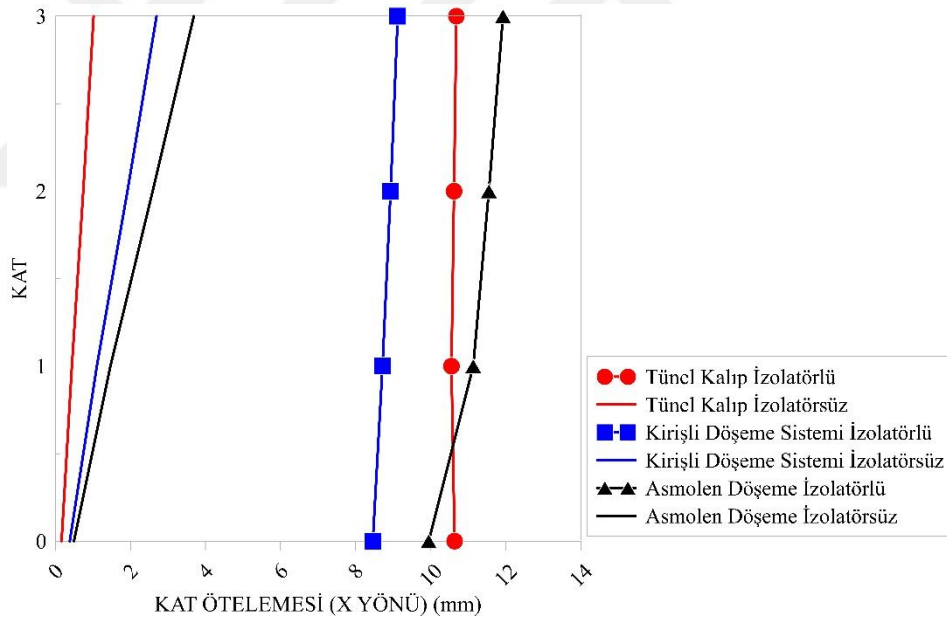
Oluşturulan modellerin mod şekilleri incelendiğinde periyot değerlerindeki farkın modellerin taşıyıcı sistemlerine bağlı olarak değişen ağırlıkları ve rijitliklerine bağlı olduğu görülmektedir.

Sismik izolatör kullanılan modellerde periyodun artmasının sebebi izolatörün temel ile yapının gövdesi arasında bulunarak deprem kuvvetinin sönümlenmesidir.

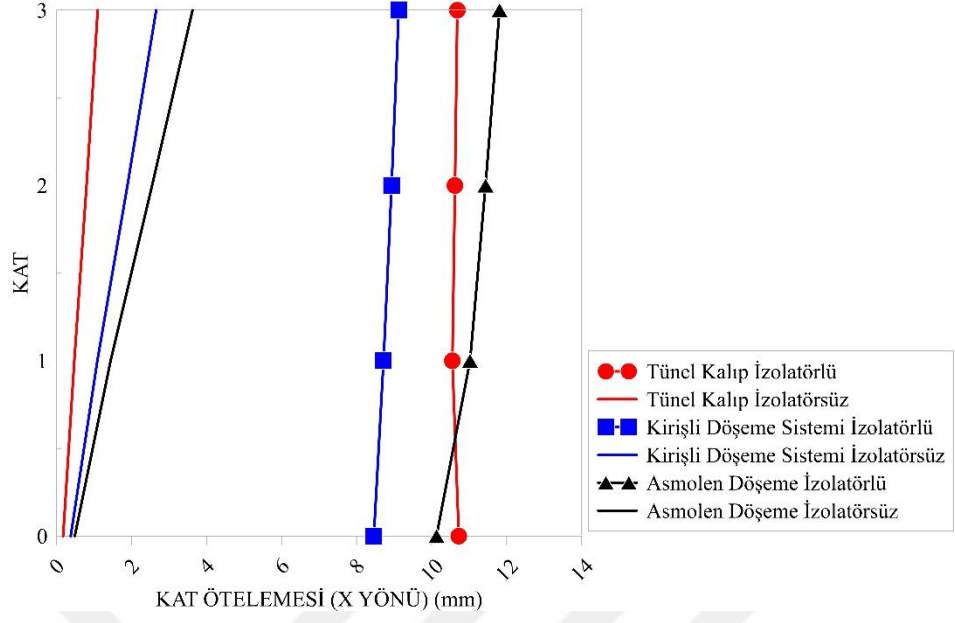
Farklı zemin sınıflarına göre modellerin periyot verileri kıyaslandığında ise ZA zemin sınıfından ZE zemin sınıfına gidildikçe periyodun düştüğü görülmektedir.

## 5.2 Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması

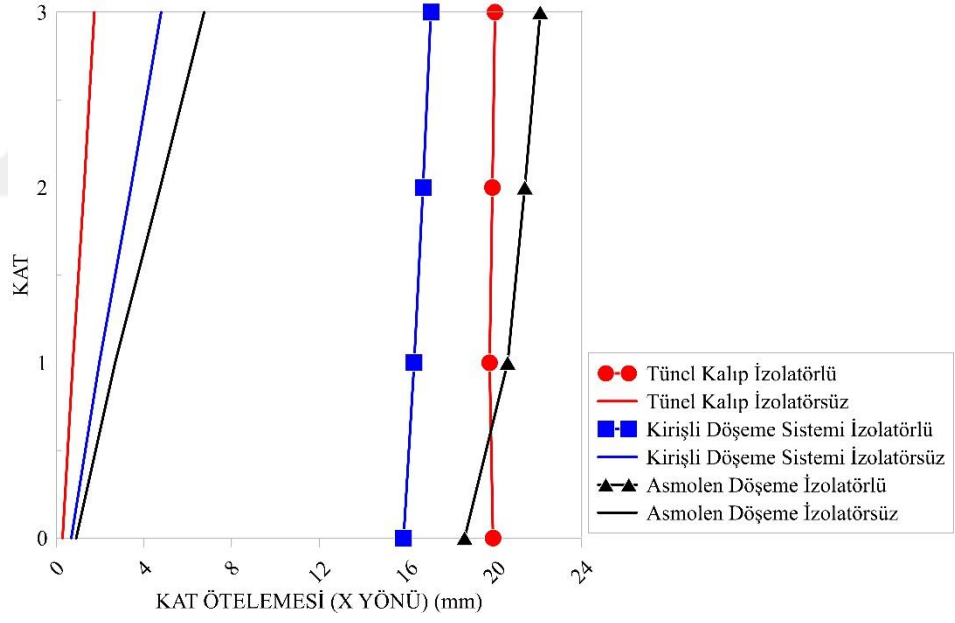
Tasarlanan modellerin X yönündeki kat ötelemelerinin değişimi Şekil 5.10-Şekil 5.14’te verildiği gibidir:



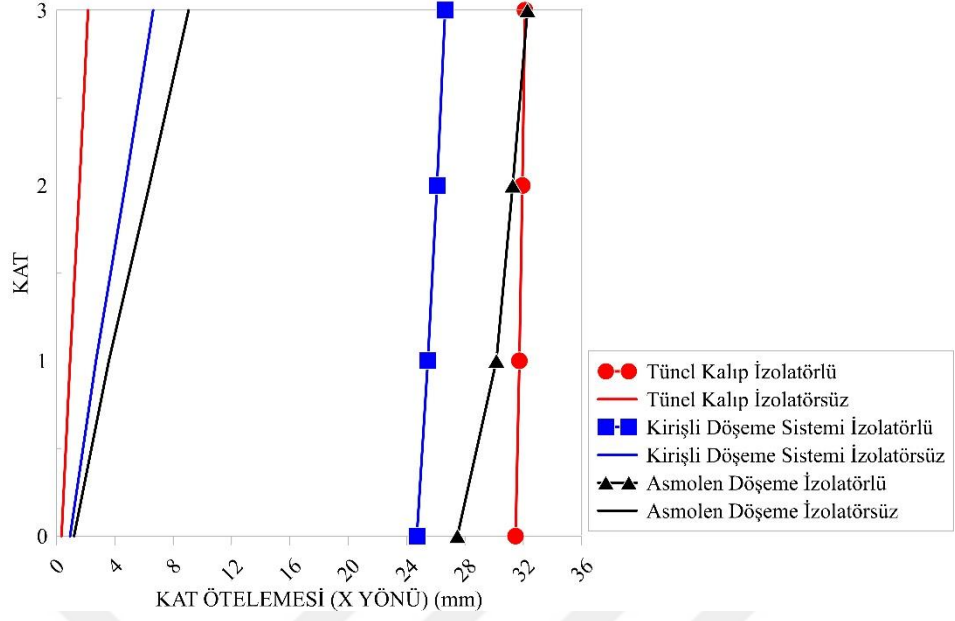
Şekil 5.10 ZA zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri



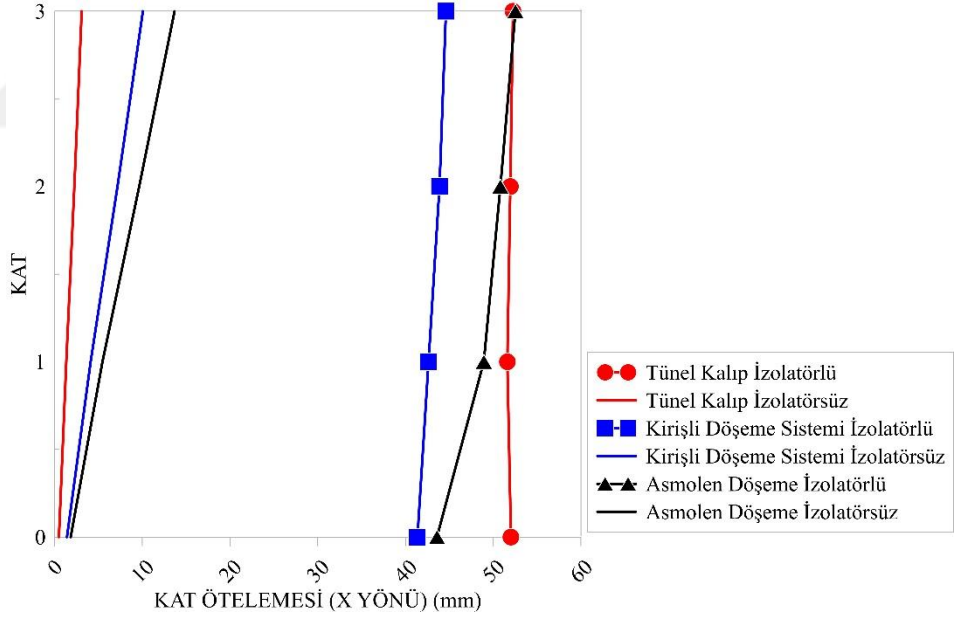
Şekil 5.11 ZB zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri



Şekil 5.12 ZC zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri



Şekil 5.13 ZD zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri

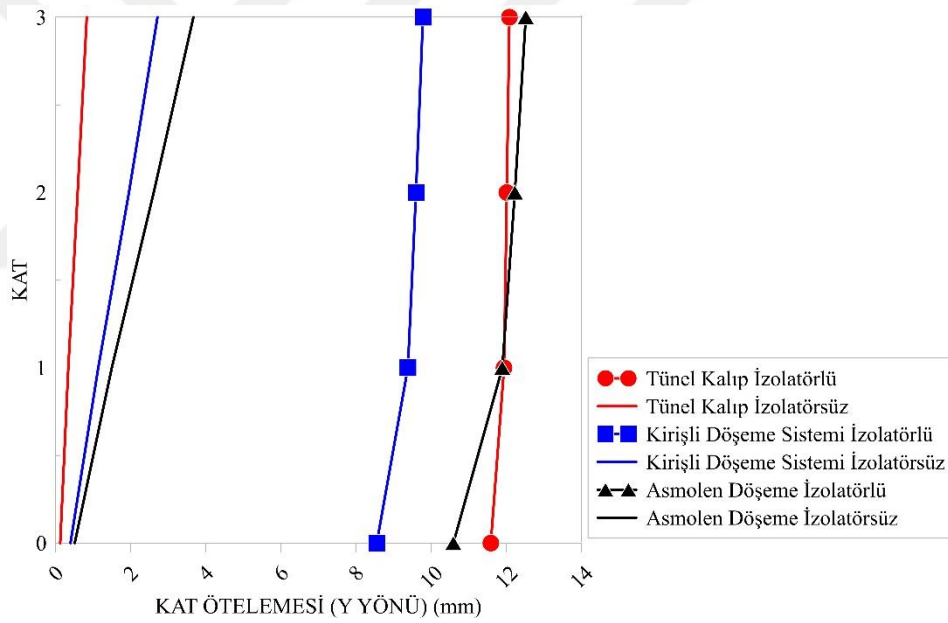


Şekil 5.14 ZE zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri

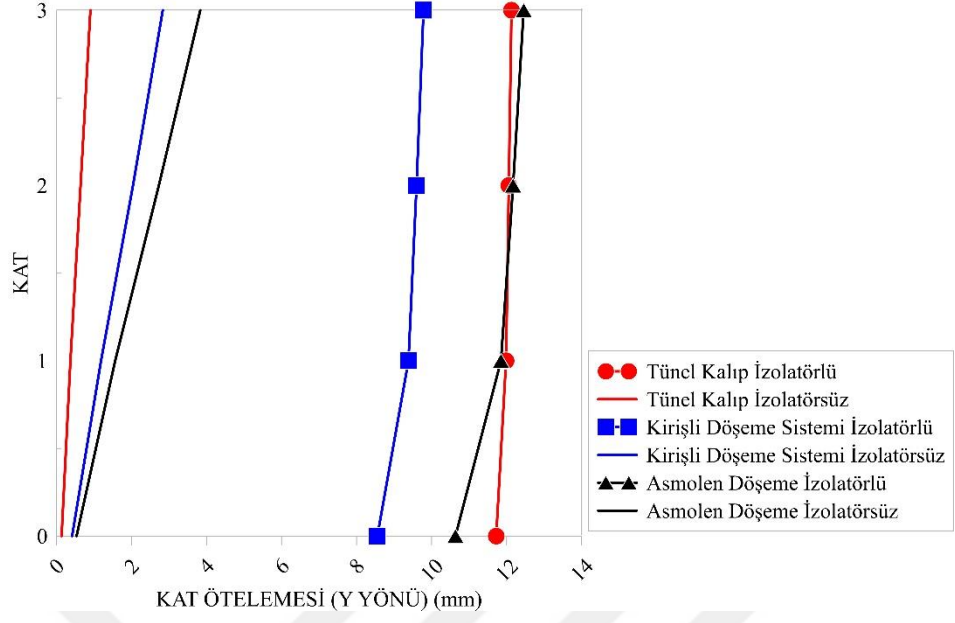
Şekil 5.10-Şekil 5.14'ten görüleceği üzere, izolatörlü modellerin kat ötelemeleri izolatsız modellere oranla oldukça fazla olmasına karşın, yapı bir bütün halinde öteleme yapmakla beraber izolatörlü modellerde görelî kat ötelemeleri izolatsız modellere oranla oldukça azalmaktadır. Farklı yapı sistemlerinin davranışı

irdelendiğinde ise taşıyıcı sistemi perdelerden oluşan tünel kalıp sistem diğer sistemlere oranla deprem yüklerine karşı daha rijit bir davranışı olduğundan kat ötelemelerinin izolatörün konumlandığı zemin katta daha fazla olduğu sonra yapı rijitliği nedeniyle bir miktar azaldığı, yapı ağırlığının büyük bir bölümünü döşemeler seviyesinde bulunduran asmolen döşemeli sistemin görece kat ötelemelerinin daha yüksek olduğu, rijitliğin orantılı dağıldığı ve daha hafif olan kirişli döşeme sisteminin izolatörsüz sistemlerde asmolen sisteme oranla daha az öteleme yapmakla beraber izolatörlü sistemlerde en düşük ötelemelere sahip olduğu görülmektedir.

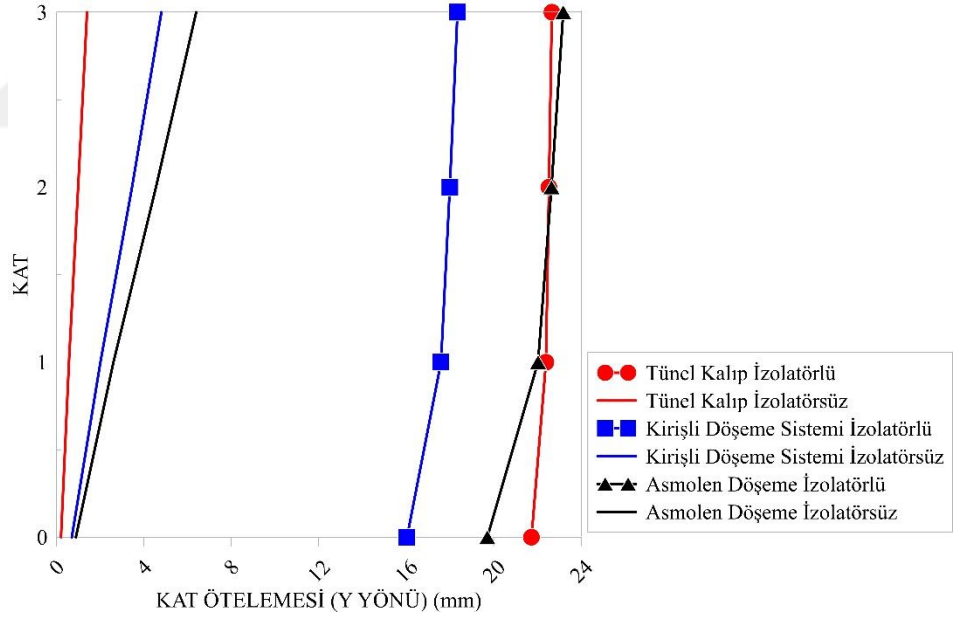
Tasarlanan modellerin Y yönündeki kat ötelemelerinin değişimi Şekil 5.15-Şekil 5.19’da verildiği gibidir:



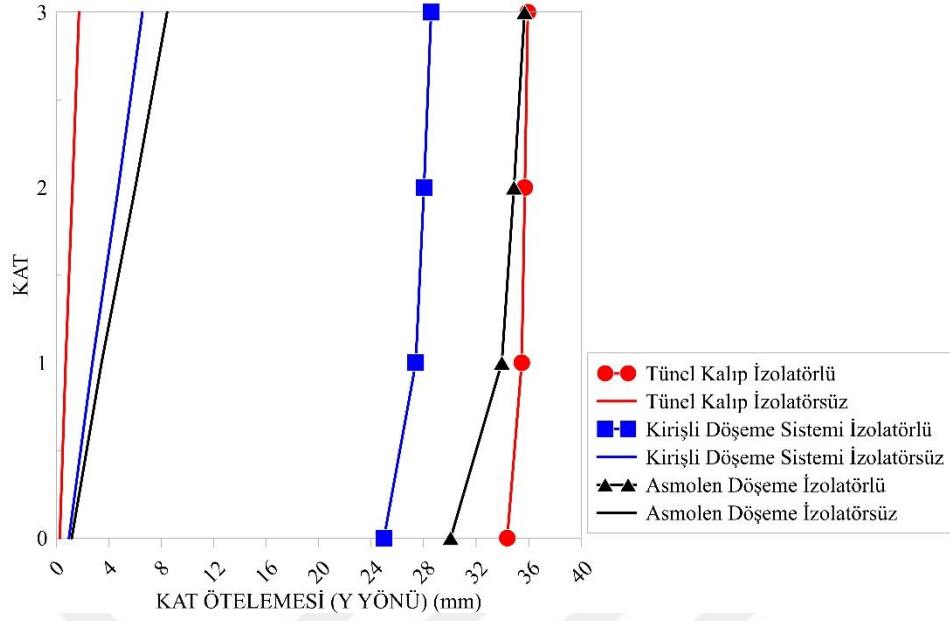
Şekil 5.15 ZA zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri



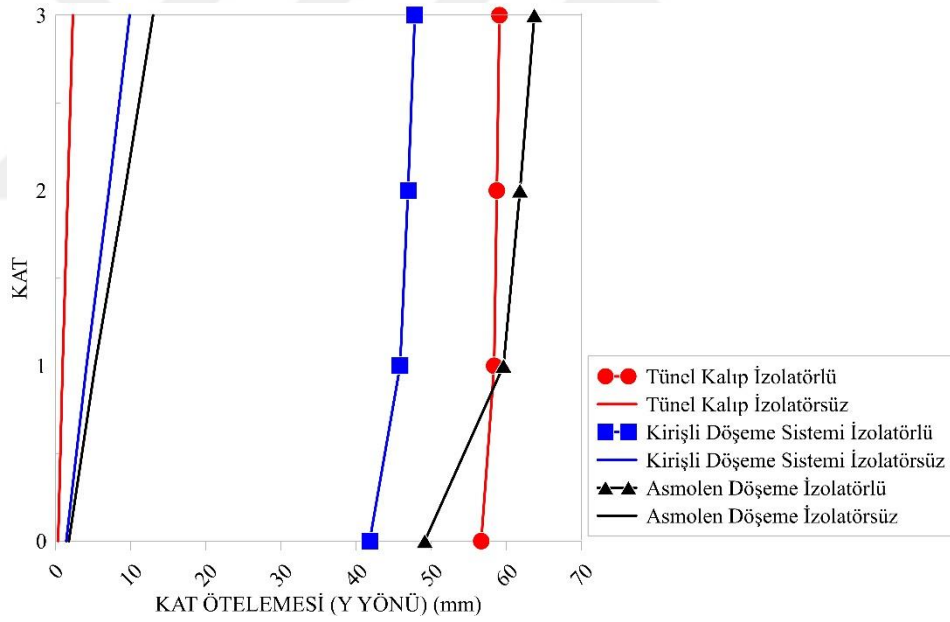
Şekil 5.16 ZB zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri



Şekil 5.17 ZC zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri



**Şekil 5.18** ZD zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri

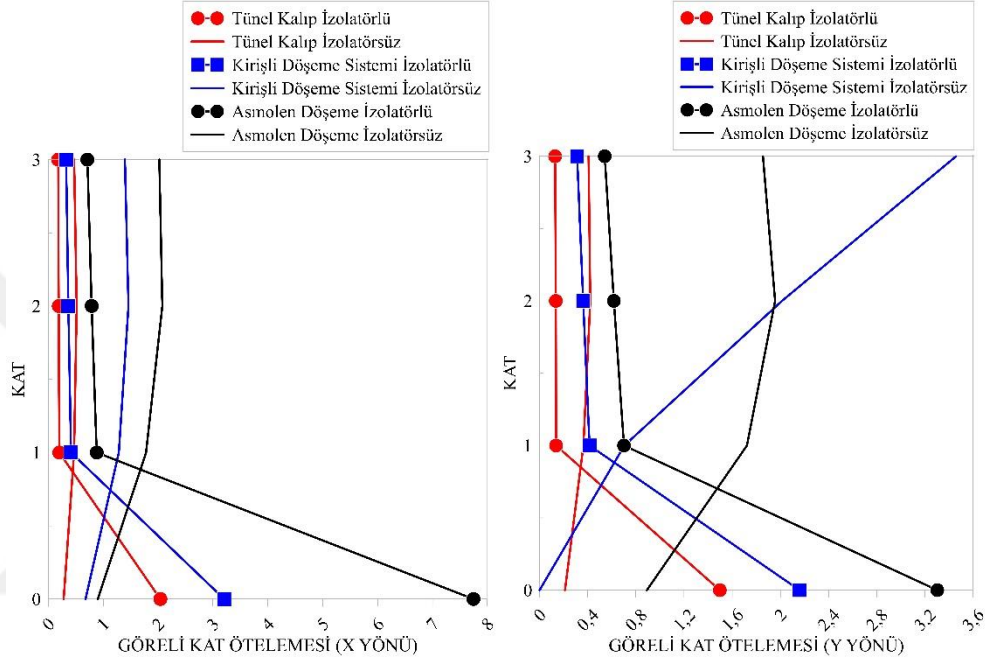


**Şekil 5.19** ZE zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri

Şekil 5.15-Şekil 5.19’da Y yönündeki kat ötelemeleri incelendiğinde tüm sistemlerde izolatörlü ve izolatörsüz modellerin kat öteleme değerlerinin X yönündeki değerlere oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni tasarımda taşıyıcı sistemde iki yönde toplam taşıyıcı kesit (kolon /perde) uzunluklarının değişmesidir. Kat ötelemelerinin değişimi ise X yönü ile benzer olmakla beraber Y yönünde izolatörlü

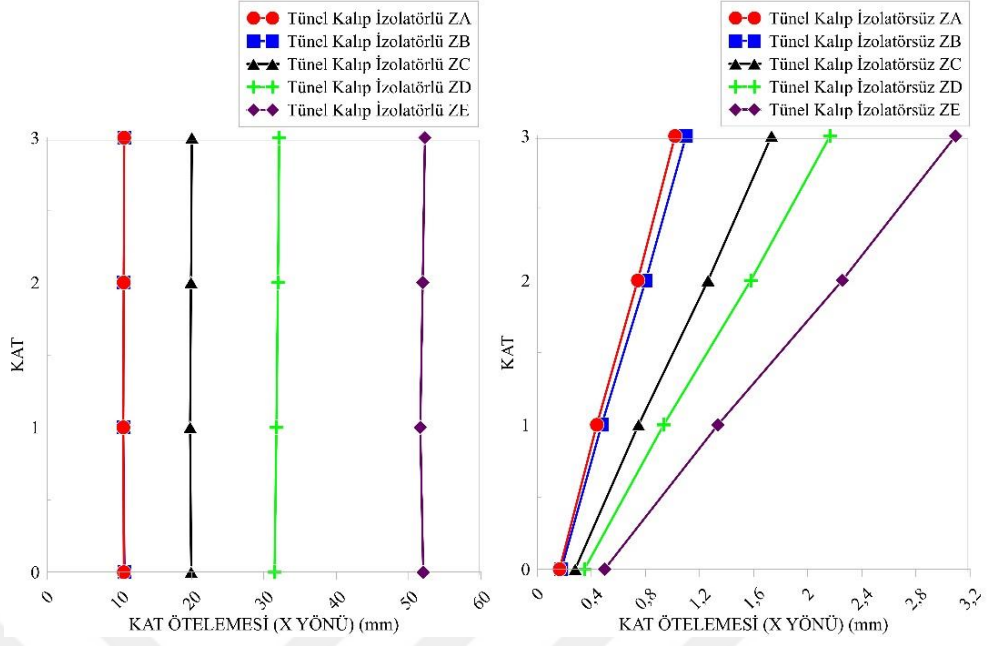
sistemlerde en büyük kat ötelemeleri 1. kat seviyesinden itibaren asmolen döşeme sisteminde gerçekleşmektedir.

Modellerin ZC zemin sınıfındaki görelî kat ötelemelerinin izolatörlü ve izolatörsüz değişimi Şekil 5.20’de verilmektedir.

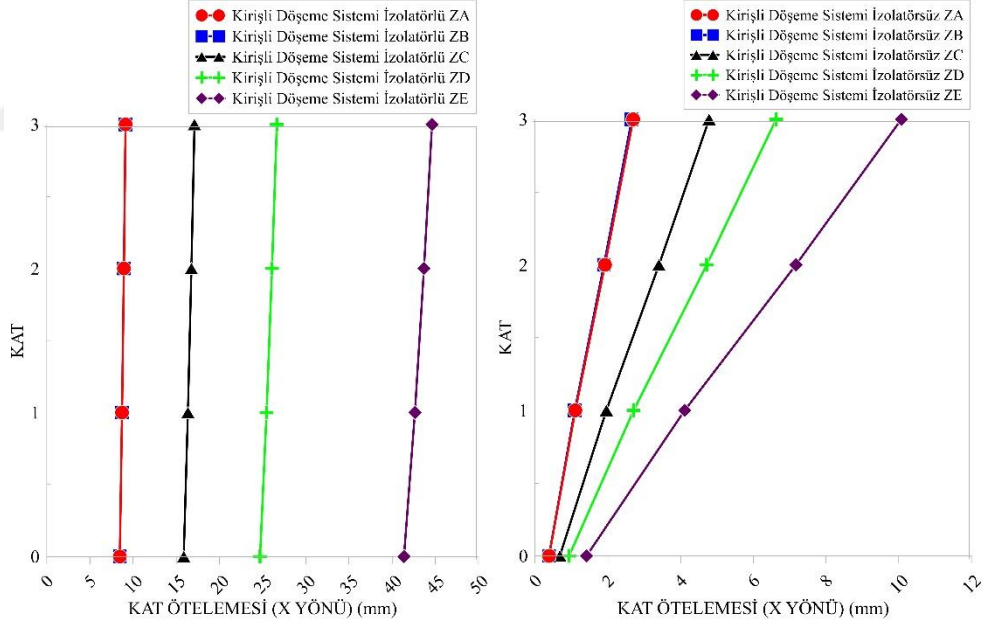


**Şekil 5.20** ZC zemin sınıfında X ve Y yönünde görelî kat ötelemeleri

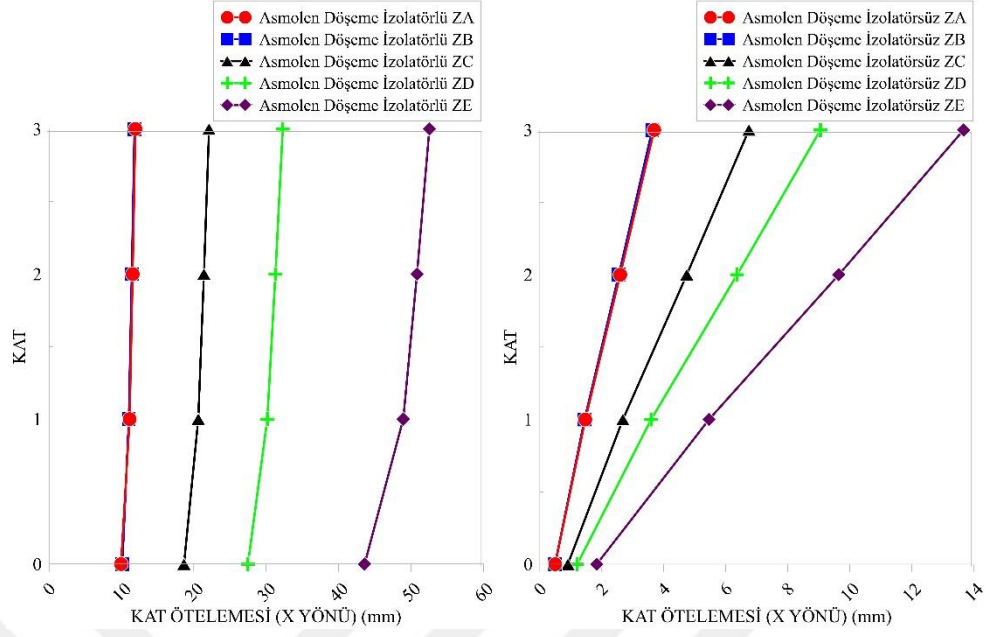
Aynı tür yapı sistemlerinin kat ötelemelerinin farklı zemin sınıfları ile değişiminin karşılaştırılması ise Şekil 5.21- Şekil 5.26’da verilmektedir.



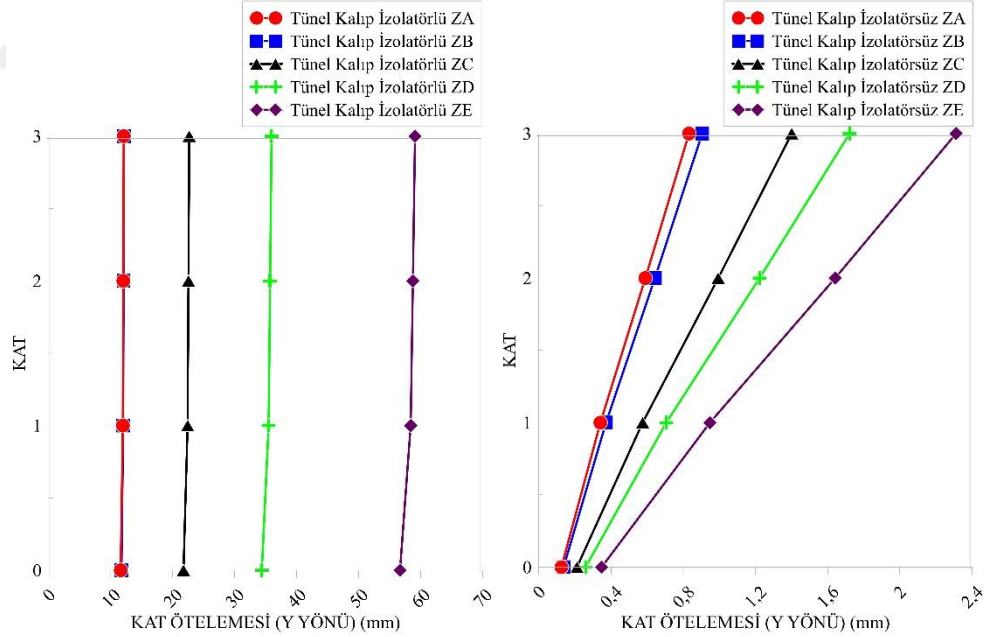
Şekil 5.21 İzolatörlü ve izolatörsüz tünel kalıp sisteminin 5 farklı zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri



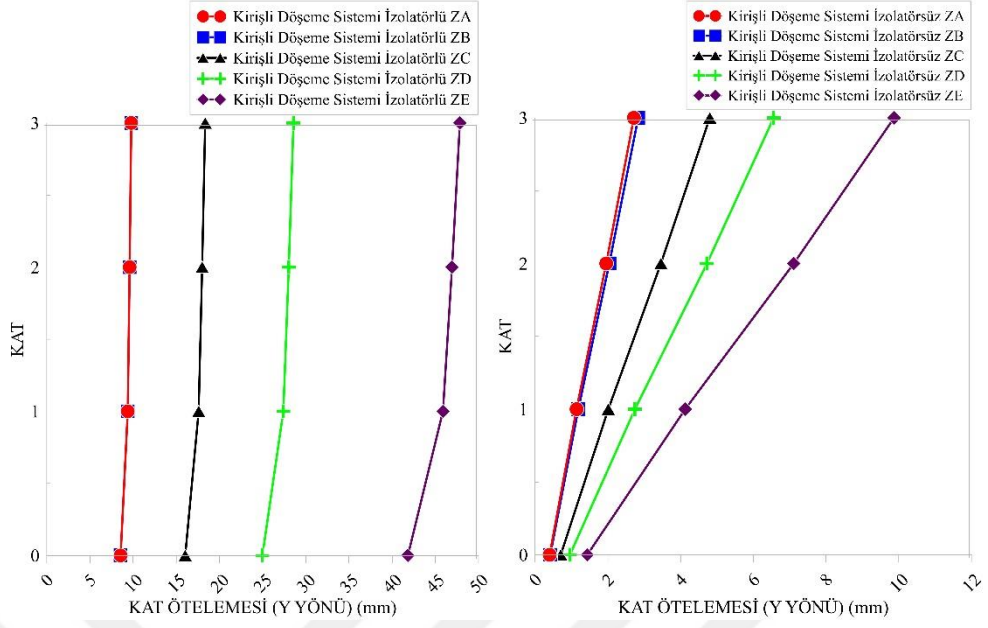
Şekil 5.22 İzolatörlü ve izolatörsüz kirişli döşeme sistemi sisteminin 5 farklı zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri



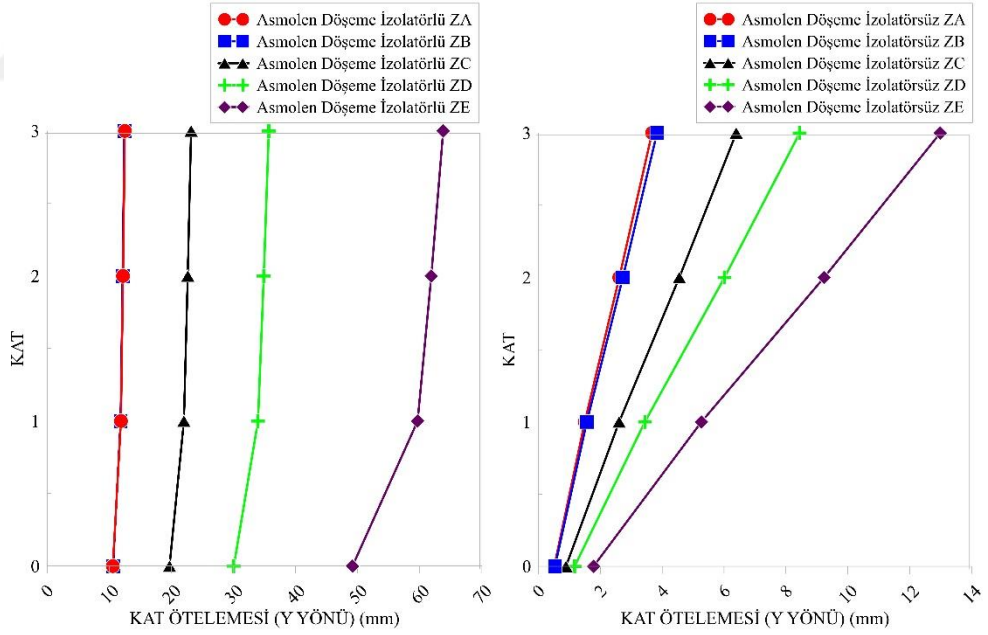
Şekil 5.23 İzolatörlü ve izolatörsüz asmolen döşeme sisteminin 5 farklı zemin sınıfında X yönünde kat ötelemeleri



Şekil 5.24 İzolatörlü ve izolatörsüz tünel kalıp sisteminin 5 farklı zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri



Şekil 5.25 İzolatörlü ve izolatörsüz kirişli döşeme sisteminin 5 farklı zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri



Şekil 5.26 İzolatörlü ve izolatörsüz asmolen döşeme sisteminin 5 farklı zemin sınıfında Y yönünde kat ötelemeleri

Şekil 5.21-Şekil 5.26’da görüldüğü üzere, ZA zemin sınıfında en düşük kat ötelemesi verilerinin olduğu görülmektedir. ZA ve ZB zemin sınıflarında ortaya çıkan kat ötelemeleri birbirlerine oldukça yakın değerlerdir. Aynı zamanda ZA zemin sınıfından ZE zemin sınıfına gidildikçe kat ötelemesinin arttığı görülmektedir. Ayrıca ZE zemin sınıfının zemin katta kat ötelemesinin diğer 4 zemin sınıfına göre oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Aynı tür yapı sistemlerinin kat ötelemelerinin farklı zemin sınıfları ile değişiminin verildiği yukarıdaki grafiklerde izolatörlü sistemlerde görelî kat ötelemeleri izolatörsüz sistemlere oranla daha az, toplam kat ötelemeleri ise daha fazla olmaktadır. Sismik izolatörler yapı zemin arasında bir ayırım yüzeyi oluşturmakta, ötelemelerin büyük bir kısmı bu yüzeyde meydana gelmektedir. Bu sayede oluşabilecek ikinci mertebeye etkilerinin önemli ölçüde önüne geçilmektedir.

ZC zemin sınıfına sahip 3 adet modelin izolatör türleri değiştirilerek ayrıca analiz edilmiştir. Analiz edilen modellerden elde edilen kat öteleme sonuçları Çizelge 5.4’de verilmiştir.

**Çizelge 5.4** Farklı izolatör türlerinde kat ötelemelerinin karşılaştırılması

Farklı İzolatör Türlerinde Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması (mm)												
İzolatör Türü	Tünel Kalıp				Kirişli Döşeme Sistemi				Asmolen Döşeme			
	x		y		x		y		x		y	
GZP-300	0	20,343	0	21,991	0	13,016	0	14,146	0	18,65	0	19,713
	1	19,966	1	22,647	1	13,48	1	14,693	1	20,618	1	22,032
	2	20,094	2	22,782	2	13,843	2	15,054	2	21,401	2	22,647
	3	20,208	3	22,911	3	14,165	3	15,364	3	22,108	3	23,186
GZY-300	0	15,803	0	17,218	0	12,937	0	12,814	0	15,713	0	17,907
	1	15,87	1	17,79	1	13,384	1	14,227	1	17,937	1	18,919
	2	16,019	2	17,941	2	13,852	2	14,708	2	18,805	2	19,634
	3	16,154	3	18,086	3	14,345	3	15,123	3	19,587	3	20,261
GZP-400	0	15,712	0	17,12	0	12,872	0	12,742	0	15,077	0	15,503
	1	15,789	1	17,694	1	13,323	1	14,159	1	16,906	1	17,555
	2	15,941	2	17,849	2	13,798	2	14,647	2	17,812	2	18,271
	3	16,078	3	17,998	3	14,299	3	15,067	3	18,63	3	18,896
GZY-400	0	12,288	0	13,406	0	10,419	0	10,013	0	12,526	0	14,057
	1	12,571	1	13,927	1	11,049	1	11,482	1	14,715	1	15,206
	2	12,756	2	14,112	2	11,616	2	12,08	2	15,744	2	16,083
	3	12,922	3	14,289	3	12,122	3	12,596	3	16,674	3	16,854
GZP-500	0	14,193	0	15,47	0	11,79	0	11,537	0	13,541	0	14,249
	1	14,352	1	16,01	1	12,246	1	12,955	1	15,673	1	16,564
	2	14,512	2	16,169	2	12,85	2	13,476	2	16,631	2	17,378
	3	14,655	3	16,321	3	13,298	3	13,925	3	17,497	3	18,093
GZY-500	0	11,136	0	12,154	0	9,585	0	9,101	0	11,489	0	12,798
	1	11,473	1	12,652	1	10,243	1	10,577	1	13,64	1	13,978
	2	11,667	2	12,841	2	10,837	2	11,214	2	14,707	2	14,9
	3	11,841	3	13,022	3	11,369	3	11,764	3	15,672	3	15,713
GZP-600	0	15,29	0	16,655	0	12,579	0	12,412	0	14,626	0	15,246
	1	15,357	1	17,192	1	12,993	1	13,787	1	16,473	1	17,33
	2	15,494	2	17,323	2	13,443	2	14,25	2	17,32	2	18,011
	3	15,617	3	17,448	3	13,923	3	14,65	3	18,087	3	18,611
GZY-600	0	10,784	0	11,639	0	9,244	0	8,737	0	11,073	0	12,294
	1	11,012	1	12,118	1	9,9	1	10,195	1	13,166	1	13,458
	2	11,204	2	12,301	2	10,495	2	10,836	2	14,22	2	14,378
	3	11,375	3	12,475	3	11,028	3	11,391	3	15,176	3	15,19

GZP-700	0	13,707	0	14,937	0	11,45	0	11,153	0	13,277	0	13,737
	1	13,864	1	15,442	1	11,875	1	12,538	1	15,111	1	15,771
	2	14,011	2	15,58	2	12,355	2	13,04	2	16,002	2	16,5
	3	14,142	3	15,711	3	12,889	3	13,474	3	16,811	3	17,144
GZY-700	0	10,833	0	11,695	0	9,285	0	8,781	0	11,13	0	12,363
	1	11,054	1	12,167	1	9,926	1	10,224	1	13,182	1	13,496
	2	11,239	2	12,34	2	10,508	2	10,851	2	14,205	2	14,39
	3	11,405	3	12,506	3	11,029	3	11,395	3	15,134	3	15,181
GZP-800	0	9,764	0	10,492	0	8,471	0	8,516	0	9,757	0	9,83
	1	10,003	1	10,956	1	9,162	1	9,372	1	11,719	1	11,866
	2	10,208	2	11,147	2	9,792	2	10,06	2	12,844	2	12,846
	3	10,39	3	11,33	3	10,357	3	10,657	3	13,87	3	13,715
GZY-800	0	6,779	0	7,199	0	6,19	0	6,015	0	7,313	0	7,839
	1	7,102	1	7,669	1	7,075	1	7,097	1	9,483	1	9,335
	2	7,39	2	7,945	2	7,889	2	8,019	2	10,86	2	10,629
	3	7,647	3	8,208	3	8,622	3	8,823	3	12,117	3	11,781
GZP-900	0	8,711	0	9,319	0	7,67	0	7,626	0	8,824	0	8,808
	1	8,973	1	9,778	1	8,417	1	8,547	1	10,832	1	10,867
	2	9,2	2	9,991	2	9,1	2	9,304	2	12,035	2	11,939
	3	9,402	3	10,194	3	9,713	3	9,961	3	13,133	3	12,891
GZY-900	0	6,074	0	6,434	0	5,639	0	5,436	0	7,277	0	7,089
	1	6,425	1	6,911	1	6,58	1	6,58	1	8,838	1	8,666
	2	6,741	2	7,214	2	7,449	2	7,569	2	10,29	2	10,049
	3	7,022	3	7,505	3	8,233	3	8,434	3	11,618	3	11,284
GZP-1000	0	8,096	0	8,64	0	7,202	0	7,111	0	8,285	0	8,221
	1	8,37	1	9,094	1	7,982	1	8,07	1	10,305	1	10,291
	2	8,61	2	9,319	2	8,695	2	8,868	2	11,547	2	11,415
	3	8,824	3	9,533	3	9,338	3	9,561	3	12,682	3	12,414
GZY-1000	0	5,498	0	5,81	0	5,179	0	4,965	0	6,675	0	6,482
	1	5,873	1	6,292	1	6,166	1	6,157	1	8,287	1	8,118
	2	6,213	2	6,619	2	7,081	2	7,2	2	9,795	2	9,575
	3	6,516	3	6,932	3	7,908	3	8,114	3	11,177	3	10,877

Farklı izolator türlerine ait kat ötelemeleri incelendiğinde izolator çapı arttıkça kat ötelemelerinin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda GZY kodu ile başlayan ve GZP kodu ile aynı çapa sahip olan izolatorlerde kat ötelemeleri karşılaştırıldığında GZY kodu ile başlayan izolatorlerde kat ötelemesinin daha fazla olduğu görülmektedir.

Bunun sebebi aynı çaptaki izolatörlerden GZY kodu ile başlayan izolatörlerin yatay rijitliğinin yüksek olmasına bağlı olarak sönüm oranının daha fazla olmasıdır.

### 5.3 Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Oluşturulan modellerin taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Tünel kalıp modelinde taban kesme kuvvetleri incelendiğinde zemin sınıfı ZA’dan ZE’ye gittikçe izolatörsüz ve izolatörlü modellerde taban kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. İzolatörsüz ve izolatörlü modeller karşılaştırıldığında ise izolatörlü modelde oluşan taban kesme kuvvetinin izolatörsüz modele göre önemli bir miktarda azaldığı görülmektedir.

Kirişli döşeme sistemi modelinde taban kesme kuvvetleri incelendiğinde zemin sınıfına bağlı olarak taban kesme kuvvetlerinde oluşan fark görülmektedir. İzolatörsüz model ZA zemin sınıfında x yönündeki taban kesme kuvveti 833,22 tf iken ZE zemin sınıfında 2798,21 tf değerine çıkmaktadır. İzolatörsüz ve izolatörlü modellerin taban kesme kuvvetlerinin arasındaki fark incelendiğinde ise izolatörsüz model ZA zemin sınıfında x yönünde 833,22 tf olan taban kesme kuvveti, izolatörlü modelde 199,83 tf değerine düşmektedir. İzolatörsüz modellerde ZA zemin sınıfından ZE zemin sınıfına doğru gidildikçe taban kesme kuvvetindeki artış izolatörlü modeldekine göre daha fazladır.

Asmolen döşeme sistemi ile oluşturulan modelde taban kesme kuvvetlerinin diğer iki taşıyıcı sistem ile oluşturulan modellere göre oldukça az olduğu görülmektedir. Diğer sistemlerdeki zemin sınıfının değişimine bağlı olan artış miktarının asmolen döşemeli sistemde az olduğu görülmektedir. İzolatörlü modelin taban kesme kuvvetinin izolatörsüz modelin taban kesme kuvvetine kıyasla oldukça azaldığı görülmektedir.

ZC zemin sınıfı ile modellenmiş olan modeller ayrıca farklı türdeki izolatörler ile modellenerek analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin taban kesme kuvvetleri Çizelge 5.6'de verilmiştir.



Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırmaları (tf)												
Zemin Türü	Tünel Kalıp				Kirişli Döşeme Sistem				Asmolen Döşeme			
	İzolatsız		İzolörlü		İzolatsız		İzolörlü		İzolatsız		İzolörlü	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
ZA	1775,58	1878,32	334,68	341,53	833,22	884,58	199,83	209,51	101,16	112,5	26,03	27,88
ZB	1935,62	2058,11	330,32	338,2	849,15	935,29	199,83	209,51	103,04	118,99	25,93	27,77
ZC	2990,03	3143,57	627,52	640,38	1455,31	1537,74	374,67	392,83	180,37	193,12	49,15	52,81
ZD	3685,62	3827,79	970,45	982,09	1896,43	1995,24	583,48	611,77	230,59	244,61	79,52	86,05
ZE	5234,62	5131,35	1636,57	1670,1	2798,21	2938,72	977,12	1024,5	334,72	350,66	140,58	138,09

**Çizelge 5.5** Farklı zemin sınıflarında taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırmaları

**Çizelge 5.6** Farklı izolatör türlerinde taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırmaları

Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırmaları (tf)						
İzolatör Türü	Tünel Kalıp		Kirişli Döşeme Sistem		Asmolen Döşeme	
	İzolatörlü		İzolatörlü		İzolatörlü	
	x	y	x	y	x	y
GZP-300	627,52	640,38	374,67	392,83	49,15	52,81
GZY-300	787,47	807,87	452,84	486,09	56,63	62,76
GZP-400	791,73	812,31	454,68	488,36	59,3	65,79
GZY-400	1002,55	1036,79	546,81	604,76	68,15	78,66
GZP-500	873,69	899,17	492,26	534,97	64,26	72,17
GZY-500	1101,87	1144,3	587,2	657,8	73,09	85,8
GZP-600	814,19	836,35	466,37	502,65	61,13	67,95
GZY-600	1149,37	1196,24	606,65	683,74	75,6	89,37
GZP-700	905,06	932,88	507,6	554,31	66,37	74,96
GZY-700	1144,77	1191,35	605,66	682,48	75,61	89,27
GZP-800	1268,57	1327,17	651,41	744,23	83,57	100,09
GZY-800	1780,12	1904,97	811,73	960,15	99,32	123,31
GZP-900	1416,34	1491,39	702,31	813,6	89,37	109,12
GZY-900	1956,9	2110,44	859,12	1020,94	104,5	134,4
GZP-1000	1518	1605,73	735,66	859,15	93,19	115,08
GZY-1000	2127,57	2311,32	902,4	1074,75	109,27	141,64

Tünel kalıp ile inşa edilen modelde farklı izolatör türlerinin taban kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında x ve y yönünde GZP-300'den GZP-1000'e doğru taban kesme kuvvetlerinde artış olduğu görülmektedir. GZP ile başlayan izolatörlerde taban kesme kuvveti GZY ile başlayan izolatörlü modellere göre daha düşüktür.

Kirişli döşeme sistemde taban kesme kuvvetleri incelendiğinde GZP-600 haricindeki diğer izolator türlerinde GZP-1000'e gidildikçe artış görülmektedir.

Asmolen döşemeli modelde farklı izolator türlerinin taban kesme kuvveti incelendiğinde GZP-600 dışındaki tüm izolator türlerinde GZP-1000 izolator türüne gidildikçe artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.6 incelendiğinde taban kesme kuvveti en düşük olan modelin asmolen döşeme kullanılan model olduğu görülmektedir.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Orta Katlı Betonarme Yapıların Deprem Performansına Sismik İzolatörlerin Etkisi” adlı tez çalışmasında tünel kalıp, kirişli döşeme sistem ve asmolen döşemeli 3 ayrı model oluşturulmuştur. Bu modellerin izolatörsüz ve izolatörlü olarak analizleri yapılmıştır. Aynı modeller ayrıca 5 farklı zemin sınıfında da izolatörlü ve izolatörsüz olarak analiz edilmiştir. ideCAD yapı programında bulunan 16 farklı türdeki izolatör türleri de zemin sınıfı sabit tutularak modellemelere dahil edilmiştir.

Düşey taşıyıcı elemanların tamamen perdelerden oluştuğu tünel kalıp sistem deprem yüklerine karşı oldukça rijit davranış sergilediğinden görelî kat ötelemelerinin diğer sistemlere göre daha az olduğu görülmektedir. Kirişli döşeme sistemi ve asmolen döşeme sistemi karşılaştırıldığında asmolen döşemeler yaklaşık olarak yüzde otuz daha ağır olduğundan kat döşeme düzeyinde çok daha büyük ötelemeler yapmaktadır. Bu da yapı deprem davranışı açısından sınırlamalara neden olmaktadır. Fakat hakim periyot değerleri karşılaştırıldığında kirişli döşeme sistemine oranla daha ağır bir sistem olduğundan daha uzun periyot değerlerine sahip olduğu görülmektedir. En uzun hakim periyot değerleri yine tünel kalıp sistemde görülmektedir. İzolatörlü sistemlerde kat ötelemeleri zemin katta daha fazla olmakta üst katlarda görelî kat ötelemeleri izolatörsüz sistemlere oranla düşüşe geçmekte, ikinci mertebeye etkileri azalarak yapının deprem davranışı iyileşmektedir.

Genel olarak tünel kalıp sistemler yapı deprem davranışı olarak asmolen sistem ve kirişli döşeme sistemine üstün gelmektedir. Mimari açıdan incelendiğinde asmolen döşeme sistemi ve tünel kalıp sistem kat döşemelerin düz olması nedeniyle çok büyük bir mimari serbestlik avantajı sağlamaktadır.

Bu değerlendirme kapsamında analizlerde dikkate alınan konumda deprem riskinin düşük olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Yerel zemin sınıflarının değişimi ZA’dan ZE’ye kat ötelemelerini olumsuz yönde etkilerken bu sismik izolatörlerin sisteme eklenmesi ve yapı ve zemin arasında bir ayırım yüzeyinin oluşturulmasıyla birlikte görelî kat ötelemeleri oldukça azalmaktadır.

Taban kesme kuvvetleri dolayısıyla bina tabanına etkiyen deprem kuvvetleri sismik izolatörlerin sisteme eklenmesiyle oldukça azalmakta ve bu nedenle yapının deprem davranışına oldukça olumlu katkı yapmaktadır. Farklı rijitlik, çap ve tasarıma sahip deprem izolatörleri yapı davranışına ve yapı tasarımına farklı etkiler göstermektedir. Özellikle sismik izolatörlerin yapı davranışına istenen etkiyi gösterebilmesi ve sismik izolatörlerin yapı maliyetine olan etkileri göz önünde bulundurulduğunda uzman yapı mühendislerince tasarlanması ile istenilen verimi sağlayabileceği sonucuna varılabilir.



## KAYNAKLAR

- Baş, A. 2024. Betonarme yapılarda sismik izolatör kullanımı ve sismik izolatör tiplerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, 111 sayfa, Sakarya.
- Baştuğ, B. 2004. Yapı sistemlerinde depreme karşı sismik izolatör kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 177 sayfa, İstanbul.
- Blakeley, R.W.G., Cooney, R.C., & Megget L.M. 1975. Seismic shear loading at flexural capacity in cantilever wall structures. Bulletin of the New Zealand National Society For Earthquake Engineering, 8(4): 278-290.
- Braga, F., Michelangelo, L. 2004. Field testing of low-rise base isolated building. Engineering Structures, 26 (2004), 1599-1610.
- Celep, Z. 2014. Yapı Dinamiği. Beta Basım Yayım, 477, Türkiye.
- Çatlıoğlu, O. 2021. Earthquake performance and project budget comparison of a conventional building and a seismically isolated building. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 53 sayfa, İstanbul.
- Çonay, B. 2021. Yapıya özel sismik izolatör tiplerinin belirlenmesi ve tespit edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, 80 sayfa, İstanbul.
- Demirel, İ. O., Yakut, A., Binici, B. 2022. Seismic performance of mid-rise reinforced concrete buildings in Izmir Bayraklı after the 2020 Samos earthquake. Engineering Failure Analysis, 2022 (137), 1-18.
- Dilek, Y. 2023. Tünel kalıp ile inşa edilen yapıların 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre dayanım ve maliyet açısından incelenmesi. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, 215 sayfa, Diyarbakır.
- Dürüst, O. 2023. Farklı kat seviyelerinde kullanılan sismik izolatörlerin yapı davranışı üzerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 94 sayfa, Erzurum.
- Eniş, A. 2024. Depreme dayanıklı yapı tasarımında sismik izolatör kullanımı ve kullanıcı tercihi etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, 122 sayfa, İstanbul.

- Güner, G. 2012. Bir hastane yapısının klasik yöntemle ve sismik izolatör kullanılarak tasarımının dinamik yönden karşılaştırılmasının yapılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 107 sayfa, İstanbul.
- Jangid, R. S. 2007. Optimum lead-rubber isolation bearings for near-fault motions. *Engineering Structures*, 29 (2007), 2503-2513.
- Jasim, F. A., Jasim N. A., Al-Hussein, A. A. 2024. Advancing seismic performance: Isolators, TMDs, and multi-level strategies in reinforced concrete buildings. *De Gruyter*, 2024 (14), 1-17.
- Liu, S., Chen, Z., Yongdou, L. 2024. Seismic Isolation Layout Optimized of Mid-Rise Reinforced Concrete Building Frame Structure. *Buildings*, 2024 (14), 1-19.
- Matsagar, V. A., Jangid, R. S. 2008. Base Isolation for Seismic Retrofitting of Structures. *Research Gate*, 2008 (13), 175-185.
- Öztürk, Ş. 2023. TBDY 2018'e göre betonarme yapıların farklı tip sismik izolatör birimleri kullanılarak modellenmesi ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, 100 sayfa, Rize.
- Sarıçay, E. 2009. Tünel kalıpla inşa edilen binaların deprem yükleri etkisindeki davranışının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 71 sayfa, İstanbul.
- Sevim, E. 2016. Sismik izolatörlerin bina türü yapıların dinamik davranışına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 99 sayfa, İstanbul.
- Tepebaş, S. 2010. Tünel kalıp sistemlerinin geleneksel kalıp sistemleri ile maliyet açısından uygulamalı karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 129 sayfa, Sakarya.
- Türk, H. 2019. Çok katlı betonarme yapılarda farklı sismik izolatör sistemlerin ve kat adetinin deprem davranışına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, 121 sayfa, Konya.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018.
- Yıldız, M. B. 2020. Sismik izolatörlerin farklı konumlarının binaların dinamik davranışlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, 90 sayfa, Bayburt.
- Yücesoy, A. 2005. Sismik izolatörler ile depreme dayanıklı yapı tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, 127 sayfa, Antakya.

Turan, D. 2012. Betonarme bir yapının eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemine göre tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 128 sayfa, İstanbul.

