**T.C.**
**RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ**
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

# TBDY 2018'E GÖRE BETONARME YAPILARIN FARKLI TİP SİSMİK İZOLATÖR BİRİMLERİ KULLANILARAK MODELLENMESİ VE ANALİZİ

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Şevval ÖZTÜRK**

**Danışman**
**Doç. Dr. Murat YAYLACI**

**RİZE**
**2023**

## KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Doç. Dr. Murat YAYLACI danışmanlığında, Şevval ÖZTÜRK tarafından hazırlanan *TBDY 2018'e Göre Betonarme Yapıların Farklı Tip Sismik İzolatör Birimleri Kullanılarak Modellenmesi ve Analizi* adlı bu tez çalışması, 05/06/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

| **Jüri Üyeleri** | | **Unvanı, Adı SOYADI** | **İmza** |
|---|---|---|---|
| Başkan | : | Prof. Dr. Süleyman ADANUR | |
| Üye | : | Doç. Dr. Murat YAYLACI | |
| Üye | : | Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ | |

## ETİK BEYAN

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “TBDY 2018'e Göre Betonarme Yapıların Farklı Tip Sismik İzolatör Birimleri Kullanılarak Modellenmesi ve Analizi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve/veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılacak bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.
05/06/2023

**Şevval ÖZTÜRK**

# ÖN SÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

“TBDY 2018'e Göre Betonarme Yapıların Farklı Tip Sismik İzolatör Birimleri Kullanılarak Modellenmesi ve Analizi” isimli tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, öğrencisi olmaktan son derece onur duyduğum Hocam Prof. Dr. Süleyman ADANUR’a ve danışman Hocam Doç. Dr. Murat YAYLACI’a minnet ve şükranlarımı sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca eğitim aldığım tüm hocalarıma ve Tez savunma jüri üyeliğini kabul eden sayın Prof. Dr. Süleyman ADANUR ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ’e teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca hep yanımda olan çalışmam boyunca beni destekleyen annem Güler ÖZTÜRK’ e, babam Sinan ÖZTÜRK’ e ve değerli aile üyelerime minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Yüksek lisans eğitimim süresince genel eğitim bursu 2210- Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında maddi destek sağlayan TÜBİTAK-BİDEB’e teşekkür ederim.

Şevval ÖZTÜRK

2023/ RİZE

# İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY ..... I
ETİK BEYAN ..... II
ÖN SÖZ ..... III
İÇİNDEKİLER ..... IV
ÖZET ..... VI
ABSTRACT ..... VII
KISALTMALAR ..... VIII
TABLOLAR LİSTESİ ..... X
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... XI
GİRİŞ ..... 1
1.1. Tezin Amacı Ve Kapsamı ..... 3
1.2. Konu İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar ..... 4
1.3. Sismik İzolasyon Metodu ..... 12
1.4. Sismik İzolasyon Yönteminin Avantajları Ve Ülkemizdeki Uygulamaları ... 17
1.5. Sismik Koruma Yöntemleri ..... 19
1.5.1. Aktif Kontrol Sistemleri ..... 19
1.5.2. Yarı Aktif Kontrol Sistemleri ..... 20
1.5.3. Pasif Kontrol Sistemleri ..... 21
1.6. Deprem İzolatör Sistemleri ..... 22
1.6.1. Elastomerik Mesnetli Sistemler ..... 24
1.6.1.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk izolatörler (LRB) ..... 25
1.6.1.2. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler (LDRB) ..... 26
1.6.1.3. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler (HDRB) ..... 27
1.6.2. Sürtünme Esaslı İzolatörler ..... 28
1.6.2.1. Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler (FPS) ..... 29
1.6.2.2. Fransız Elektrik Sistemi ..... 31
1.6.2.3.TASS Sistemi ..... 32
1.6.2.4. Bileşik Sistem ..... 32
1.7 Sismik İzolasyon Uygulaması İçin TBDY 2018 Yönetmeliği Esasları ..... 33

1.7.1. TBDY 2018’ e Göre Deprem Hesabında Kullanılan Yöntemler..... 35
1.7.2. TBDY’e Göre Genel Tasarım İlkeleri ..... 37
1.7.3. TBDY’e Göre Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Seçilmesi..... 39
1.7.4. ZTADO Hesap İçin Taşıyıcı Sistem Modellemesiyle İlgili TBDY18 Kuralları..... 43
1.7.5. Yalıtımlı Sistem Tasarımında Kullanılacak Yük Birleşimleri..... 44
1.8. Elastomer Yalıtım Birimleri ..... 45
1.9. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri ..... 48
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR..... 51
2.1 Sap2000 Programı Yardımıyla Binanın Modellenmesi..... 52
2.2. Analizde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi 56
3. BULGULAR..... 63
3.1. Ankastre Mesnetli Binanın Tasarımı ve Analiz sonuçları ..... 63
3.2. Kurşun Çekirdekli İzolatör Uygulanan Binanın Tasarımı ve Analizi ..... 65
3.3. Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Uygulanan Binanın Tasarımı ve Analizi ..... 69
3.4. Yapılara ait Periyot değerlerinin incelenmesi..... 71
3.5. Yapılara ait kat yerdeğiştirme değerlerinin incelenmesi ..... 72
3.6. Yapılara ait kat ivme değerlerinin incelenmesi ..... 77
3.7. Yapılara ait kat kesme kuvvetlerinin incelenmesi ..... 83
4. SONUÇ..... 91
KAYNAKÇA..... 95

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**
**Ana Bilim Dalı** : İnşaat Mühendisliği
**Tez Türü** : Yüksek Lisans
**Danışman** : Doç. Dr. Murat YAYLACI
**Hazırlayan** : Şevval ÖZTÜRK
**Yıl** : 2023
**Sayfa Sayısı** : 114

## ÖZET

## TBDY 2018'E GÖRE BETONARME YAPILARIN FARKLI TİP SİSMİK İZOLATÖR BİRİMLERİ KULLANILARAK MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Ülkemizin aktif fay hatları üzerinde olması sebebiyle geçmişinde ve günümüzde büyük depremlerle sarsılmıştır. Çok yakın zamanda da Kahramanmaraş merkezli AFAD verilerine göre 7,7 $M_w$ ve 7,6 $M_w$ büyüklüklerinde meydana gelen iki deprem ve peşi sıra Hatay merkezli tamamen bağımsız 6,4 $M_w$ ve 5,8$M_w$ büyüklüklerindeki depremlerle kâbus dolu günler yaşamıştır. Gerçekleşen bu yıkıcı depremler 11 ili etkisi altına almış olmakla birlikte ülkece derinden etkilenmiştir. Asrın felaketi olarak nitelenen depremlerde resmi rakamlara göre 50 binin üzerinde kişi hayatını kaybetmiş, binlerce insanın yaralanmıştır. Cumhuriyet tarihimizin en yıkıcı ve yakıcı afetlerinden biri olan bu depremler, ülkemizin depremlere karşı yeterli olmadığını açıkça gözler önüne sermiştir. Durum böyleyken depreme dayanıklı yapı tasarımı özellikle ülkemiz için hayati önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında depreme dayanıklı yapı tasarımı alanında son dönemlerde çok popüler olan sismik izolasyon yönteminin betonarme yapının taşıyıcı sistemi üzerinde oluşturacağı etkiler üzerinde incelemeler yapılması amaçlanmıştır. Sismik izolasyon uygulaması sayesinde deprem anında zemin ve yapı birbirinden bağımsız hareket etmektedir. Bu sayede yapının doğal titreşim periyodu artırılmak suretiyle yapıda sismik kuvvetler azaltılmaktadır. Bu çalışmada sismik izolasyon yöntemi üzerinde detaylı bilgiler verilmiştir ve Türk Deprem Yönetmeliği 2018'de sismik izolasyonun uygulanacağı yapılar için yer alan hesap ve tasarım ilkeleri üzerinde durulmuştur. Tipik betonarme bir kamu binası; ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü ve eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolatörlü SAP 2000 programın yardımıyla modellenerek her yapıya ait sismik davranışların incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılar için yapılan tasarım ve hesaplamalarda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 dikkate alınmıştır. Yönetmeliğinde belirtiği esaslar doğrultusunda 11 deprem ivme kaydı öncelikle seçilip ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtları kullanılarak modellerin doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılmıştır. Son olarak elde edilen analiz sonuçlarına göre her üç yapı için katlara ait yer değiştirme ve ivme değerleri, karlar arasında meydana gelen ötelenme oranları, yapıların taban kesme kuvvetleri grafik olarak hazırlanmış ve incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar sayesinde sismik izolasyon yönteminin deprem esnasında yapıya kazandırdığı teknik avantajlar ifade edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sismik İzolasyon Yöntemi, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör, Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatör

**Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies**
**Department** : Civil Engineering
**Thesis Type** : Master Thesis
**Supervisor** : Assoc. Prof. Dr. Murat YAYLACI
**Author** : Şevval ÖZTÜRK
**Year** : 2023
**Pages** : 114

## ABSTRACT

### MODELİNG AND ANALYSİS OF REİNFORCED CONCRETE STRUCTURES USİNG DİFFERENT TYPES OF SEİSMİC ISOLATOR UNİTS ACCORDİNG TO TBDY 2018

Due to the fact that our country is on active fault lines, it has been shaken by great earthquakes in the past and today. Very recently, there have been nightmare-filled days with two earthquakes of 7.7 Mw and 7.5 Mw in Kahramanmaraş, followed by completely independent earthquakes of 6.4 Mw and 5.8 Mw in the center of Hatay. Although these devastating earthquakes affected 11 provinces, the whole country experienced the deepest pain. According to official figures, more than 50 thousand people lost their lives and thousands of people were injured in the earthquakes, which were described as the disaster of the century. These earthquakes, one of the most destructive and burning disasters of our republican history, have clearly demonstrated that our country is not sufficient against earthquakes. While this is the case, earthquake resistant building design is of vital importance especially for our country. Within the scope of this study, it is aimed to examine the effects of the seismic isolation method, which has been very popular in the field of earthquake resistant building design, on the carrier system of the reinforced concrete structure. Thanks to the seismic isolation application, the ground and the structure move independently of each other during an earthquake. In this way, seismic forces are reduced in the structure by increasing the natural vibration period of the structure. In this study, detailed information on the seismic isolation method is given and the calculation and design principles for the structures in which seismic isolation will be applied in the Turkish Earthquake Code 2018 are emphasized. A typical reinforced concrete public building; It is aimed to examine the seismic behavior of each structure by modeling with the help of SAP 2000 program with fixed support, lead core rubber insulator and curved surface friction pendulum insulator. The Turkish Building Earthquake Code 2018 has been taken into account in the design and calculations for the buildings. 11 earthquake acceleration records were selected and scaled in line with the principles specified in the regulation. Nonlinear dynamic analyzes of the models were performed using scaled earthquake acceleration records (Time history). Finally, according to the results of the analysis, the displacement and acceleration values of the floors, the translation rates between the floors, the base shear forces of the structures were prepared and examined graphically for all three structures. Thanks to the results obtained, the technical advantages of the seismic isolation method during the earthquake were expressed.

**Keywords:** Seismic Isolation Method, Earthquake Resistant Structure Design, Lead Core Rubber Isolator, Curved Surface Friction Pendulum Isolator

## KISALTMALAR

A : Kauçuk tabakanın alanı (m2)

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

D : Maksimum yanal izolatör yer değiştirmesi (m)

D : Dayanım fazlalığı katsayısı

$D_D$ : İzolatörün tasarım deprem yer hareketi (DD2) için yerdeğiştirmesi(m)

DD1 : En Büyük Deprem Yer Hareketi

DD2 : Tasarım Deprem Yer Hareketi

DGT : Dayanıma Göre Tasarım

$D_M$ : İzolatörün en büyük deprem yer hareketi (DD1) için yerdeğiştirmesi(m)

$D_y$ : Akma yer değiştirmesi (m)

E : Elastisite modülü

$E_c$ : Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü

F : D yerdeğiştirmesine karşı gelen kuvvet

$F_\theta$ : Karakteristik dayanım (MPa)

FPS : Sürtünmeli Sarkaç Sistemi

$F_y$ : Akma dayanımı (MPa)

G : Ölü yük (kN)

g : Yer çekimi ivmesi (m/s2 )

GÖ : Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi

H : Yalıtım birimi toplam yüksekliği

$H_N$ : Bodrum katlarının üstündeki bölümün toplam yüksekliği (m)

I : Bina önem katsayısı

$k_1$ : Başlangıç rijitliği (kN/m)

$k_2$ : Akma sonrası rijitlik (kN/m)

$k_e$ : Efektif rijitlik (kN/m)

KH : Kontrollü Hasar Performans Düzeyi

KK : Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi

$k_v$ : Kauçuk izolatörün düşey rijitliği (kN/m)

LRB : Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör

$M_w$ : Moment magnitüdü (kNm)

n : Hareketli yük azaltma katsayısı

$\eta_D$ : DD2 için sönüm ölçeklendirme katsayısı

$\eta_M$ : DD1 için sönüm ölçeklendirme katsayısı

N : Kauçuk tabaka sayısı

Q : Hareketli yük (kN)

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_c$ : Yalıtım biriminin etkin eğrilik yarı çapın

Ra : Deprem yükü azaltma katsayısı

S : Yalıtım Birimine ait şekil katsayısı

$S_{ae}{}^{DD-1}$ : DD1 seviyesinde yatay spektral ivme (g)

$S_{ae}{}^{DD-2}$ : DD2 seviyesinde yatay spektral ivme (g)

$S_1$ : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı

$S_{D1}$ : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı

$S_{DS}$ : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

SH : Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

$S_S$ : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı

ŞGDT : Şekil Değiştirmeye Dayalı Tasarım

TBDY : Türkiye Binalar Deprem Yönetmeliği

$T_D$ : DD2 Yer Hareketi Düzeyi İçin Doğal Titreşim Periyodu

$T_M$ : DD1 Yer Hareketi Düzeyi İçin Doğal Titreşim Periyodu

Tp : Binanın hâkim doğal titreşim periyot değeri

$T_r$ : Toplam elastomer kalınlığı

$V_D$ : DD2 için hesaplanan üst yapıya etkiyen kuvvet

$V_M$ : DD1 için hesaplanan üst yapıya etkiyen kuvvet

$W_D$ : Döngüde tüketilen enerji miktarı

λalt : DD1 için Alt Limit değeri

λüst : DD2 için Üst Limit değeri

μ : Eğri yüzeyli sürtünmeli izolatör için sürtünme katsayıları

ξ : Sönüm ölçeklendirme katsayısı

ξeff : Efektif sönüm oranı

## TABLOLAR LİSTESİ

**Tablo 1.** Deprem Yükü Azaltma ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları ..... 38
**Tablo 2.** TBDY' e göre deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak Bina Yükseklik Sınıfları ..... 40
**Tablo 3.** Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Deprem Yalıtımlı Bina Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları ..... 40
**Tablo 4.** Beklenen Malzeme Dayanımları ..... 43
**Tablo 5.** Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı ..... 44
**Tablo 6.** Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları 44
**Tablo 7.** İnteraktif Web Uygulamasından DD1 için alınan $S_{DS}$ ve $S_{D1}$ çıktıları ..... 52
**Tablo 8.** İnteraktif Web Uygulamasından DD2 için alınan $S_{DS}$ ve $S_{D1}$ çıktıları ..... 52
**Tablo 9.** PEER yazılımı kullanılarak seçilen ivme kayıtları ve özellikleri ..... 58
**Tablo 10.** Seçilmiş ivme kayıtlarına ait ölçek katsayıları ..... 60
**Tablo 11.** Ankastre mesnetli yapı için elde edilen modal analiz sonuçları ..... 63
**Tablo 12.** İzolatörlü yapı için kullanılacak KÇE için alınan ve hesaplanan değerler 65
**Tablo 13.** KÇE izolatörüne ait DD1 yer hareketi için hesaplanan değerler ..... 66
**Tablo 14.** KÇE izolatörüne ait DD2 yer hareketi için hesaplanan değerler ..... 67
**Tablo 15.** KÇK izolatörlü yapının modal analiz sonuçları ..... 68
**Tablo 16.** EYS İzolatör Tasarımında Kullanılan Parametreler ..... 69
**Tablo 17.** DD1 için EYS İzolatör Tasarımı ..... 70
**Tablo 18.** DD2 için EYS İzolatör Tasarımı ..... 70
**Tablo 19.** EYS İzolatörlü Yapının Modal Analiz Sonuçları ..... 71
**Tablo 20.** Yapılara ait Periyod Değerleri ..... 72
**Tablo 21.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 73
**Tablo 22.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 77
**Tablo 23.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Kesme Kuvveti Değerleri .... 83
**Tablo 24.** Yapıların Tabanlarına etkiyen kesme kuvveti değerleri ..... 89

## ŞEKİLLER LİSTESİ

**Şekil 1.** Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu yapı davranışı ..... 13
**Şekil 2.** Sismik izolasyonun yapının periyot ve ivme değeri üzerinde etkisi ..... 14
**Şekil 3.** Sismik izolasyon uygulamasının yapının kat ötelenmelerine etkisi ..... 15
**Şekil 4.** Ankastre yapı ve İzolasyonlu Yapı Davranışı ..... 16
**Şekil 5.** Artan yapı periyodu-azalan ivme grafiği, Artan yapı periyodu-artan deplasman grafiği ..... 17
**Şekil 6.** Sismik Koruma Yöntemleri ..... 19
**Şekil 7.** Aktif kontrol sisteminin şematik gösterimi ..... 20
**Şekil 8.** Yarı Aktif Kontrol Sistemleri şematik gösterimi ..... 21
**Şekil 9.** Pasif Kontrol Sistemleri şematik gösterimi ..... 22
**Şekil 10.** Pasif Kontrol Sistemleri ..... 22
**Şekil 11.** İzolatör Sistemlerinin Sınıflandırılması ..... 23
**Şekil 12.** Farklı izolasyon birimleri ve onlara ait kuvvet-şekil değiştirme diyagramları ..... 23
**Şekil 13.** Elastomerik mesnet sistemi ..... 24
**Şekil 14.** Kurşun Çekirdekli Kauçuk izolatörler ..... 25
**Şekil 15.** Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler ..... 26
**Şekil 16.** Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler ..... 27
**Şekil 17.** Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler ..... 29
**Şekil 18.** Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Hareketi ..... 30
**Şekil 19.** Fransız Elektrik Sistemi ..... 31
**Şekil 20.** TASS Sistemi ..... 32
**Şekil 21.** Deprem Hesabında Kullanılan Yöntemler ..... 36
**Şekil 22.** Deprem Hesabında Kullanılan Yöntemlerin Sınıflandırılması ..... 36
**Şekil 23.** Elastomer Yalıtım Birimi ..... 45
**Şekil 24.** Elastomer Yalıtım Birimine ait Kuvvet- Yerdeğiştirme Eğrisi ..... 46
**Şekil 25.** Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimi ..... 48
**Şekil 26.** Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimine ait Kuvvet- Yerdeğiştirme Eğrisi ..... 49

**Şekil 27.** AFAD deprem tehlikesi haritası İnteraktif Web Uygulaması Raporlama . 51
**Şekil 28.** Analizi yapılan yapıya ait kalıp planı ..... 54
**Şekil 29.** Analizi yapılan binanın Sap2000 programından alınmış 3D görünümü .... 54
**Şekil 30.** Sap2000 Programında Sonlu elemanlara bölünmüş bina kat planı ve bina kesiti ..... 55
**Şekil 31.** DD-1 ve DD-2 ait Yatay Elastik Spektrum Eğrileri..... 59
**Şekil 32.** RSN20 ivme kaydının DD-1 ve DD2 yer hareketine göre ölçekli hali..... 60
**Şekil 33.** Seçilen ivme setinin DD-1 için spektral ivme değerlerinin ölçekli hali..... 61
**Şekil 34.** Seçilen ivme setinin DD-2 için spektral ivme değerlerinin ölçekli hali..... 62
**Şekil 35.** SAP2000'den alınan ankastre mesnetli yapıya ait mod şekilleri ..... 64
**Şekil 36.** İzolatör Tasarımında kullanılan DD1 Elastik Tasarım spektrumu..... 66
**Şekil 37.** İzolatör Tasarımında kullanılan DD2 Elastik Tasarım spektrumu..... 67
**Şekil 38.** Analiz Sonuçlarının Alındığı Referans Noktalar ..... 68
**Şekil 39.** Yapılara ait Periyot Değerleri..... 72
**Şekil 40.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 73
**Şekil 41.** RSN186 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 74
**Şekil 42.** RSN191 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 74
**Şekil 43.** RSN268 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 74
**Şekil 44.** RSN1137 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 75
**Şekil 45.** RSN1139 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 75
**Şekil 46.** RSN1147 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 75
**Şekil 47.** RSN1166 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 76
**Şekil 48.** RSN1177 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 76
**Şekil 49.** RSN1619 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 76
**Şekil 50.** RSN1620 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler ..... 77
**Şekil 51.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 78
**Şekil 52.** RSN186 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 78
**Şekil 53.** RSN191 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 79
**Şekil 54.** RSN268 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 79
**Şekil 55.** RSN1137 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 80
**Şekil 56.** RSN1139 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 80

**Şekil 57.** RSN1147 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 81
**Şekil 58.** RSN1166 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 81
**Şekil 59.** RSN1177 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 82
**Şekil 60.** RSN1619 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 82
**Şekil 61.** RSN1620 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri ..... 83
**Şekil 62.** RSN20 Depremine ait Kat kesme Kuvveti Grafiği ..... 84
**Şekil 63.** RSN186 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 84
**Şekil 64.** RSN191 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 85
**Şekil 65.** RSN268 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 85
**Şekil 66.** RSN1137 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 86
**Şekil 67.** RSN1139 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 86
**Şekil 68.** RSN1147Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 87
**Şekil 69.** RSN1166 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 87
**Şekil 70.** RSN1177 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 88
**Şekil 71.** RSN1619 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 88
**Şekil 72.** RSN1620 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği ..... 89
**Şekil 73.** DD1 için Yapıların Tabanlarına etkiyen kesme kuvveti grafiği ..... 90
**Şekil 74.** DD2 için Yapıların Tabanlarına etkiyen kesme kuvveti grafiği ..... 90

# GİRİŞ

Deprem, en genel tanımıyla yer kabuğunda çok ani enerji salınımlarından dolayı meydana gelen sismik hareketlilik olarak ifade edilebilir. Sismik hareketliliğe sebep olan enerji, yer kabuğunun derinliklerinde birikmiş olan ve depremin tetikleyicisi olan itici bir güçtür. Sismik hareketlilik kıta hareketinden, fayların çatlaması veya kırılmasından, volkanik patlamalardan, yer altı boşluklarının çökmesinden vb. nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Sismik hareketlilik sonucunda açığa çıkan deprem enerjisi, merkez üssünden dalgalar halinde yayılmaya başlar ve bu şekilde deprem dalgaları çok büyük alanlarda yıkıma ve hasara sebep olur. Yer yüzüne ulaşan dalgaların yıkıcı etkisine dayanamayan depreme karşı dayanıksız yapılarda ağır hasarla, göçmeler meydana gelirken, en önemlisi de enkaza dönen depreme karşı dayanıksız yapılar çok sayıda canın kaybına sebep olmaktadır (Ateş, 1999).

Meydana gelecek depremin önceden fark edilememesi, son derece büyük ve yıkıcı etkilerinin olması, meydana gelen depremlerin sadece merkez üssünü değil çok daha geniş alanları etkilemesi deprem afetini son derece önemli ve tehlikeli afetlerden biri yapmaktadır (Öztürk, 2007).

Depremin yapı üzerinde oluşturacağı aşırı yükleme durumu yapıyı zorlayacağında taşıyıcı sistemde elastik ötesi deformasyonlara yani hasarlara neden olur. Bu aşırı yükleme durumunu yapının tasarım aşamasında ön görülememesi ya da ihmali sonucu deprem esnasında yapının göçmesine veya ağır hasar almasına sebep olmaktadır. Depreme karşı dayanıksız yapılar özellikle sismik hareketlilik açısından son derece aktif bir konumda yer alan ülkemiz gibi birçok deprem ülkesi için faciaların kaçınılmaz olması anlamına gelmektedir. Yaşanan son derece yıkıcı deprem sırasında ve sonrasında hasarsız ve tam kapasite çalışmaya devam etmesi gereken hastaneler, resmi konutlar, yollar, körüler, okul binaları vb. kuruluşlar depreme dayanıklı yapı tasarımının gündeme gelmesini sağlamıştır (Özpalanlar, 2004).

Depremin ne zaman ve ne şiddette meydana geleceği günümüz teknolojisi için bilinemeyen ve engellenemeye bir doğal afettir fakat alınan tedbirler sayesinde vereceği maddi ve manevi zararlar en aza indirilebilir. Son yıllarda gelişen teknolojik

imkanlar ve var olan bilgi birikimi doğrultusunda deprem yönetmelikleri üzerinde yoğunlaşılmış ve yapılar için depreme karşı güçlendirme uygulamaları son derece önem kazanmıştır. Özellikle deprem tehlikesinin var olduğu ülkelerde, deprem kaynaklı can ve mal kaybını azaltmak için mevcut yapı stoğunun güçlendirilmesi ve yeni yapılacak yapıların depreme dayanıklı yapı tasarımı kurallarına göre inşa edilmesi gibi uygulamalar öncelik vermiştir (TBDY, 2018). Bu doğrultuda mevcut yapılar için klasik yöntemler olarak taşıyıcı sistem elemanlarının sargılanarak güçlendirilmesi ilave taşıyıcı elemanların eklenmesi gibi uygulamalar kullanılmıştır. Gelişen teknoloji bu uygulamalara daha yenilikçi ve uygulaması daha pratik yaklaşımlar getirmiştir. Üstün özelliklere sahip lifli polimerlerin güçlendirme maddesi olarak kullanımı, sönümleyici sistemlerin kullanılmasıyla yapısal elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlandırılması ya da tamamen yapı zemin arasındaki etkileşim izolatör birimlerinin yerleştirilmesiyle sismik olarak yalıtılması gibi yenilikçi yaklaşımlar son dönemlerde büyük ilgi toplamıştır (Sütçü, 2021).

Sismik taban yalıtımı, taban seviyesinde kullanılan yalıtım birimleriyle üst yapının temel seviyesinden yalıtılmasıdır. Bu uygulama yapının hâkim periyodunda artışa yani ivme değerinin azaltarak yapının deprem etkilerinden izole olmasına olanak sağlar. Sismik izolasyon uygulaması en temel şekliyle yapının depreme karşı dayanımı artırılmadan sadece binaya gelecek deprem etkisinin izolasyon katında karşılanarak sönümlenmesi hedeflenir(Keskin, 2007).

Geleneksel güçlendirme yöntemlerinde, yapının artan rijitliği ivme değerini artırdığı gibi katlar arasında oluşan göreli yerdeğiştirme değerlerinin artmasına kısaca yapının esnekliğinin azalmasına neden olduğu için bu yönteme alternatif yeni yöntemler geliştirilmiştir. Sismik izolasyon yöntemi geleneksel uygulamaların aksine yapıya gelecek deprem kuvvetini taban seviyesinde yalıttığı gibi yapının ivme değerini ve katlar arası göreli kat ötelenmelerini azalttığı, periyot değerini ve yapının sönüm oranını arttırdığı yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Yapının kazandığı esneklik sayesinde depremin yapı üzerinde oluşturacağı etkiler izolasyon katında sönümlenir ve yapı hedeflenen depreme karşı dayanım koşullarını sağlamış olur. Sismik izolasyon uygulamasının yapının sismik performansını olumlu şekilde etkilemesi, sismik izolasyon uygulamasının ülkemizde de son yıllarda kullanımının

giderek yaygınlaştırmış ve teknolojinin de katkısıyla bu alandaki gelişmeler hız kazanmıştır (Hoşbaş, 2006).

Özetle sismik izolasyon sistemi, yapıyı zeminden ayırır ve düşey yönde yapıya rijitlik yatay yönde de esneklik kazandırır. Tasarım aşamasında izolatörler için hedeflenen yer değiştirme sınırları içerisinde yapı hareket yapacak şekilde esneklik kazanmış olur ve kullanılan izolatör birimleri üst yapıyı zeminin hareketinde izole etmiş olur. Günümüz yapı stoku için sistemin sağladığı bu avantajlar deprem karşısında yapıya yüksek performans ve depreme dayanıklılık kazandırır.

### 1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Çok yakın zamanda ülkemiz, Kahramanmaraş merkezli AFAD verilerine göre 7,7 $M_w$ ve 7,6 $M_w$ büyüklüklerinde meydana gelen iki deprem ve peşi sıra Hatay merkezli tamamen bağımsız 6,4 $M_w$ ve 5,8$M_w$ büyüklüklerindeki depremlerle sarsılmıştır. Gerçekleşen depremler 11 ili etkilemiş ve yüzlerce binanın enkaz olmasına çoğu yapının kullanılamaz duruma gelmesine sebep olmuştur. Asrın felaketi olarak nitelenen depremlerle meydana gelen ağır yıkımlar sonucunda resmi rakamlara göre 50 binin üzerinde kişi hayatını kaybetmiş, binlerce insanın yaralanmıştır. Cumhuriyet tarihimizin en yıkıcı ve yakıcı afeti olan bu depremler ülkemizin depremlere karşı yetersiz kaldığını açıkça gözler önüne sermiş ve depreme dayanıklı yapı tasarımının özellikle ülkemiz için ne kadar hayati önem taşıdığını bir kez daha gözler önüne sermiştir.

Bu çalışma kapsamında da depreme dayanıklı yapı tasarımının betonarme yapı üzerinde oluşturacağı etkilerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda TBDY2018 yönetmelik kurallarına uygun olacak şekilde inşa edileceği varsayılan bir kamu binası sırasıyla ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü ve eğri yüzeyli sarkaç izolatörlü olarak modellenerek analizleri yapılmıştır. Orta yüksekliğe sahip 3B betonarme yapının bu üç duruma ait deprem performanslarının zaman tanım alanında lineer olmayan analizlerle sap2000 programı kullanılarak incelenmiştir. Analizlerin gerçekçiliğini sağlamak amacıyla kullanılacak olan ivme kayıtları yapının yapılacağı sahaya ait zemin özellikleri ve konuma göre (11 deprem ivme kaydı) seçilip ölçeklendirilmiştir. Çalışmanın amacı kullanılan farklı türde

izolatörlerin (KÇE ve EYS) kullanılmasının deprem taleplerinde ve yapının sismik performansında oluşturacağı değişikliklerin neler olduğunu incelemektir. Üç faklı mesnet durumuna sahip yapının analiz sonuçları elemanlar üzerinde ve katlar seviyesinde oluşacak olan etkiler karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve yorumlanmıştı. Her yapı için ayrı ayrı oluşacak kat kesme kuvvetleri, kat göreli ötelenmeleri, taban seviyesinde oluşacak kesme kuvvetindeki değişimler ve yapı periyodunda meydana gelecek değişimler incelenmiştir.

### 1.2. Konu ile İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar

Sismik izolasyon yöntemi son yıllarda yenilikçi bir onarım ve güçlendirme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır ve özellikle yirminci yüzyıl sonlarından beri her geçen gün kullanım alanı genişlemektedir. Yöntemin temel hedefi yapıya gelen deprem etkilerinin azaltılması yani izolatör katında izole edilerek yapının depremin yıkıcı etkilerinden korunmasıdır. Aslında yenilikçi bir yöntem olarak bahsedilse bile temel ve üst yapının ayrılması fikri çok uzun yıllardır bilinen yalnızca uygulaması yaygın olmayan bir yöntem olmuştur. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler, depremlerin oluşturduğu olumsuz durumların giderilmesi için yenilikçi güçlendirme yöntemlerden biri sismik izolasyon yönteminin gelişmesini ve yaygınlaşmasını sağlamıştır. (Hoşbaş, 2006)

Sismik izolasyon alanında yapılan ilk çalışmalara mühendis olan David Stevenson öncülük etmiş 1868 yılında konuyla ilgili "Notice of Aseismatic Arrangements, adapted to Structures in Countries subject to Earthquake Shocks" başlıklı makalesini yayınlamıştır. Stevenson bu alanda deneysel çalışmalar da yapmış fakat bazı problemlerden dolayı patent girişiminde bulunmamıştır. Stevenson ile aynı yıllarda Jules Touaillon yapı için bilyalı bir sistem üzerinde çalışmalar yapıp ilk patenti almıştır. Çok yakın tarihlerde A. F. Cooper da bu alanda çalışmalar yaparak deprem etkilerini sönümleyici elastik bir temel için patent aldı. Bu fikir yapı temeli için kauçuk sistemler kullanımını içermekteydi.

Mühendis ve aynı zamanda jeolog olan profesör Dr. Milne 1876-1895 yılları arasında çok sayıda bilimsel çalışma yapmış ve zeminin yalıtılması fikrinin savunucusu olmuştur. Literatüre yaptığı bu olumlu katkılar onun "Modern Sismolojinin Babası" olarak da anılmasını sağlamıştır. Temel davranışını deneysel

olarak incelemek için demir bilyeler üzerine oturan ahşap bir yapı inşa etmiştir. Yaptığı bu model üzerinde sismik deneyler yaparak incelemiş ve sonuçlarını rapor haline getirmiştir. Bilyeli yapı rüzgâr yükü etkisine bile sismik davranış göstermesi sistemin ilk konumuna geri dönememesi uygulanan bu yöntemin kullanım alanı bulamamasına neden olmuştur. Mevcut problemin çözümü için yeni yeni yöntemler ve fikirler ortaya çıkmıştır.

1909 yılında Doktor J.A. Calantarients taban izolasyonu alanında yeni bir yöntem uygulamaya başlamıştır. Yapım aşamasında üst yapı ve zemin arasına mika veya kumdan oluşan bir izolasyon katmanının eklenmesinin yapının sismik yalıtımını artıracağı fikrini savunmuştur. İlerleyen yıllarda gelişen teknoloji izolasyon sisteminde de gelişmeleri beraberinde getirmiş ve felaketlere sebep olan yıkıcı depremlere karşı umut verici uygulamalar yapılar üzerinde uygulanmaya başlamıştır. Bu doğrultuda 1921 yılında İmperial Hotel sismik izolasyon sistemine uygun şekilde Tokyo'da inşa edilmiştir. Yapının temeli sağlam zemine ankastre olarak inşa edilmiş sağlam zemin altına yumuşak bir tabaka üzerinde konumlandırılmıştır. Fikrin Frank Lloyd Wright tarafından ortaya atılmış ve inşası gerçekleştirilen İmperial Hotel Tokyo depremini taban izolasyon sistem sayesinde büyük hasarlar almadan atlatmıştır.

Taban izolasyon sistemleri için kauçuk tip izolatör sistemleri geliştirilmiş bu doğrultuda ilk kez kauçuk izolatör 1969 yılında inşa edilen bir okul binasında kullanılmıştır. Bu uygulama modern anlamda sismik izolasyon uygulamasının ilklerinden olmuştur. Fakat uygulamada kullanılan kauçuk izolatör sisteminde kauçuk tabakalar arası çelik levhaların bulunmaması izolatörün düşeyde istenilen rijitliği vermemesine neden olmuştur.

Özpalanlar (2004), çalışmasında depreme dayanıklı yapı tasarımı hakkında ve sismik izolasyon sisteminin uygulamaları hakkında detaylı bilgiler vermiştir. Sismik koruma tekniklerini aktif ve pasif koruma şeklinde iki başlık halinde incelemiştir. Sap2000 programında modellemiş olduğu 2 farklı yapı için analizler gerçekleştirmiştir. İlk olarak altı katlı bir yapıyı beş farklı sismik koruma alternatifine göre modelleyip analiz etmiştir. Benzer işlemleri 2 katlı yapı içinde yapmıştır. Sonuç olarak sismik izolasyon yönteminin ve enerji sönümleyici

sistemlerin uygulanası yapıda deprem etkilerini önemli derecede azalttığını belirmiştir

Yücesoy (2005), çalışmasında sismik izolasyon uygulaması hakkında derlemiş olduğu genel bilgilerden bahsetmiştir. Ülkemizde bu uygulama hakkında bir yönetmelik olmadığından diğer ülkelerin sahip olduğu yönetmeliklerden bilgiler sunmuştur. 5 katlı bir yapı üzerinde önce ankastre mesnetli daha sonra sismik izolasyonlu olarak analizlerini yapmıştır. Analizlerini seçmiş olduğu İzmit ve Erzincan deprem kayıtları altında sap2000 programında zaman tanım alanında gerçekleştirmiştir. İzolatör birimi olarak kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanmış ve hesaplamalarını buna göre belirlemiştir. Sonuç olarak analizlerin karşılaştırılmasıyla izolatör uygulamasının depremden kaynaklanacak olumsuz etkilerin azalttığını, göreli kat ötelenmelerinde ankastre sisteme göre azalmanın olduğu ve periyod değerinin hedeflenen seviyede arttığını belirlemiştir.

Urgun (2006), sismik izolasyon sistemini ve bu sistemle inşa edilen yapıları incelemiştir. İzolasyon sistemi hakkında incelenen bilgileri detaylı olarak yönetmeliklerden incelemiş ve çalışmasında da detaylı olarak sunmuştur. Üç farlı izolatör sistemli ve ankastre yapının zaman tanım alanında analizi sap2000 programı yardımıyla yapılmış ve elde edilen göreli kat ötelemeleri, maksimum kat ivmeleri, taban kesme kuvvetleri ve periyotları incelenerek yorumlanmıştır. Son olarak izolasyon sisteminin avantajları ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Hoşbaş (2006), çalışmasında öncelikli olarak sismik izolasyon yöntemi hakkında bilgiler vermiş teoriyi detaylıca açıklamıştır. Devamında da seçmiş olduğu çok katlı bir betonarme yapıyı hem sismik izolatör kullanarak hem de betonarme perdeler kullanarak güçlendirmiş ve yapının güçlendirme öncesi durumuyla karşılaştırmıştır. Sap2000 programında modellemiş olduğu yapılar için seçmiş olduğu deprem kaydını kullanarak zaman tanım alanında lineer olmayan analiz yöntemini kullanarak analizlerini gerçekleştirmiş. Her iki yöntem içinde elde edilen periyot değerlerinin istenilen düzeyde olduğu ve mevcut yapıya göre göreli kat ötelenmelerinin istenilen seviyelerde sınırlandırıldığı belirlenmiştir. Son olarak yapılan maliyet karşılaştırmalarına göre her iki yönteminde maliyeti artırdığını fakat izolatör uygulamasının daha ekonomik olduğu sonucuna varmıştır.

Demir (2008), çalışmasında sismik izolasyon sistemini, izolatörlerin çalışma prensipleri uygulanması ve boyutlandırılmasını incelemiş ve açıklamıştır.ve literatürden derlemiş olduğu izolatör sisteminin uygulandığı yapılar hakkında bilgiler vermiştir. Çalışmalarının devamında mevcut olan bir ARGE binasını izolasyonlu olarak sap2000 programı aracılığıyla tasarlamış 1. Ve 4. Dereceden deprem bölgeleri için analiz edip maliyetlerini karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Elde etmiş olduğu analiz sonuçlarından izolasyon sisteminin uygulanmasıyla periyot değerinin 3 kat arttığını gözlemlemiş. Deplasman değerleri karşılaştırıldığında 4. Derece deprem bölgesi için yapılan analizlere göre deplasman değerlerinin diğerlerine kıyasla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Son olarak maliyetler karşılaştırıldığında izolasyon sisteminin uygulandığı yapının yaklaşık maliyet değerlerinin izolasyonsuz sisteme göre %7.48 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Yurdakul (2011), çalışmasında, farklı zemin yapısında modellemiş olduğu çerçeve sistemi hem izolatörlü hem de izolatörsüz olarak analiz etmiştir ve yapının dinamik davranışı üzerinde zemin eğile bilirliğinin etkisini incelemiştir. 8 katlı çerçeve yapı ile zemini arasına üç eğrilikli izolatör sistemi yerleştirilerek analiz adımlarına geçilmiştir ve elde edilen sonuçlar izolasyonlu ve izolasyonsuz yapı için zemin etkileşimi içerip içermeme durumuna göre incelenmiştir. Analizlerde farklı deprem kayıtlarının kullanılmasıyla zaman tamım alanında analiz yöntemiyle yapılmıştır. Son olarak TESS mesnedi ile tasarlanan Gülburnu Köprüsü modellenerek köprü izolasyonsuz, TESS mesnetli ve ÜESS mesnetli olarak analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yıldırım (2011), çalışmasında 4 farklı plana sahip mevcut yapı örneklerini seçmiş olduğu üç farklı yazılımda aynı yapı malzemeleriyle modellemiş ve yapıların performans değerlendirmiştir. Çalışmasında paket programların birbirleriyle olan farklılıklarını tespit etmeyi ve yönetmelik kriterlerine uygun çalışan bu programların güvenilirliğinin incelemeyi amaçlamıştır. Idestatik, Sta4cad ve Probina programlarını ve 2007 Türk Deprem Yönetmeliği kullanarak modelleme yapmış ve analizlerini gerçekleştirmiştir. Elde ettiği analiz sonuçlarına göre deprem kesme, deprem moment talepleri, kesme ve moment kapasitelerini karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda üç yazılımda da farklı moment değerlerinin hesaplandığını (kullanılan farklı tekniklerden kaynaklı) ek olarak farklı kesme kuvvetlerinin oluştuğunu

gözlemlemiştir. Bina yapısının karmaşıklığının artması bu farklı elde edilmiş değerlerdeki farkın arttığı sonucuna varılmış.

Karakurt (2015), çalışmasında sismik izolasyonlu yapılarda kat adedinin etkisini hem yapı davranışı açısından hem de maliyet açısından incelemiştir. Seçmiş olduğu 5, 10, 15 katlı hastaneleri tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörler ile izolasyonlu ve sabit mesnetli olarak modellemiş analiz etmiştir. Analizler sonucunda periyot değerlerini karşılaştırmış ve 15 katlı yapının hedeflenen periyot değerinden daha büyük değer aldığı gözlenmiş ve bu durum da 15 kat ve üzeri yapılarda yani yüksek yapılarda izolasyon yönteminin uygun olmadığı sonucuna varılmış. Aynı şekilde izolasyonlu yapıda azalması gereken kat kesme kuvvetleri içinde15 katlı yapıda tam tersi olarak artma gözlemlenmiş. Maliyet olarak izolasyon uygulamasının ek bir maliyet artışına neden olduğu tespit edilmiş.

Baki (2015), çalışmasında sismik izolasyon sisteminin yapıda oluşacak deprem kuvvetlerini ne derece etkilediği üzerinde durmuştur. Bu amaçla 3 katlı olarak seçtiği bir betonarme binayı önce ankastre mesnetli sonra sismik izolasyonlu olarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi yardımıyla analiz etmiştir. Elde ettiği sonuçları her iki durum için karşılaştırarak kat kesme kuvvetlerinde izolasyonlu yapı için azalmaların olduğu sonucuna varmıştır.

Sevim (2016), çalışmasında DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre tasarlamış olduğu çerçeveli, perde-çerçeveli mesnetleri ankastre olan hastane yapılarını UBC97 yönetmeliğini kullanarak çerçeveli olan yapıyı sismik taban izolasyonlu olarak tasarlamıştır. Sap2000 programıyla tasarlamış olduğu bu üç yapı için seçmiş olduğu deprem kayıtları altında zaman tanım alanında analizlerini yapmış ve elde ettiği analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır. Değişen taşıyıcı sistemin ve sismik izolasyon uygulamasını yapının deprem performansında meydana getirdiği yapısal değişimleri belirlemiştir. Yapıların periyot değeri yer değiştirme değeri katlar arası göreli kat ötelenmelerini tabanda oluşan kesme kuvvetlerini kolon uç momentlerini karşılaştırmıştır. Sonuç olarak sismik izolasyon uygulamasının yapının deprem performansını olumlu yönde etkilediğini belirlemiştir.

Erşeker (2017), çalışmasında Opensees programı aracılığıyla sismik taban izolasyonu uyguladığı bir yapının, değişen deprem etkime açılarının sistemin izolatörlerdeki oluşacak olan maksimum deplasmanda meydana gelecek artışın

belirlenmek için çalışmıştır. Sismik izolasyon sistemini kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanarak modellemiş ve çift doğrultulu birbirine dik her iki yatay eksenli deprem kaydı kullanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. A analizler hem orijinal deprem kaydına göre hem de aynı deprem kaydını belirli açılarda ($10^o$) döndürerek sisteme etkitilmiştir. Sonuç olarak her analizden elde ettiği maksimin izolatör deplasmanlarını incelemiş ve her durum için sonuçları karşılaştırmıştır. Karşılaştırmalar sonucu elde ettiği ortalama artış miktarını ön tasarım aşamasında hesaplanan maksimum deplasman değeri için kullanılabilecek bir çarpan olarak önermiştir.

Çoban (2018), çalışmasında tarihi bir camiyi üç boyutlu olarak modellemiş ve sismik izolasyon yöntemini kullanarak yapının deprem performansını iyileştirmiştir. Yapını orijinal dokusuna dokunulmadan uygulanabilir olması izolasyon sistemi tarihi yapıların deprem performansını güçlendirirken tercih edilebilir bir alternatif olduğu üzerinde durulmuştur. Birkaç farklı deprem kaydı kullanılarak izolatörlü ve izolatörsüz olarak her iki durum içinde yapının deprem performansı incelenmiştir. Sismik izolatörlerin kullanılmasıyla caminin periyodu istenilen seviyeye artırılmıştır ve bu uygulamanın tarihi yapının deprem performansını iyileştirmiştir.

Çetinöz (2018), çalışmasında bitişik nizam yapıların deprem etkisiyle çarpışmaların etkisinin, taban izolasyon sisteminin kullanılmasıyla meydana gelen değişimleri incelemiştir. Çalışmada mevcut üç bloklu bitişik nizam bir okul binası sap2000 programında modellenmiştir. Yapı önce gerçek durumu olan izolatörsüz haliyle seçilmiş deprem kayıtlar altında analiz edilmiştir. Sonrasında aynı yapı izolatörlü haliyle tekrar analiz edilmiştir. Elde edilen çarpışma sonuçları, taban yer değiştirmeleri, üstyapının yer değiştirmede periyot değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Altun (2018), çalışmasında bağ kirişlerle bağlanmış perdelerin deprem davranışının çelik sönümleyicilerin eklenmesiyle nasıl değişeceğini incelemiş ve elde ettiği sonuçları yorumlamıştır. Bunun için sonlu eleman programında modellediği iki farklı yapıyı zaman tanım alanında seçmiş olduğu 20 farklı deprem kaydı için analiz etmiştir. Yapılardan birini normal bağ kirişlerle modellemiş diğer yapıyı da çelik sönümleyicili yastıklarla modellemiştir. Elde ettiği sonuçları her iki durum için

karşılaştırmış ve sonuç olarak kullanılan çelik yastıkların yapının deprem performansını iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Güneş (2018), çalışma kapsamında İstanbul'da bulunan ABYYHY-1975'e göre inşa edilmiş bir okul binasını öncelikli olarak performans değerleri üzerinde incelemelerde bulunmuştur. TBDY-2018 yönetmeliğine göre güçlendirmesini yapmıştır. Yapının mevcut hali ile güçlendirilmiş halinin yönetmelik dikkate alınarak seçmiş olduğu deprem kayıtları altında doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerini sap2000 programını kullanarak yapmıştır. Sonuç olarak mevcut yapının 2018 yönetmeliğinde istenilen şartları sağlayamadığını tespit etmiştir. Bu durumda güçlendirme yapılarak istenilen şartlar gerçekleştirilmiştir. Her iki analiz sonuçlarının karşılaştırılmasıyla güçlendirme yapılan yapıda periyod değerinin küçüldüğü yer değiştirme değerlerinin büyük oranda azaldığı ve yapının rijitliğinin arttığı sonucuna varılmıştır.

Çavdar (2019), çalışmasında sismik izolasyon yöntemini kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanarak bir yapı modeli üzerinde ulusal/uluslararası deprem yönetmelikleri doğrultusunda uygulamıştır. Analizler açık kaynak kodlu OpenSees programı ile seçilmiş deprem kayıtlarının her iki yatay bileşen kullanılarak yapılmıştır. Maksimum izolatör deplasmanını belirlemek üzere yapının zaman tanım alanında analizini gerçekleştirmiş ve üst yapının kütle dışı merkezliğinin maksimum izolatör deplasmanı üzerindeki etkisini incelemiştir.

Kurt, Z. (2019), deprem kuvvetleri altında ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu 12 kat olan bir hastane binasının dinamik analizlerini seçmiş olduğu 11 farklı deprem kaydını ve bu kayıtların 90 derece döndürülmesiyle elde edilen kayıtları kullanarak zaman tanım alanında hesap yöntemini kullanarak TBDY 2018 göre yapılmıştır ve elde edilen sonuçları her iki bina için de karşılaştırılmış. Ek olarak elde etmiş olduğu sonuçlar ile sismik izolasyon kullanımının kat yer değiştirmelerini, kat ivmelerini ve kat kesme kuvvetlerini azalttığını elde etmiştir.

Yiğit (2019), çalışmasında göçme durumunda olduğunu varsaydığı 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarladığı bir yapı için farklı iki güçlendirme yöntemi uygulamıştır. Yöntemlerden biri yapının mevcut elemanlarının mantolanarak ve yeni yapı elemanları eklenerek yapının mevcut rijitliğini artırılmasına dayanan geleneksel yöntemdi. Diğer yöntemde de yenilikçi yöntem olan yapıya sismik izolatör eklenerek

yapı zemin arasında izolasyonu sağlayarak enerjinin sönümlenmesi yöntemidir. Sonuç olarak elde edilen üç yapı için zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Ve elde edilen analiz sonuçları, yapıların periyodu, kat kesme kuvvetleri, kat yer değiştirmeleri ve göreli kat ötelenmeleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Karşılaştırmalardan elde edilen sonuca göre yenilikçi güçlendirme yöntemiyle güçlendirilen yapının diğer yapılara göre daha iyi performans gösterdiği belirtilmişti. Son aşamada her iki güçlendirme yöntemine ait maliyet analizleri yapılmış ve her iki güçlendirme yöntemi için maliyetler yaklaşık değerler elde edilmiştir.

Çelik (2019), çalışmasında sismik izolasyon uygulamasının tasarım aşamasında karşılaşılabilecek problemlerin birkaçını belirlemiş ve bu problemlerin giderilmesi konusunda tasarlamış olduğu model üzerinden yeni yaklaşımlar önermiştir. Seçtiği üç problem üzerinde durmuş ve modellediği yapı üzerinden bu üç problem için çözüm önerisi sunmuş. İlk olarak yakın fay etkisine maruz yapının sismik izolasyon uygulanması sonucu artan deplasman talebinin izolatör maliyetini aşırı yükselttiğini belirlemiş ve bunun için deplasman talebini düşürmek için sisteme viskoz sönümleyici ilave ederek zaman tanım alanında analiz etmiş. İkinci olarak ortak izolasyon döşemeli genleşme derzlerine sahip 3 bloklu bir yapının modellemesi sonucu faklı rijitliklere sahip olduğunu ve bu farklılığın kesme kuvvetlerinin artışına neden olduğunu belirlemiş. İlave damperler ekleyerek üstyapı bloklarının sönüm oranını yaklaşık hale getirmiş. Son olarak düşey yer ivmesinin zaman tanım alnında analiz esnasında hesaba katılmasının kesme kuvvetlerini 1,5 kat artırdığını görmüş ve düşey yönde de sismik yalıtımın yapılması gerektiğini vurgulamış.

Osman (2020), çalışmasında doğada lineer olmayan davranış sergileyen sismik izolatörler için yapısal analizde kolaylık olması için belirli formüllerle eşdeğer doğrusal özelliklerini elde etmiştir ve doğrusal olarak modellemiştir. Yapıda bulunan ekipmanın eşdeğer doğrusal modellenip doğrusal analizi yapılan yapıda ve doğrusal olmayan modelde ve doğrusal olmayan analizde sismik tepkisini incelemiştir. Tezin amacı kritik ekipman için her iki durumda gerçek durumdan ne kadar saptığını belirlemektir. Karşılaştırma sonucunda doğrusal olmayan modeldeki kritik ekipmanın ivmesinin doğrusal modelden çok daha fazla olduğu gözlemlemiştir. Bu durumda doğrusal analizde kritik ekipmanın tepkisinin hafife alındığı belirtilmiştir.

Şahin (2020), kauçuk izolatör üzerine inşa edilmiş Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi soğuk hava koşulları ve ek olarak farklı atmosferik sıcaklık etkisi altındaki modal davranışı operasyonel modal analiz yöntemi kullanılarak incelemiş. Yapılacak yapılarda; kauçuk izolatör kullanılan veya kullanılması planlanan soğuk bölgelerde, bu malzemenin sıcaklıktan etkilendiği ve rijitlik değişimine uğrayarak karakteristik özelliklerinin değiştiği ve hatta aşırı soğukta kristalize olarak cam özelliği gösterdiği dikkate alınarak hesap yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca kauçuk izolatör kullanılan eski yapılarda ise izolatör katının iklimlendirme çalışması ile izolatörlerin çalışması gerektiği tasarım çalışma sıcaklığın sağlanması gerekmektedir.

Yıldız (2020), çalışmasında seçmiş olduğu bir hastane binasını sap2000 programında modellemiş ve sismik izolasyon yöntemini temel seviyesinde bulunan kolonları için iki farklı konumda olacak şekilde uygulamıştır. İlk uygulamada izolatör sistemini (yüksek sönümlü kauçuk izolatör) kolonun alt ucuna yerleştirmiş devamında izolatörün konumunu değiştirerek kolonun üst ucuna taşımış ve her iki duruma ek olarak yapıyı izolatörsüz olarak da analiz etmiştir. Son olarak farklı konumlandırdığı izolasyonlu yapılar ve izolasyonsuz yapı için elde ettiği analiz sonuçları ve maliyetlerini karşılaştırmıştır.

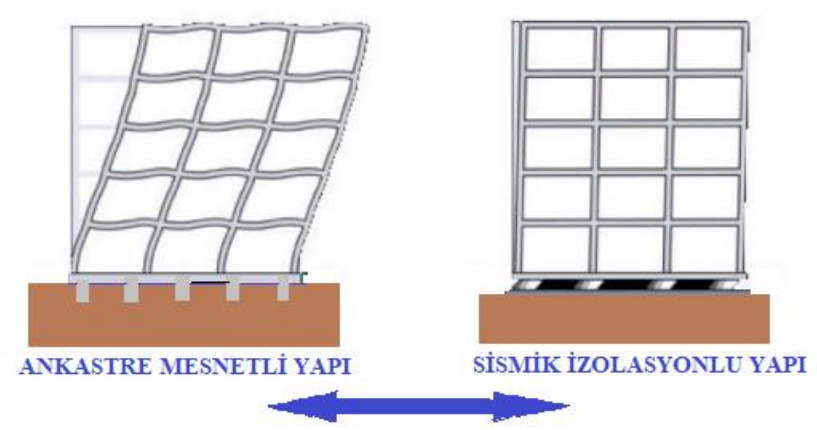
Zulfakar (2021), çalışmasında tek, çift ve üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatörler kullanılarak sismik izolasyonu sağlanmış beş katlı basit bir yapının zaman tanım alanında analizleri ABAQUS sonlu eleman programı yardımıyla üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiş. Ayrıca, üç eğrilikli sarkaç izolatörler için farklı sürtünme katsayıları ve sürtünme yüzeyi eğrilik yarıçapları dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiş. Analizlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak farklı sürtünme yüzeyi sayısına, farklı sürtünme katsayılarına ve eğrilik yarıçaplarına sahip izolatörler kendi aralarında ve ankastre mesnetli sonuçlarla karşılaştırılarak yapının deprem davranışı üzerindeki etkileri incelenmiş.

### 1.3. Sismik İzolasyon Metodu

Geçmişte meydana gelmiş olan son derece yıkıcı depremler insanları can ve mal kaybına uğratmıştır. Depremin insanlar üzerindeki bu olumsuz etkilerinin azaltılması için depreme karşı alınacak önemler üzerinde çok sayıda çalışmalar

yapılmış ve günümüzde de yapılmaya devam etmektedir. Bu doğrultuda deprem araştırmacılarının hedefi sadece can kayıplarının önlenmesi değil aynı zamanda mevcut yapıların deprem sonrasında da fonksiyonelliğini devam ettirmesi ve tarihi yapıların korunabilmesi üzerinde çok sayıda çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan ve yapılacak olan bu çalışmalarla depreme dayanıklı yapı tasarımı son derece önem kazanmıştır. (Doğan, 2009)

Gelişen teknolojik imkanlarla depreme dayanıklı yapı tasarımı alanında yenilikçi yöntemlerin ortaya çıkmasını ve uygulama alanı bulmasını sağlamıştı. Bu yöntemlerden biri olan sismik izolasyon yöntemi aynı zamanda genel olarak taban seviyesinde uygulandığından "taban izolasyonu" olarak da adlandırılmaktadır. Şekil 1'de sismik izolasyonlu bir yapı ve ankastre bir yapının yatay kuvvet etkisindeki davranışı görülmektedir. Sismik izolasyon sistemi sadece taban seviyesinde uygulanmamakta aynı zamanda yapıların farklı bölgelerinde de uygulamaları mevcuttur (Naeim ve Kelly, 1999). Yapı ile temeli arasına yerleştirilen esnek yapı birimiyle sağlanan yatay yönde esneklik ve düşey yönde rijitlik sismik izolasyon metodunun temel hedefidir. Kullanılan bu esnek birimler izolatör birimleridir. Yapının kullanılan izolatör birimi sayesinde belirli miktarda deplasman yapmasıyla yapının zeminle olan etkileşiminin azaltılması sağlanır bunun sonucunda üst yapı oluşan yer hareketinden korunmuş olur (Özpalanlar, 2004).

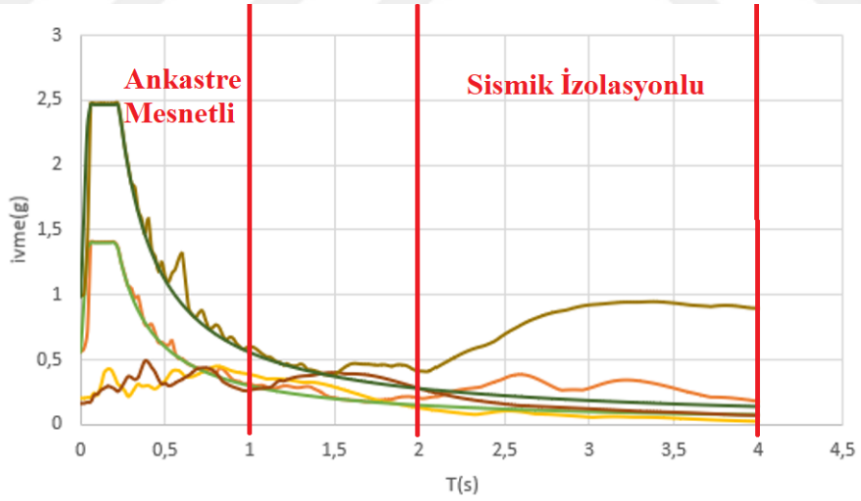



**Şekil 1.** Ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu yapı davranışı

Sismik izolasyon anlayışında deprem enerjisi yapıya özel olarak yerleştirilen sismik izolasyon elemanları sayesinde sönümlenerek istenilen sismik performans elde edilmektedir. Bu yöntemle yapının dayanım değerlerinde değişme olmadan

depremin yapı üzerindeki talebi azaltılarak depreme dayanıklı yapı tasarlanmış olur. Kullanılan izolatör birimleri bu aşamada yapıya deprem etkisiyle gelen enerjiyi küçülterek depremin yapı üzerindeki talebi azaltmış olur ve bu sayede yapının depreme karşı dayanımı artmış olur (Doğan, 2009). Bu sistemin asıl amacı yapının kütlesine, rijitliğine ve sönüm değerine bağlı olan doğal periyod değerini artırarak depremin hâkim periyod değerinden farklı değerleri ulaşmasını sağlayarak oluşa bilecek periyot değerlerinin çakışmalarını önleyip yapıyı rezonansa girmekten korumaktır.

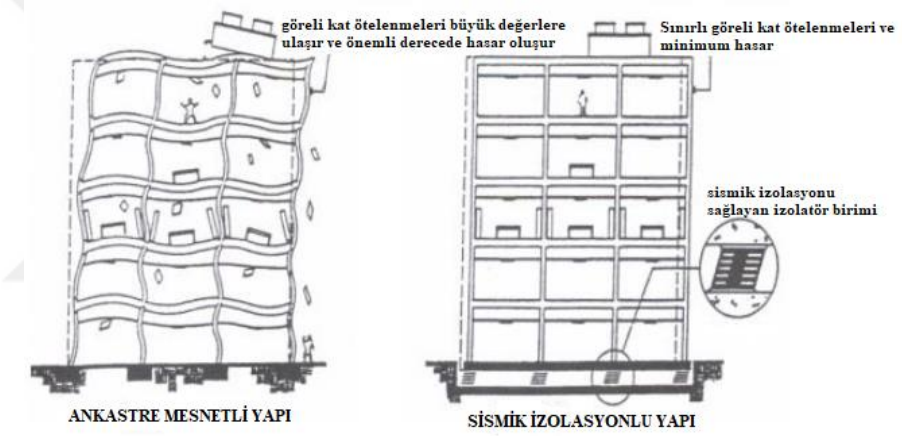
Depremin itici gücüyle yapı periyodunun zemin periyoduyla çakışması yani yakın değerlere ulaşmasıyla yapı rezonansa girer ve yapının rezonans durumundan kaynaklı olarak ağır hasar alması kaçınılmaz olur. Her ne kadar yıkıcı bir deprem olmasa da yapı periyodunun zemin periyoduyla çakışması sonucu yapı yıkılır ve beklenmedik sonuçlarla karşılaşılabilir. Yapının rezonans girerek ağır hasarlar almasını önlemek için periyot değerleri uzun olan yapılar kısa periyot değerine sahip zeminler üzerine aynı şekilde periyot değeri kısa olan yapıların uzun periyot değerine sahip zemin üzerine inşa edilmesi önemli uygulamalardan biridir (Özpalanlar, 2004).




**Şekil 2.** Sismik izolasyonun yapının periyot ve ivme değeri üzerinde etkisi

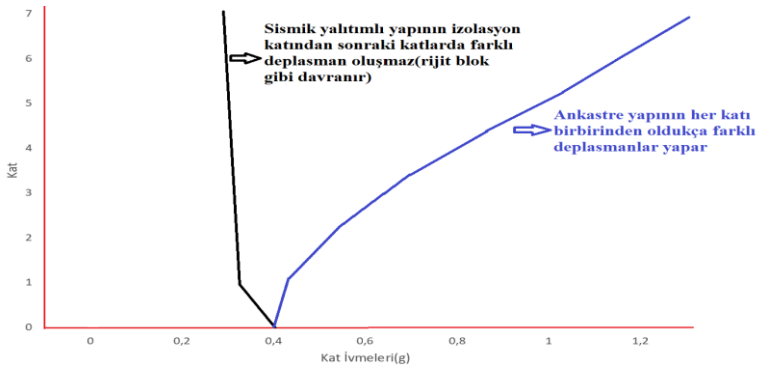
Deprem etkisinden dolayı ortaya çıkan enerjiye maruz kalan yapı bu enerjiyi yapı içerisinde yer değiştirme, yapısal olan ya da yapısal olmayan elemanlarda çatlama, eğilme oluşmasıyla tüketir. Enerji yapı içerisinde tüketilirken yapıda meydana gelecek çökmeler en büyük problem olmaktadır. Geleneksel depreme

dayanıklı yapı tasarımında yapının enerji tüketirken aynı zamanda çökmemesi ve can kayıplarına yol açmaması hedeflenir. Bu amaç doğrultusunda yapı yüksek rijitliğe sahip olarak veya süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanır. Fakat rijitliğin artırılması yapının periyot değerinin düşmesine ve buna bağlı olarak ivme değerinin artmasına sebep olur (Şekil 2) (Yücesoy, 2005). Artan ivme değeri de yapının daha fazla deprem yüküne maruz kalacağı anlamına gelir. Süneklik değerinin artırılması da yapının istenen değerden daha fazla göreli kat ötelenmesi yapmasına neden olacağından geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımı için yenilikçi çözümler geliştirilmiş. Taban izolatörleri başka bir ifadeyle sismik izolasyon metodu yapının sismik performansını istenen şekilde artıran yenilikçi çözümlerden biri olarak kullanılmaktadır.




**Şekil 3.** Sismik izolasyon uygulamasının yapının kat ötelenmelerine etkisi

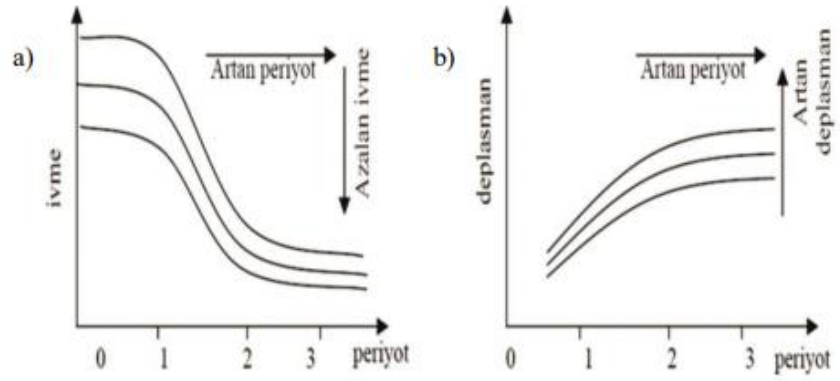
İzolasyon sistemi yapının yer değiştirme kapasitesini artırarak deprem esnasında esnek bir davranış sergilemesini sağlar. Sözü edilen yer değiştirmenin önemli bir kısmı izolatör katında gerçekleşir (Şekil 4). Yapıya kazandırılan bu esneklik özellikle yapının katlar arasındaki göreli kat ötelenmelerini sınırlandırarak katlar arası ivme değerlerinde önemli düşüşler sağlanır ve üst yapının rijit bir hareket yapmasını sağlayarak yapı güvenliği sağlanmış olur (Şekil 3) (Hoşbaş, 2006). Deprem doğası gereği düşeyde yatay bileşenine göre daha düşük seviyede etkide bulunduğu için kullanılan izolasyon sistemi de düşeyde yüksek rijitlik ve yatayda yüksek esnekliğe sahip yer değiştirmesi mümkün olan bir sistem olarak tasarlanmıştır.




**Şekil 4.** Ankastre yapı ve İzolasyonlu Yapı Davranışı

Sahip olması gereken özellikleri bakımından sismik izolasyon sistemi üst yapının ağırlığı altında özelliğini kaybetmeden çalışabilmesi için yüksek düşey rijitliğe, izolasyonlu yapının ankastre mesnetli olan yapıya göre frekans değerinin çok daha altında bir değer alabilmesi için düşük yatay rijitliğe sahip olması gerekir. Aynı zamanda sistem düşey yüklere karşı yeterli dayanıma sahip olması ve yönetmelikte belirtilen sınırları aşmayacak şekilde yer değiştirme yaparak enerji yutabilmelidir. Aynı zamanda deprem sonrasında izolasyon sistemi olan yapı deprem öncesindeki orijinal pozisyonuna geri dönebilmesi gerekir. Son olarak izolasyon sistemi yalnızca deprem değil diğer yatay yükler içinde yüksek yatay rijitliğiyle özelliğine sahiptir (Soyluk, 2010).

Ülkemizde mevcut orta yüksekliğe sahip yapılar 0.1-1 s periyot aralığında değere sahiptir. Bu periyot değeri meydana gelen birçok depremin baskın periyod değeri olarak da bilinmektedir. Baskın periyot aralığında değer alan yapılar meydana gelecek depremlerden oldukça fazla etkileneceği bilinen bir gerçektir. Bu durumda mevcut yapıların ve yapılacak olan yeni yapıların bu baskın periyot aralığından çıkarılarak daha güvenli hale getirilmesi hedeflenir. Sismik izolasyon uygulamasıyla yapının baskın periyot aralığı 0.1-1 s aralığından izolatörün ve uygulama yapılan yapının özelliklerine göre 2-4s aralığına kadar artırılarak sismik koruma sağlanır. Artan periyot değeri yapının tabanında oluşacak olan kesme kuvveti değerinde ankastre mesnetli haline göre yaklaşık olarak %35 azalma sağlar. Aynı zamanda artan periyot azalan ivme ve artan deplasman anlamına da gelir (Şekil 5) (Keskin, 2007).




**Şekil 5.** Artan yapı periyodu-azalan ivme grafiği, Artan yapı periyodu-artan deplasman grafiği

### 1.4. Sismik İzolasyon Yönteminin Avantajları ve Ülkemizdeki Uygulamaları

Geleneksel yapı olarak inşa edilmiş ankastre mesnete sahip bir yapı, izolasyon sistemi uygulanmış yapıya göre dezavantajlara sahiptir. Sismik izolasyon uygulaması yapıyı depreme karşı avantajlı hale getiren bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygulamanın yapıya kazandırdığı birçok teknik avantaj vardır (TC. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011). Özetle bu avantajlar şu şekildedir;

Zemin ve yapı arasında oluşturulan izolasyon katı sayesinde yapıya etkiyecek olan frekansı yüksek titreşimler izolasyon katında karşılanır ve bu sayede üst yapı daha düşük frekanslı titreşim etkisinde kalır.

Ankastre yapıya ait periyot değerinin sismik izolasyon katı sayesinde artırılması başka bir ifadeyle yapıya esneklik kazandırılması anlamına gelmektedir. Yapının artan esnekliği sayesinde deprem sırasında oluşacak yerdeğiştirmeler büyük bir kısmı izolasyon katında gerçekleşir ve bu sayede yapı deprem enerjisini izolasyon katında sönümler (Calvi ve Calvi, 2018).

Artan periyodun sağladığı bir diğer teknik avantaj yapının hâkim periyod değerinin, zeminin hâkim periyod değerinden uzaklaştırılarak yapının rezonansa girmesi engellenir ve yapının güvende olması sağlanır.

İzolasyon katı üstünde kalan yapı üst yapı olarak adlandırılmaktadır ve deprem esnasında rijit blok hareketi yaparak katlar arasında meydana gelecek göreli kat ötelenmelerini yönetmelikte belirlenmiş sınırlar altında kalmasını sağlamaktadır.

Bu sayede yapıda oluşacak büyük göreli kat ötelenmelerinin sebep olacağı hasarlar önlenmiş olur.

İzolasyon uygulaması sayesinde artan periyot değeri sayesinde katlarda oluşacak ivme değerleri azalır ve azalan ivmeler sayesinde yapıda oluşacak depremin olumsuz etkileri sınırlandırılmış olur. Bu sayede yapının güvende olması sağlanır (Harvey ve Kelly, 2016).

Depremin yapı üzerinde oluşturacağı sismik kuvvetlerin sismik izolasyon sayesinde azaltıldığından tasarımı yapılacak sisteminin boyutlandırılmasında daha küçük eleman boyutları yeterli olacaktır.

Sismik izolasyon sayesinde deprem sonrası ilk ihtiyaç duyulacak hayati öneme sahip yapıların örneğin hastane, itfaiye, havaalanları, viyadükler vb. depremden etkilenmeyecek şekilde tasarlanarak hizmete sunulur (Urgu, 2006).

Türkiye'de sismik izolasyon kavramı her deprem sonrasında gündeme gelen bir uygulamadır ve güncellenen yeni deprem yönetmeliğiyle uygulaması yaygınlaşmaya başlamıştır. Sağlık Bakanlığı tarafından inşa edilen yeni hastanelerin deprem etkilerinden korunması amacıyla 100 yatak üzerindeki hastaneler için izolatör zorunluluğu getirmiştir. Giderek yaygınlaşmaya başlayan bu uygulama da ülkemizdeki örnekleri şu şekildedir (Kurt, 2019);

Kocaeli Üniversitesi Hastanesi (2004)

Antalya Havaalanı Terminal Binası

Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi

Adana, Malatya ve Erzurum Şehir Hastanesi (Başta olmak üzere)

Erzurum Eğitim ve Araştırma Hastanesi (2006- ilk)

Erzurum Sağlık Kompleksi (2012)

Van Merkez Sağlık Kampüsü (2012)

Sakarya Bozüyük- Mekece Karayolu Köprüsü

Sabiha Gökçen Havaalanı terminal binası (2008)

Atatürk Havalimanı

Marmara Üniversitesi Başıbüyük Hastanesi (Güçlendirme)

Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi (2013)

Kartal Lütfi Kırdar Eğitim ve Araştırma Hastanesi

Grand Tarabya Oteli

Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) Atatürk Köprüsü (ilk 1993-1998)

Gümüşova- Gerede otoyolu viyadüğü

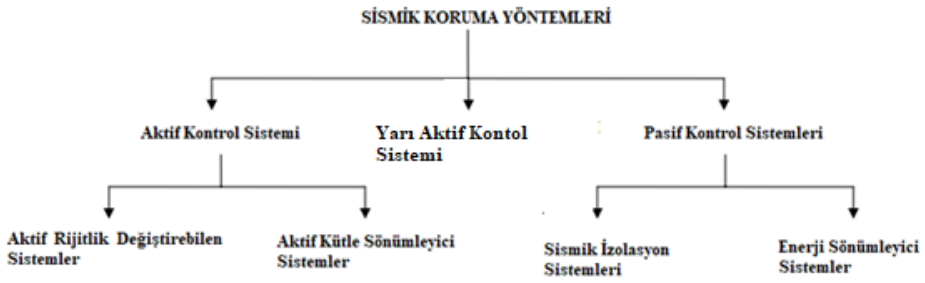
TEB Genel Müdürlüğü Binası

Bitlis Viyadüğü

### 1.5. Sismik Koruma Yöntemleri

Yapılarda dinamik etkilerin sebep olacağı titreşimlerin kontrolü için sismik koruma yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem sayesinde yapı servis ömrü boyunca, tasarım sırasında yapıya yerleştirilen sismik koruma birimleri sayesinde dinamik kuvvetleri karşılayıp yapıyı sismik olarak korur. Depreme dayanıklı yapı tasarımı alanında kullanılan sismik koruma yöntemleri sayesinde depreme karşı yapıya eklenen ilave koruma elemanlarıyla deprem kuvvetleri azaltılır. Kullanılan bu koruma elemanları sayesinde yapıya gelecek olan deprem enerjisi yapı tarafından sönümlenerek kontrol altına alınır (Özpalanlar, 2004).

Sismik koruma yöntemleri uygulama yöntemine göre sınıflandırıldığında aktif koruma sistemleri ve pasif koruma sistemleri olarak genelde iki başlık halinde incelense de hibrit (yarı aktif) koruma sistemlerinde mevcuttur (şekil000). Çalışma kapsamında aktif koruma sistemleri ve pasif koruma sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiş ve pasif koruma sistemlerinin alt başlığı olan sismik izolasyon sistemleri üzerinde durulmuştur (Hoşbaş, 2006).

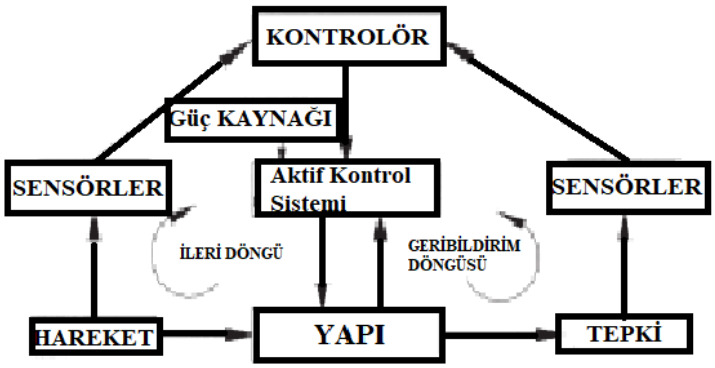



**Şekil 6.** Sismik Koruma Yöntemleri

#### 1.5.1. Aktif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol sitemlerine (PKS) alternatif olarak geliştirilmiş aktif kontrol sistemlerinin (AKS) çalışma mantığı sisteme sürekli enerji sağlanmasına dayanır. Basit olarak sistem kontrol bilgisayarları, aktüatör elemanları ve elektronik

cihazlarından oluşmaktadır. Bu yöntemde yapının önceden ölçülmüş tepkisi için kontrol kuvvetleri oluşturacak büyük bir güç kaynağı(aktüatörler) ilave edilmektedir. Yapıya etki eden dinamik kuvvetlerin ölçülmesi sonucunda sistem için özel geliştirilmiş olan bir algoritma sayesinde kontrol bilgisayarlarında gerekli hesaplamalar yapılır (Torunbalcı, 2004).




**Şekil 7.** Aktif kontrol sisteminin şematik gösterimi

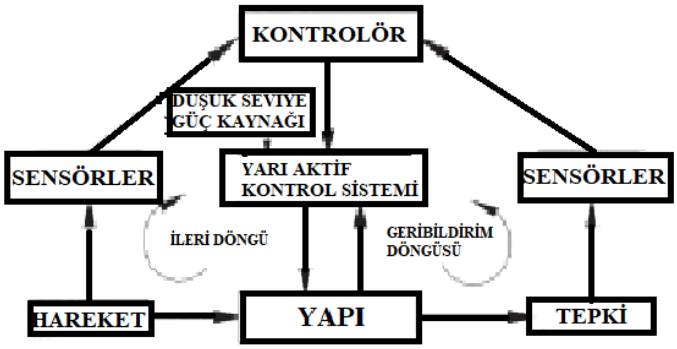
Hesaplamalara uygun şekilde dinamik kuvvetlere karşı koyacak aktif kuvvet mekanizması devreye girer ve bu kuvvetlerin tersi yönde karşı kuvvet üretir. Uygulanan bu ters kuvvet yapıya gelen deprem kuvveti veya herhangi bir dinamik kuvvetin etkisinin azaltılmasını ya da ortadan tamamen kaldırılmasını sağlar ve bunu yaparken dinamik kuvvetin yoğunluğuna göre yapının rijitlik değerini, yer değiştirme miktarını ve yapıya ait bazı değerleri de değiştirmiş olur. Bu sistem yapının ivme değerini aynı zamanda hız değerini de kontrol edebilmektedir. Aktif kütle sönümleyiciler ve aktif rijitlik değiştirebilen sistemler aktif kontrol sistemlerinin uygulamalarındandır ( Symans ve Constantinou, 1999).

### 1.5.2. Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

Yarı aktif kontrol sistemi aktif kontrol sistemlerine benzer şekilde sisteme enerji sağlanması mantığına göre çalışır. Sistemin ihtiyaç duyduğu bu enerji aktif sistemdekine göre çok daha az olduğundan akü benzeri enerji kaynakları kullanılarak sağlanabilmektedir. Sistemin daha az enerjiye gereksinim duyuyor olması sistemin diğer AKS'e göre avantaj sağlamaktadır.

Sistem yarı aktif ve pasif sistemi içerir bir mekanizma sayesinde sismik hareketliliğe karşı çalışır ve yapının güvende kalmasını sağlar. Sistemde kontrolörler geri besleme ölçümünü izler, buna uygun olarak sinyalleri oluşturur ve pasif sistemde olduğu gibi yapı yer değiştirme yaparak uygun kontrol kuvvetleri oluşturulur. Oluşacak bu kontrol kuvvetleri yarı aktif sistem için belirlenen algoritma sayesinde sistemin hareketine karşı oluşturulur.

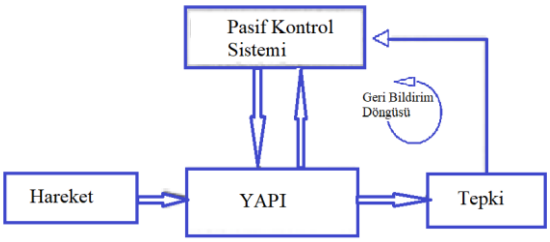
Rijitlik kontrol cihazları, ayarlı kütle sönümleyiciler ve sıvı sönümleyiciler, elektro veya manyeto reolojik sönümleyiciler, sürtünme kontrol cihazları, akışkan viskoz cihazlar yarı aktif kontrol sistemi uygulamalarındandır (Purohit, 2018).




**Şekil 8.** Yarı Aktif Kontrol Sistemleri şematik gösterimi

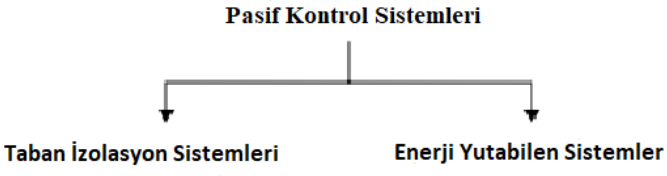
### 1.5.3. Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol sistemleri, kontrol sistemine ek olarak harici bir güç üretebilen mekanizmanın mevcut olmamasıyla diğer koruma yöntemlerinden ayrılmaktadır. Sistem yapıda deprem nedeniyle oluşan enerjiyi yapı içerisinde sönümleyerek yapının güvende kalmasını sağlamaktadır. Yapının güvenliği, yapıya gelen enerjinin sönümlenmesi, yapının rijitliğinin ve dayanımının artırılmasını sağlayacak koruma birimlerinin eklenmesiyle gerçekleştirilir. Sistemin çalışma prensibi yapıya gelecek olan enerjinin sistem üzerinde oluşturacak olduğu talebin azaltılması, enerjinin mümkün miktarda sönümlenmesidir. Sistem enerjinin sönümlenmesi için meydana getireceği kontrol kuvvetlerini yapının hareket etmesiyle sağlayan bir sistemdir (Öztürk, 2007).




**Şekil 9.** Pasif Kontrol Sistemleri şematik gösterimi

Sistem taban izolasyon sistemleri ve enerji yutabilen sistemler olarak iki başlık altında incelenmektedir. Enerji yutabilen sistemler olarak visko-elastik, sürtünme, ayarlı sıvı, viskoz sıvı gibi faklı özelliklere sahip damperler kullanılmaktadır (Soyluk, 2010).



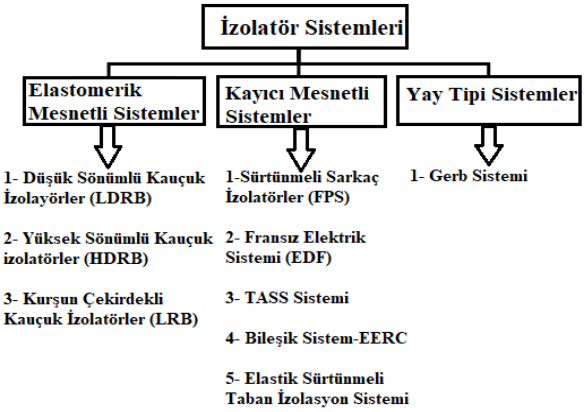

**Şekil 10.** Pasif Kontrol Sistemleri

Taban izolasyonu olarak yapının zemin ile üst yapısı arasına yerleştirilen izolasyon birimleri sayesinde yapının periyod değerini artırılarak uygulanır. Yapıya kazandırılan bu esneklik deprem esnasında yapıya etki eden deprem enerjisinin dağıtılarak sönümlenmesine ve yapının katlar arasındaki ivmesinde ve yer değiştirmesindeki azalışlara imkân verir. Bu çalışmada pasif kontrol sistemlerinden olan taban izolasyon sistemlerinden bahsedilecektir.

### 1.6. Deprem İzolatör Sistemleri

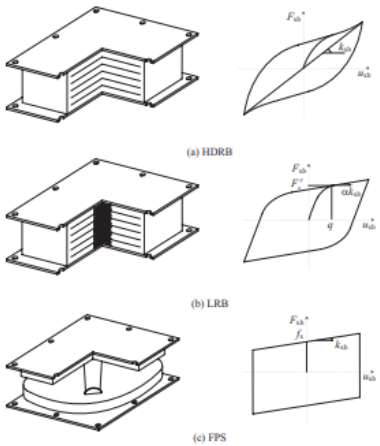
Sismik izolasyon sistemleri için günümüzde çok faklı kullanım alanları ve çok farklı çeşitleri vardır. Kullanılan izolatör biriminin tipi, şekli, büyüklüğü, yapılmış olduğu malzemeye göre değişkenlik göstermektedirler. Gelişen teknolojik imkanlar bu uygulamanın giderek yaygınlaşmasını ve depreme karşı dayanımı yüksek yapıların inşa edilmesini sağlamıştır. İzolasyon sistemlerini yapıldıkları malzemeler ve bazı özellikleri bakımından incelendiğinde genel olarak elastomerik

sistem ve kayıcı sistemler olarak başlıklar halinde incelenebilir (Calvi ve Calvi, 2018).




**Şekil 11.** İzolatör Sistemlerinin Sınıflandırılması

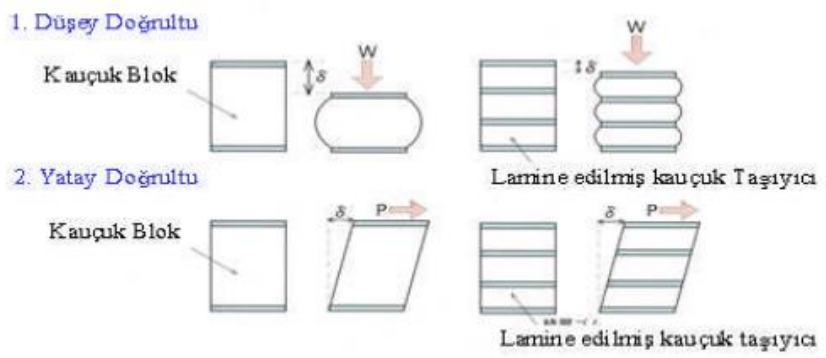
Sistem uygulanmada bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Yapının doğal periyod değerini artırmak için yatayda esneklik ve düşeyde devrilmeye karşı güven sağlamak için rijitliğe sahip olacak şekilde uygulanmaktadır (Matsagar ve Jangid, 2008). Sistem gereğinden fazla yatayda sünek olmamalı, fazla sünek bir yapıda yer değiştirme değeri olması gereken değerin üzerine çıkar ve istenmeyen durumlara sebep olabilir. Sistemin yer değiştirerek yaptığı enerji sönümlemesi sonrası yeniden eski konumuna gelmesi yani yeniden merkezleme özelliğine sahip olması da önemli bir özelliktir (Özer, 2022).




**Şekil 12.** Farklı izolasyon birimleri ve onlara ait kuvvet-şekil değiştirme diyagramları

### 1.6.1. Elastomerik Mesnetli Sistemler (Rubber Bearings-RB)

Elastomerik mesnet yapıyı yer hareketinden ayırmak için yapı ve zemin arasına yerleştirilen kauçuk malzemeden üretilmiş olan izolatör birimlerinin yerleştirilmesiyle oluşturulan mesnet sistemidir. Uygulamada yaygın bir kullanıma sahip olan elastomerik mesnet birimleri belirli kalınlığa sahip kauçuk tabakaların üst üste aralarında çelik levhalar ilave edilmesiyle oluşturulmaktadır. Kullanılan kauçuk malzemenin dayanımının yüksek olması ve sahip olduğu esneklik özelliği sayesinde, yapının şekil değiştirme özelliğini artırır aynı zamanda esneklik özelliği sayesinde yapı tekrar şekil değiştirmeden önceki haline döner. Kauçuk tabakalar arasına yerleştirilmiş olan çelik tabakalar da düşey yükler altında izolatör biriminin dayanımını artırır yani birimin düşeyde yüksek rijitlik değerine sahip olmasını sağlar. Çelik levhaların ilave edilmediği ilk elastomerik mesnet uygulamalarında (örn: Makedonya´da bulunan bir okul binası) izolatör birimlerinde istenmeyen etkiler olduğu izolatör birimlerinin şiştiği gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucu çelik levha ilavesinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmıştır (TC. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011).

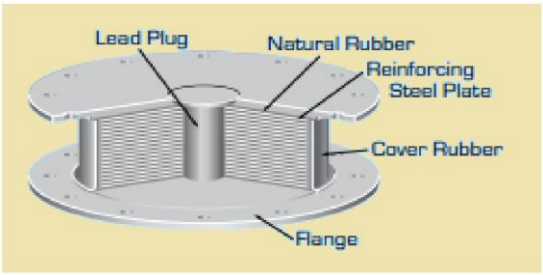



**Şekil 13.** Elastomerik mesnet sistemi

Uygulanan bu metot izolatör birimleri hasar görmediği sürece bakımı kolay ve olası hasar durumlarında da tamiri mümkün olduğundan yaygın olarak elastomer mesnet kullanılmaktadır. Elastomer mesnetler incelendiğinde üretimi gerçekleştirilen izolatör birimi özelliklerine göre kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler (LRB), düşük sönümlü kauçuk izolatörler (LDRB) ve yüksek sönümlü kauçuk izolatörler (HDRB) olarak incelenebilir (Heysami, 2015).

### 1.6.1.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk izolatörler (LRB)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör keşfedilmesi 1970´li yıllara dayanmaktadır ve ilk örnekleri Yeni Zelanda'da uygulanmıştır. İlk uygulamalarının Yeni Zelanda'da ortaya çıkması sistemin Yeni Zelanda mesnet sistemi olarak da adlandırılmasını sağlamıştır. LRB izolatörlerinde rijitliğin artırılması, düşeyde yük altında şişmeden gerekli dayanımı göstermesi ve yatayda yapacağı şekil değiştirmeleri sınırlandırmak için izolatör biriminin merkezine kurşun çekirdek yerleştirilmesiyle oluşturulmuş birimlerdir (Kurt, 2019). Merkeze yerleştirilen kurşun çekirdek etrafında diğer elastomerik izolatörlerde olduğu gibi kauçuk tabakalardan ve aralarında çelik plakalardan teşkil edilmiştir. Merkezde konumlanmış olan kurşun çekirdek akma dayanımına (10MPa) geldiği zaman yani elastomerik özellik göstermeye başladığında izolatör biriminde yer değiştirme meydana gelmeye başlar (Shekhar, Shukla, ve Zafar, 2017). Sistemin de harekete başlamasıyla enerji dağılımı sağlanarak sönümleme olayı gerçekleşir. Sistem sönümleme olayını gerçekleştirdikten sonra izolatör merkezindeki kurşun tekrar kristalleşerek (normal sıcaklık altında) akmadan önceki rijitliğine geri döner (Özer, 2022).

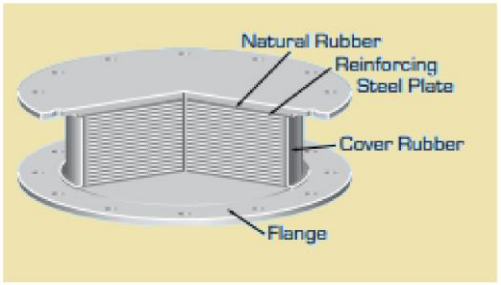



**Şekil 14.** Kurşun Çekirdekli Kauçuk izolatörler

Sahip olduğu önemli özellikler diğer izolatör birimlerine göre daha fazla tercih edilmesini sağlamaktadır. Tekrarlanan yükleme durumunda yükün kaldırılmasından sonra eski konumuna geri dönebilmesi önemlidir. Kullanılan kurşun çekirdek sayesinde yatay eksende yapıya etkiyen hafif yüklere karşı (örn: rüzgâr veya çok küçük deprem sarsıntı) rijitliğini bozmadan karşı koyması sürekli salınım yapmaması çok önemlidir (Keskin, 2007).

### 1.6.1.2. Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler (LDRB)

LDRB sistemler kauçuk tabakaların üst üste ve her iki tabaka arasında çelik plakaların yerleştirilmesiyle oluşan ilk izolatör birimleridirler. Kauçuk tabakalar arasında konumlandırılan çelik plakalar yatayda rijitlik değerini etkilemezken düşeyde izolatör birimine rijit bir yapı kazandırarak yük taşıma kapasitesini artırmak ve yükleme altında izolatör biriminin şişmesini ve formunun bozulmasını önlemek için kullanılmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). Kullanılan tabakaların sayısının istenilen rijitlik değeri doğrultusunda artırılıp ya da azaltılması mümkündür (Kurt, 2019).

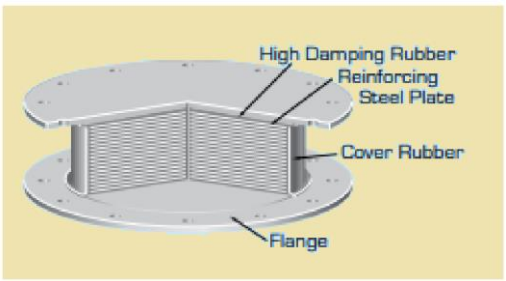



**Şekil 15.** Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler

Bu izolatör biriminin kalıp içerisinde kauçuk tabakaların vulkanizasyonunun yapılması yani uygun sıcaklık ve basınç değerleri altında kauçuk tabaka ve çelik levhaların birbirleriyle bağlanması sağlanır. İzolatör biriminin yaptığı yatay yönlü şekil değiştirmesinin lineere yakın olduğu ve malzemenin dayanımının yüksek olmasından dolayı sünme vb. olumsuz etkilere karşı uzun ömürlü olduğundan kullanımı yaygındır (Urgu, 2006). Üretiminin kolay olması ve modellenmesini diğer sistemlere göre nispeten daha kolay olması da kullanımının tercih edilme nedenlerindendir. Bunun yanında düşük değerde sönüme sahip olmasının getirdiği bazı dezavantajlarda bulunmaktadır. Bunlardan ilki uygulamasının yapımında sisteme ilave olarak sönümleyici birimlerin uygulanması zorunluluğu yani sistemin kompozit uygulama gereksinimidir. İlave sönüm cihazı olarak viskoz sönüm birimleri, sürtünmeli aletler, sönümleyiciler kullanılarak uygulama sağlanabilmektedir. Uygulamada genel olarak tercih edilmemekte daha çok kurşun çekirdekli ya da yüksek sönümlü kauçuk izolatörler kullanılmaktadır (Özpalanlar, 2004).

### 1.6.1.3. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler (HDRB)

Yüksek sönüm değerine sahip kauçuk izolatör de diğer elastomer esaslı izolatör birimler gibi kauçuktan imal edilmiş izolatörlerdendir. LDRB´den farklı olarak kullanılan kauçuk sönüm oranının var olan seviyenin üzerine çıkarmak ve kullanılacak ilave sönüm cihazlarına olan gereksinimi ortadan kaldırmak için yapılan birtakım çalışmalar sonucu yüksek sönüm oranına sahip kauçuk malzemeden imal edilmiştir (Özpalanlar, 2004). İmalatı diğer elastomerik birimler gibi yüksek sönüme sahip kauçuk tabakaların aralarına çelik plakalar gelecek şekilde birleştirilip vulkanizasyonunun yapılmasıyla tamamlanır. Yüksek sönüme sahip kauçuk Malaysian Rubber Producers' Research Association (MRPA) tarafından imal edilmiştir.




**Şekil 16.** Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler

Düşük sönüme sahip izolatörlere gelen enerjinin sönümlenmesi için gerekli yer değiştirme değerinin olması gereken değerin çok üzerinde olması, sistemde ilave sönümleyici kullanılmasının da karmaşıklığa yol açması yüksek sönüme sahip izolatör birimlerini kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu amaçla kauçuk malzeme birtakım işlemlerden geçirilmiş diğer düşük sönüme sahip (ortalama %2,0 sönümlü) izolatörlere karbon, reçine ve yağlar gibi ilave maddeler eklenerek sönüm oranı yüksek (yaklaşık %10,0 ve %20,0) izolatör birimleri üretilmiştir (Sevim, 2016). İzolatör biriminin kayma modülünün 0.34 MPa ve 1.5 MPa değerleri arasında yer almakta olup bu değer izolatörün rijitlik değerindeki değişime göre değişmektedir. İzolatörün rijitlik değeri arttıkça kayma modülünün değerinde de artma meydana gelmektedir (Özpalanlar, 2004).

Sistemin önemli özelliklerinden biri de küçük yüklemeler (örn: rüzgâr yükü, hafif sarsıntılar) esnasında rijitlik değeri yüksek olmakta fakat %20'nin altında kalan

şekil değiştirmeler için doğrusal bir davranış sergilemez (Şahin F. , 2008). %20 - %120,0 arasında kalan şekil değiştirmeler için izolatör doğrusal davranır ve esnektir. Buna ek olarak kayma modülü değeri değişken olmamakla birlikte küçük değerler almaktadır. Sistem hem lineer viskoz (kuadratik sönüm ve yer değiştirme) hem de elastoplastik (doğrusala yakın yer değiştirme vs.) özelliğe sahip olması bu iki özelliğin kombinasyonu şeklinde çalışmakta olduğu anlamına gelir. Sistemin en olumsuz özelliği sahip olduğu ilk yüksek rijitlik değerinin yatay yüklemelere karşı yetersiz olmasıdır. İstenmeyen bu durum sebebiyle sistem LRB sistemler kadar tercih edilmemesine neden olmaktadır (Gökhan, 2009).

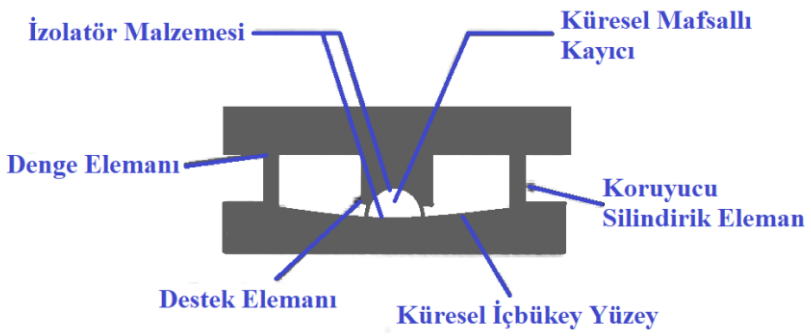
### 1.6.2. Sürtünme Esaslı İzolatörler

Sürtünme esaslı sistemler, temel sisteminin zemin üzerinde eklenen ilave izolasyon birimleri sayesinde kayıcı bir tabaka üzerinde yapının kayarak enerji sönümlemesi prensibine dayanmaktadır (Gökhan, 2009). Uygulaması çok eskilere dayanan sistemin ilk zamanlarda kumdan oluşturulan kayıcı bir tabaka veya temelinde silindir bloklar kullanılan basit bir mantığı olan sistemdir. Sistem sahip olduğu sürtünme hareketi sayesinde yatayda gelen kuvvetler karşı koyar ve meydana gelen enerjiyi mekanizması sayesinde sönümleyerek yapıyı güvende tutar (Ateş, 1999). Sistemin 1900 yılların başında J.A. Calantarients adında bir tıp doktoru tarafından geliştirilmeye başlamıştır zemin ve yapının bir sürtünme esaslı tabakayla ayrılmasının yapının ivme değerinde azalmayı sağlayacağı fikrini ortaya koymuştur (Ekinci, 2021). Kayma esaslı tabakanı için kullanılan malzemeler paslanmaya karşı dayanıklı çelik malzemeler teflon (politetrafloraetilen) yüzeylerdir ve bu yüzeyler ihtiyaca göre konik, eğrisel veya düz yüzeyli farklı geometriye sahip olarak üretilebilir. Bu malzemelerin kullanımıyla oluşturulan tabaka sayesinde depremin oluşturacağı taban kesme kuvvetleri üst yapıya iletilmeden önce kayma mekanizması devreye girer ve yapıyı güvende tutmak için sistem belirli miktar sürtünme yaparak bu kuvvetleri daha küçük kuvvetlere indirger. Kayma mekanizmasının devreye girmesi de esasen depremi oluşturduğu kuvvetin izolatörlerin direnç değerini aşması ve kayıcı sistemin aşılan bu değer sonrası harekete başlamasına dayanmaktadır (Gökhan, 2009). Kayıcı mesnetli sistemleri, Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler, Fransız

Elektrik Sistemi, TASS Sistemi, Bileşik Sistem (EERC) ve Elastik Sürtünmeli Taban İzolasyon Sistemi başlıkları altında incelenmektedir.

### 1.6.2.1. Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler (FPS)

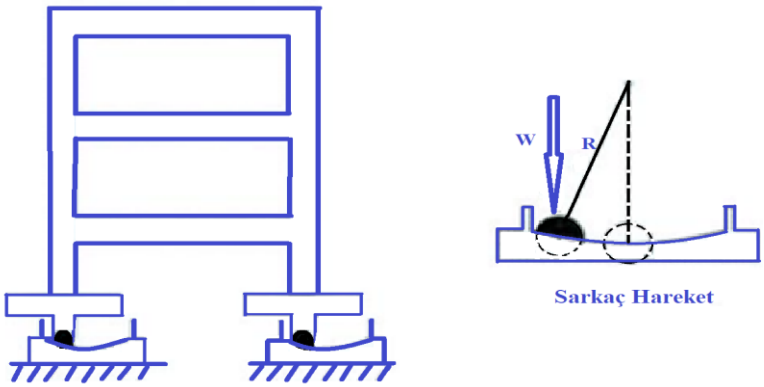
Sürtünmeli Sarkaç sistem, gelişen teknoloji sayesinde 1987 yılında ilk uygulamaları yapılmış ve yeni uygulamaya başlanmış giderek yaygınlaşan bir sistemdir. FPS sistemi özel olarak seçilen metal malzemelerin kullanılmasıyla küresel iç bükey bir geometriye sahip yüzeyler arası sürtünme var olan izolatör birimidir (Shekhar, Shukla, ve Zafar, 2017). İç bükey olan yüzeyde hareket kabiliyeti olan kayıcı mafsal sürtünme kuvvetine karşı gelen yatay yönlü kuvvet etkisinde hareket ederek enerji sönümünü gerçekleştirmiş olur (Ekinci, 2021).




**Şekil 17.** Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler

Mesnedine sahip olduğu küresel geometri aynı zamanda binanın yükselmesine ve geri çağrılmasına olanak sağlayan bir özelliktir. Oluşan bu yükselme ve geri dönüş mekanizması yüzeyin sahip olduğu sürtünmeyle de birleşerek deprem enerjisini büyük bir bölümü izolasyon katında sönümlemiş olur. Kayıcı mafsalın küresel olan bu yüzeyde yapının yükü altındaki hareketi sarkaç bir sistemin yaptığı hareketine benzer bir prensipte çalışmaktadır (Özpalanlar, 2004). Sarkaç sisteme ilave edilen bir diğer eleman koruyucu silindirlerdir. Bu silindirler sistemin yatayda yapacak olduğu maksimum deplasmanı olması gereken sınırlarda tutarak sistemin aşırı deplasman yaparak stabilitesinin bozulmasını önlemektedir. Aynı zamanda izolatör biriminin dışarıdan gelecek yabancı maddelere karşıda koruyabilecek şekilde konumlandırılmış ve bu şekilde izolatör biriminin mekanizmasın olası tehlikeler karşı korumaktadır. Koruyucu konumundaki bu

silindirlerin çapı maksimum deplasman hesaba katılarak belirlenmekte ve izolatör biriminin tasarlanan yükün üzerinde yatay yüke maruz kalması durumunda bir güvenlik sistemi olarak görev yapmaktadır (Calvi ve Calvi, 2018).




**Şekil 18.** Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Hareketi

Küresel yüzeyin sahip olması gereken eğrilik yarıçapı hedeflenen periyod değerine göre seçilmektedir. Yapının düşeyde sahip olduğu ağırlık değerinden etkilenmeyen bu değer seçildikten sonra yer çekimi ivmesi ile yapının periyod değerinin hesabında kullanılmaktadır. ($T = 2\pi\sqrt{(R/g)}$) kullanılan izolatörün rijitlik merkezinin sistemin kütle merkezinden farklı olmaması gerekmektedir çünkü merkezlerin çakışmaması durumunda sistemde burulma meydana gelir (Hoşbaş, 2006).

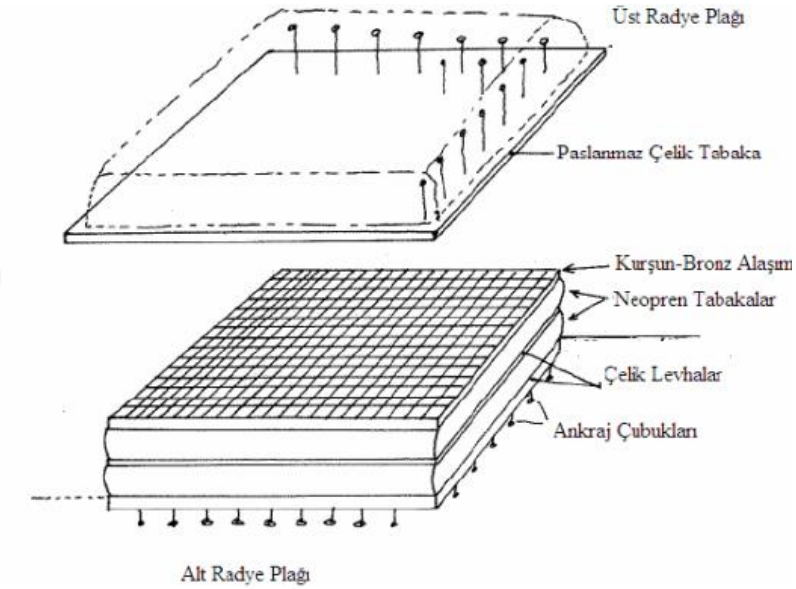
Sistemin harekete geçmesi için etki eden yanal kuvvetin sürtünme kuvvetinin eşik değerini aşması gerekmektedir. Bu eşik değerin aşılmadan önceki durumda sistem rijit bir davranış sergilediği, eşik değer aşıldıktan sonra sistemin harekete geçerek yapının periyod değerinin artmasını sağlayarak depremin sistem üzerinde oluşturacağı aşırı enerjiyi sönümler. Sistem harekete geçmeden önceki sahip olduğu periyod değeri ankastre mesnetli sisteme eş değer durumda olsa da sistemin hareket etmeye başladıktan sonraki periyod değeri artarak izolasyon sisteminden beklenen periyod değerine ulaşır (Urgu, 2006). Her koşulda en önemli kriter sistem için izolatör tasarımı esnasında yapı için istenilen periyod değeri ve rijitlik değerine en uygun eğrilik yarıçapına sahip izolatör seçilmelidir.

FPS sistemleri özellikleri bakımından sınıflandırıldığında; tek eğriliğe sahip sürtünmeli sarkaç sistem, çift eğrilik yüzeyine sahip sürtünmeli sarkaç sistem ve son

olarak da üç eğrilik yüzeyine sahip sürtünmeli sarkaç sistemler olarak incelenmektedir.

### 1.6.2.2. Fransız Elektrik Sistemi

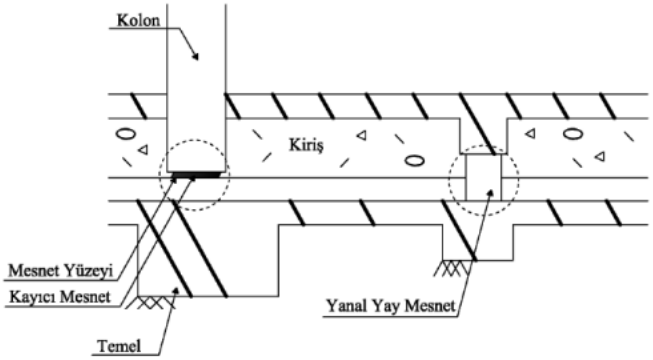
Sistem 1970´li yıllarda Nükleer santraller için depreme karşı koruma sağlanmasını ve enerji kaynağının büyük bölümünün karşılayan ve depremden korunması çok önemli olan bu yapılar için Fransız Elektrik Kurumu girişimleri sonucunda geliştirilmiştir. Bu tür olası deprem riski altındaki yapıların inşası için uygulanması gereken bir standart olarak belirlenmiştir çünkü nükleer santrallerin deprem esnasında zarar görmesi büyük bir faciaya yol açar. Sistem elastomerik ve kayıcı sistemi bir arada içermekle birlikte tabakalı kauçuk sisteme benzer şekilde iki plak arasında çelik ve neopren tabakaların kurşun-bronz alaşımla bağlanmasıyla oluşturulmuş olan mesnetlerin kayma yüzeylerine üzerinde hareketini mümkün kılmaktadır. Kayma yüzeyinin sahip olduğu sürtünme katsayısı 0,2dir. Sitemin harekete geçmesi için eşik değer olan neopren tabakanın belirli seviyede yer değiştirmesi gerekir bu eşik değer aşıldıktan sonra sistem yer değiştirmeyle yatayda gelen enerjiyi sönümlemektedir. Enerjinin sönümleme işlemi bittikten sonra yer değiştiren yapının geri döndürücü bir mekanizmaya sahip olmaması sistemin en büyük dezavantajıdır ve bu yer değiştirmeler kalıcılı olmaktadır (Sevim, 2016).




**Şekil 19.** Fransız Elektrik Sistemi

### 1.6.2.3.TASS Sistemi (Tasei Shake Suspension System)

Sistem bir Japon firması tarafında geliştirilmiş düşey yükler paslanmaya karşı dayanıklı çelik- teflon malzemeden ve buna ilave olarak tabakalı kauçuk (neoprenler) malzemelerden oluşturulan izolasyon birimlerine yüklenmiş bir sistemdir.




**Şekil 20.** TASS Sistemi

Sistemin çalışma prensibi düşeyde gelen yüklerin teflon-çelik birim tarafından taşındığı ve kauçuk tabakanın da yük taşımayıp sistemin enerji sönümlerken yapmış olduğu yer değiştirmiş konumdan eski konumuna dönebilmeyi yani yeniden merkezlenmesini sağlamakla görevlidir. Elastomer birim düşeyde yük almıyor olmasından kaynaklı olarak sistemde gerilmeler meydana gelir ve sistemin uygulamasındaki zorluklar diğer uygulamalar göre dezavantajlı olmasına neden olur (Hoşbaş, 2006).

### 1.6.2.4. Bileşik Sistem (EERC)

EERC sistemi de Fransız Elektrik sisteminde olduğu gibi hem elastomerik hem de kayıcı sistemi bir arada içermektedir. Yapının iç kısımda kalan kolaları için teflon kayıcı izolasyon birimi, yapının dış kısımlarında kalan kolonları için ise kauçuk izolatör birimlerinin yerleştirilmesiyle oluşturulmuş olan bir izolasyon sistemidir (Soyluk, 2010).

Bu şekilde iki farklı kombinasyonuyla oluşturulan sistem her iki sistemin dezavantajlarının giderilmesi mantığına dayanır. Sistemde kauçuk izolatör birimleri sayesinde yer değiştirme yaparak yatayda gelen enerjiyi sönümlemiş olan sistemin hareket öncesi konumuna dönmesini yani yeniden merkezlenmesini sağlar ve

sistemin burulmasına karşı koyar. Sistemdeki kayıcı izolatör birimleri ise yatayda sisteme etkimiş olan enerjinin sönümünü gerçekleştirmektedir (Özpalanlar, 2004).

### 1.7 Sismik İzolasyon Uygulaması İçin TBDY 2018 Yönetmeliği Esasları

Günümüz yapılarının inşasında kullanılan yönetmelikler incelendiğinde büyük çoğunluğunun DBYYHY-1975 yönetmeliğine uygun olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş olduğu görülmektedir. Bu yapıların güncellenen yönetmeliklerde (DBYYHY-1998, DBYBHY-2007 ve TBDY-2018) hedeflenen performans kriterlerini sağlamadığı ve olası deprem kuvvetlerine karşı oldukça yetersiz kaldıkları yapılan incelemelerde belirlenmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda mevcut olan yapı stoğunun yeni yönetmelik esaslarına uygun hale getirilmesi önemli bir çalışma alanı olmuş ve bu konuda yapılan çalışmalar son derece önem arz etmektedir.

Gelişen teknolojik imkanlar yönetmeliklerin tekrarlı bir şekilde güncellenmesini gerekli kılmış ve her güncellenen yönetmelik sonrası yapıların yeniden güçlendirilerek yönetmelik koşullarına uygun hale gelmesi önemli bir durum haline gelmiştir. Bu bakımdan ülkemizde sırasıyla DBYYHY-1975, DBYYHY-1998, DBYBHY-2007 yönetmelikleri kullanılmış ve son olarak yapılan güncellemeler ve yeni başlıkların ilave edilmesiyle TBDY-2018 yönetmeliği kullanılmaya başlanmıştır. Yeni yönetmelik mevcut deprem tehlike haritasının önemli derecede değiştirilmesiyle oluşturulmuş ve yapıların izolatörlerle güçlendirilmesi konusunun da ilk kez yer alması diğer yönetmeliklerden ayrılan en önemli özelliği olmuştur.

Çalışma kapsamında modellenecek olan ankastre mesnetli yapı ve sonrasında uygulanacak olan taban izolasyon uygulamasının modellenmesi ve analizi için TBDY-2018 yönetmeliği esas alınacaktır. TBDY yönetmeliği Bölüm-14 de sismik yalıtımı yapılacak yapılar için tasarım ve hesap yöntemlerini içermektedir. Seçilen yapı ilk olarak ankastre modelleneler analiz edilecek devamında izolasyon uygulaması yapılarak tekrar analizi gerçekleştirilecektir. Modelleme ve analizler için TBDY esasları dikkate alınacak ve bu doğrultuda elde edilecek sonuçlar irdelenecektir. Seçmiş olduğumuz her iki yönde üç açıklığa sahip 4 katlı konut için Sap2000 programı yardımıyla ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu olarak modelleme yapılıp belirlenen deprem kayıtlarının kullanılmasıyla analizler

gerçekleştirilecektir. Analizler zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemin (time history) kullanılmasıyla sonuçlandırılacak ve seçili depremlerin her iki durumda yapıda oluşturacağı etkiler (yapının yer değiştirme değeri, katlara gelen ivme, katlar arası yer değiştirmeler, katlara gelen moment ve kesme kuvvetleri vb.) her iki durum için karşılıklı olarak irdelenecektir.

*TBDY'e göre bazı özel tanımları;*

*Yalıtım sistemi:* Yapının olası yanal yüklere karşı belirlenen kat arasına yerleştirilen yatay eksende esnekliğini, düşey eksende rijitliğini sağlayan ilave sistemdir.

*Yalıtım birimi:* Oluşturulacak yalıtım sistem için belirlenmiş olan birim elemanlardır. Bu elemanlar sistemin hedeflendiği şekilde düşeyde rijit ve yatayda esnekliğini sağlayan mesnetlerdir. Gelen yatay enerjiyi yerdeğiştirme yaparak sönümler ve yapıyı güvende tutarlar.

*Altyapı:* Yapının yalıtım sistemiyle ayrılan iki yüzeyi arasında temel sisteminin de dahil edildiği altında kalacak olan kısmını ifade eder.

*Üstyapı:* Yapının yalıtım sistemi ara yüzüyle ayrılan yüzeyin üzerin yer alan yapısal kısmıdır.

*Tasarım Depremi Yer Hareketi:* DD-2 yani 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip yer hareketini ifade etmektedir. Aynı zamanda bu 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip yer hareketi olduğu anlamına da gelmektedir.

*Tasarım Yerdeğiştirmesi:* Yapının sahip olduğu yalıtım sisteminde tasarım depreminin etkimesiyle yatay eksen boyunca meydana gelebilecek maksimum yer değiştirmedir. İzolasyon katının üstü ve altı arasındaki göreli yerdeğiştirmeler olarak da ifade edilmektedir.

*Toplam Tasarım Yerdeğiştirmesi:* yapıya etkiyen tasarım depremi yer hareketi sayesinde yalıtım sisteminde bulunan her bir yalıtım biriminin yatay eksende yapabileceği göreli yerdeğiştirmedir. Bu yerdeğiştirmede yapıda meydana gelen burulma davranışı da dikkate alınır. (Kısaca üstyapı için alt kısmın, altyapı için üst kısmın arasında meydana gelen göreli yer değiştirme)

*En Büyük Deprem Yer Hareketi:* DD-1 yani 50 yılda %2 aşılma olasılığına sahip tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem yer hareketini ifade etmektedir.

*En Büyük Yerdeğiştirme:* DD-1 yer hareketi etkisi altında yapının yalıtım sisteminde yatay deprem doğrultusunda meydana gelecek olan maksimum göreli yerdeğiştirmedir. (Kısaca üstyapı için alt kısmın, altyapı için üst kısmın arasında meydana gelen göreli en büyük yerdeğiştirme)

*Toplam En Büyük Yerdeğiştirme:* DD-1 yer hareketi etkisi altında, yapının yalıtım sisteminde mevcut olan yalıtım birimlerinin her birinde, yatayda yer hareketi yönünde meydana gelecek olan, yapının burulma davranışınındı göz ardı edilmeyerek belirlenen maksimum göreli yerdeğiştirmesidir. (Kısaca üstyapı için alt kısmın, altyapı için üst kısmın arasında meydana gelen göreli yerdeğiştirme)

*Etkin Sönüm Oranı:* yapının yalıtım için oluşturulan sisteminde belirlenmiş değerde yapacağı yerdeğiştirmelerle sağlayacağı eşdeğer sönüm oranını ifade etmektedir. (Tasarım yerdeğiştirmesi ve en büyük yerdeğiştirme için ayrı ayrı belirlenir).

*Etkin Rijitlik:* Yapının sahip olduğu yalıtım sisteminde meydana gelecek olan kesme kuvveti değerlerinin toplamının, yalıtım sisteminin sahip olduğu rijitlik merkezinde meydana gelen yerdeğiştirme değerine bölünmesi sonucunda elde edilen rijitlik değeridir. (Tasarım yerdeğiştirmesi ve en büyük yerdeğiştirme için ayrı ayrı belirlenir).

*Etkin Rijitlik Merkezi:* yapının yalıtım sisteminde mevcut yalıtım birimlerinde DD-2 yer hareketi etkisiyle oluşacak olan yerdeğiştirmeye karşı oluşacak etkin yatay rijitlik için hesaplanan rijitlik merkezidir.

*Etkin Yalıtım Periyodu:* Yalıtım sistemindeki üst yapı kütlesine ve rijitlik değeri yalıtım sistemdeki etkin yatay rijitlik değerine eşit terk serbestlik dereceli bir sistemin doğal titreşim periyodudur (tasarım yerdeğiştirmesi ve en büyük yerdeğiştirme için ayrı ayrı belirlenir).

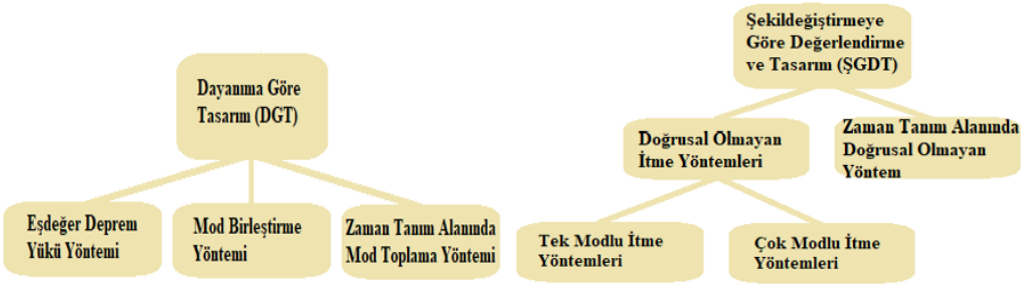
### 1.7.1. TBDY 2018’ e Göre Deprem Hesabında Kullanılan Yöntemler

Model üzerinde uygulanacak olan yapısal deprem analiz yöntemleri için TBDY 2018 yönetmeliği iki başlık vurgulamaktadır. Bu iki yöntem binaların sahip oldukları yükseklik sınıfına ve deprem tasarım sınıflarına göre ilki TBDY Bölüm 4 dayanıma göre tasarım (DGT) ve ikincisi TBDY Bölüm 5 şekil değiştirmeye göre tasarım (ŞGDT) şeklinde sınıflandırılmaktadır.




**Şekil 21.** Deprem Hesabında Kullanılan Yöntemler

Yapıların dayanıma göre analizinde kullanılan yöntemler; Eşdeğer deprem yükü yöntemi, Mod birleştirme yöntemi, Zaman tanım alanında mod toplama yöntemi kullanılırken şekildeğiştirmeye göre tasarımında ve analizinde; Doğrusal olmayan itme yöntemleri (Tek modlu itme yöntemleri ve Çok modlu itme yöntemleri), Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerden; Eşdeğer deprem yükü yöntemi doğrusal statik bir yöntemi, Mod birleştirme yöntemi doğrusal dinamik bir yöntemi, itme yöntemleri doğrusal olmayan statik analiz yöntemini ve son olarak Zaman tanım alanında hesap yöntemleri ise doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerini ifade etmektedir.




**Şekil 22.** Deprem Hesabında Kullanılan Yöntemlerin Sınıflandırılması

Analiz yöntemleri kullanılırken modelde kullanılacak olan malzemenin özelliklerine göre de doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan diye incelenmektedir. Malzeme özelliğine bağlı olarak yapılan analizler de doğrusal elastik analiz ve doğrusal olmayan analiz olarak iki başlıkta incelenir. Bunun yanında

yapılacak analizler etki ettirilen yükün statik bir yük veya dinamik bir yük olmasına göre de farklılık göstermektedir. Yapı zamana bağlı olarak değişim göstermeyen yükler yüklenmesi durumunda statik yükler altında analizi gerçekleştirilirken yapı zamana bağlı değişen yükler altındaysa dinamik analizlerle incelenmektedir. Sonuç olarak yapı analizinde bu farklı dört durumun kullanıldığı dört analiz yöntemi mevcuttur. Bunlar doğrusal statik analiz, doğrusal dinamik analiz, doğrusal olmayan statik analiz ve doğrusal olmayan dinamik analiz olarak ifade edilmektedir.

### 1.7.2. TBDY'e Göre Genel Tasarım İlkeleri

Bu bölümde belirlenmiş olan yapının tasarımında yararlanacak olan yönetmelik esaslarına dayalı tasarım ilkeleri adım adım açıklanacaktır. Bu esasları TBDY' e uygun olarak Bölüm 14.3. GENEL TASARIM İLKELERİ başlığı altından sunulmuş ilkeler doğrultusunda belirlenmiştir.

1. Bu bölümde belirtilen esaslar için ilk olarak; yalıtım sistemi üst yapının altında yer alacak şekilde teşkil edilerek alt yapıyla arasında bir yalıtım arayüzeyi oluşturulur.
2. Yalıtım sisteminin uygulandığı yapılar için Bina Önem Katsayısı I=1 olarak hesaplarda kullanılacaktır.
3. Tasarım için iki farklı deprem yer hareketinin kullanılması gerekliliğine bu bölümde vurgu yapılmıştır.

*a) DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi (Tasarım Depremi Yer Hareketi):* 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip yer hareketini ifade etmektedir (475 yıllık tekrarlanma periyoduna)

*b) DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi (En Büyük Deprem Yer Hareketi):* 50 yılda %2 aşılma olasılığına sahip tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem yer hareketini ifade etmektedir.

4. Yalıtımlı olarak tasarlanacak yapılar izolasyon sisteminin altında ve üstünde kalan kısmı için tercihen sınırlı süneklik düzeyine uygun tasarım yapılabilir.
5. Yapıda oluşabilecek burulma etkilerinin azaltılması için üst yapının sahip olduğu kütle merkezi ve yalıtım sisteminin sahip olduğu etkin rijitlik merkezinin düşey izdüşümünün mümkün mertebe yakın olması gerekmektedir.

6. Yalıtım sistemine sahip yapılar için yapılacak olan en büyük yerdeğiştirme hesabında DD-1 yer hareketi düzeyi için yalıtım birimlerine ait parametrelerinin alt sınır değeri ve üst yapı için yapılacak en büyük yatay yer değiştirme kuvvetinin hesabında da DD-2 yer hareketi için yalıtım birimlerine ait yer hareketi parametrelerinin üst sınır değerleri dikkate alınacaktır.

7. Yalıtımlı tasarlanan sistemler için DD-1 yer hareketi altında meydana gelecek olan en büyük yerdeğiştirme durumunda sistemin sahip olacağı iç kuvvetler ile en büyük yerdeğiştirme %50'sine sahip olduğu durumunda oluşacak iç kuvvet arasındaki fark en az 0.025W olacaktır.

8. Yalıtım sistemine sahip yapılar için D yerdeğiştirmesi yatay eksende tekrarlı bir merkezleme kuvveti oluşturabilecek şekilde tasarlanacak ve yapının titreşim periyodu değeri de 6 saniyeyi aşmayacak şekilde hesaplanacaktır.

9. Yalıtım sisteminin uygulandığı yapılar için, yalıtım birimlerinin doğrusal olmayan davranış için modellenmesine yapının üst ve altı için doğrusal elastik olarak modellenmesine izin verilmektedir.

10. Yalıtımlı sisteme ait kaz ivmeleri hesabında yalıtım sistemi için belirlenmiş parametrelerin nominal değerleri kullanılabilir.

11. Yalıtım sistemine sahip yapıda, hesaplanan en büyük yerdeğiştirme değeri için yatayda engellenmemiş hareket alanına sahip olması gerekmektedir. (Bu alana dikkat edilmezse sistem ankastre gibi davranır.)

12. Bu belirlenen hususlara ek olarak TS EN 1337 ve TS EN 15129 standartları da esas alınacaktır.

13. Yalıtım sisteminin uygulandığı yapılarda DD-2 deprem yer hareketi altında hedeflenen performans düzeyine ulaşılması için belirlenen deprem yükü azaltma katsayısı R ve dayanım fazlalığı katsayısı D Tablo 1. de belirtilmiştir.

**Tablo 1.** Deprem Yükü Azaltma ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları

| Performans Hedefi | R | D |
|---|---|---|
| KK | 1,2 | 1,5 |
| HK | 1,5 | 2,0 |

*Yönetmelikte belirtilen bu tabloda;*

*Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi:* Sistemde yapısal hasarın oluşmadığı veya ihmal edilebilir düzeyde olduğu durumu ifade eder.

*Hemen Kullanım (HK) Performans Düzeyi:* yapının taşıyıcı sisteminde sınırlı düzeyde hasarın oluştuğu yani doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı durumu ifade eder.

### 1.7.3. TBDY'e Göre Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan (ZTADO) Hesap Yönteminin Seçilmesi

TBDY esaslarında bölüm 4.1.3 kapsamında yer alan madde; DGT hesapları için yönetmelik Bölüm 13'te Yüksek Binaların tasarımında, Bölüm 14'te Deprem Yalıtımlı Binaların tasarımında ve son olarak Bölüm 15'te Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi hesaplarının dışında kalan her yapıda DGT esaslarına uygun analizlere izin verilmiştir. (TBDY'e göre DGT'nin izin verilmediği yapılar için ŞGDT hesap esasları geçerlidir.) Bunun yanında yine aynı kapsamda deprem yalıtımlı binalar için ve yüksek yapıların hesabında kısmen DGT esaslarının uygulanmasına da izin verilmiştir.

Bu bilgiler doğrultusunda çalışmada ŞGDT hesap yöntemlerinden biri olan Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (TBDY'e göre bütün binaların deprem hesabında uygulanabilir) kullanımına karar verilmiş ve bu çalışma için uygun hesap adımları yönetmelik kuralları takip edilerek belirlenmiştir.

TBDY'e göre yapıların analizi için Bölüm 5'te zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanarak yapılacak deprem hesabı yönteminden bahsedilmektedir. Hesap yöntemi seçilirken deprem tasarım sınıflarına (DTS) bağlı olarak bina yüksekliğinin ($H_N$: binanın taban seviyesinden başlanarak son kata kadar ölçülen yüksekliğini) sınıflandırıldığı bina yükseklik sınıfı (BYS) tablolarında yararlanılmaktadır. TBDY'e göre BYS=1 için DO ZTA kullanımı zorunludur.

**Tablo 2.** TBDY' e göre deprem tasarım sınıflarına (DTS) bağlı olarak Bina Yükseklik Sınıfları (BYS)

| Bina Yükseklik Sınıfı | Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları | | |
|---|---|---|---|
| | DTS=1. 1a. 2. 2a. | DTS=3. 3a. | DTS=4. 4a. |
| BYS=1 | $H_N > 70$ | $H_N > 90$ | $H_N > 105$ |
| BYS=2 | $56 < H_N \leq 70$ | $70 < H_N \leq 91$ | $91 < H_N \leq 105$ |
| BYS=3 | $42 < H_N \leq 56$ | $56 < H_N \leq 70$ | $56 < H_N \leq 91$ |
| BYS=4 | $28 < H_N \leq 42$ | $42 < H_N \leq 56$ | |
| BYS=5 | $17,5 < H_N \leq 28$ | $28 < H_N \leq 42$ | |
| BYS=6 | $10,5 < H_N \leq 17,5$ | $17,5 < H_N \leq 28$ | |
| BYS=7 | $7 < H_N \leq 10,5$ | $10,5 < H_N \leq 17,5$ | |
| BYS=8 | $H_N \leq 7$ | $H_N \leq 10,5$ | |

**Tablo 3**. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Deprem Yalıtımlı Bina Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları

(a) Yeni Yapılacak Deprem Yalıtımlı Binalar - Üstyapı

| Deprem Düzeyi | DTS=1. 2. 3. 3a. 4. 4a. | | DTS=1a. 2a. | |
|---|---|---|---|---|
| | Normal Performans Hedefi | Tasarım Yaklaşımı | İleri Performans Hedefi | Tasarım Yaklaşımı |
| DD-2 | HK | DGT | KK | DGT |
| DD-1 | - | - | - | - |

(b) Deprem Yalıtımı Yapılarak Güçlendirilecek Mevcut Binalar - Üstyapı

| Deprem Düzeyi | DTS=1. 2. 3. 3a. 4. 4a. | | DTS=1a. 2a. | |
|---|---|---|---|---|
| | Normal Performans Hedefi | Tasarım Yaklaşımı | İleri Performans Hedefi | Tasarım Yaklaşımı |
| DD-2 | CG | DGT | HK | DGT |
| DD-1 | - | - | - | - |

(c) Yeni Yapılacak ve Güçlendirilecek Deprem Yalıtımlı Binalar – Yalıtım Sistemi ve Altyapı

| Deprem Düzeyi | DTS=1. 2. 3. 3a. 4. 4a. | | DTS=1a. 2a. | |
|---|---|---|---|---|
| | Normal Performans Hedefi | Tasarım Yaklaşımı | İleri Performans Hedefi | Tasarım Yaklaşımı |
| DD-2 | - | - | - | - |
| DD-1 | KK | ŞGDT[(1)]-DGT[(2)] | KK | ŞGDT[(1)]-DGT[(2)] |

[(1)] Yalıtım sistemi için uygulanacak

[(2)] Altyapı için uygulanacak

- Yalıtım birimlerine ait üst ve alt sınır değerleri elastomer yalıtım birimleri için yönetmelikte bulunan 14.12.1'e göre, eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimleri için ise 14.13.1'e göre belirlenecektir.

- Yapının doğal titreşim periyodu düşey yönde Tv≤0.1sn ise depremin her iki yatay bileşeni Tv>0.1sn ise depremin her iki yatay bileşenine ek olarak düşey bileşeni de dikkate alınacaktır.
- Zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda yalıtıma sahip yapılar için deprem kayıtlarının seçimi sırasında TBDY'e bulunan bölüm 2.5 kuralları esas alınmaktadır. Buna ek olarak 2.5.3'te tanımlandığı gibi 0.2Tp yerine 0.5TM *(TM en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu)*, 1.5Tp yerine ise 1.25TM *(TM en büyük yerdeğiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu)* kullanılacaktır.
- Zemin sınıflandırmasına göre ZD'den daha zayıf zeminler için yapı -zemin etkileşimi 3D dinamik analizler yapılarak hesaplarda kullanılacaktır.
- ZTADO hesaplarda belirlenen her deprem yer hareketi için en az 11 tane kayıt çifti kullanılarak tekrarlanacak, ilgili deprem seviyesinde ve doğrultusunda yapılacak hesaplamalardan elde edilen en büyük değerlerin ortalamaları tasarımda dikkate alınacaktır.
- ZTADO için hesaplanan yalıtın arayüzeyinde oluşan yerdeğiştirmeler yönetmelikte 14.14.2.6'ya göre hesaplanan değerin %80'inden az olmayacaktır.
- ZTADO hesabıyla elde edilen üst yapı ve alt yapı kuvvetleri, binada düzensizlik bulunmaması durumu için yönetmelik 14.14.2.7'ye göre hesaplanan değerlerin %80'inden az olmayacaktır.
- DD-2 için yalıtım birimi yerdeğiştirmesi $D_D$ denklem 1 ile hesaplanacaktır.

$$D_D = 1.3\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) {T_D}^2 \eta_D {S_{ae}}^{DD-2}(T_D) \quad (1)$$

- DD-2 için bina etkin periyodu $T_D$ denklem 2 ile hesaplanacaktır.

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{W}{gK_D}} \quad (2)$$

- DD-1 için yalıtım birimi yatay yerdeğiştirmesi $D_M$ denklem 3 ile hesaplanacaktır.

$$D_M = 1.3\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) {T_M}^2 \eta_M {S_{ae}}^{DD-1}(T_M) \tag{3}$$

- DD-1 için bina etkin periyodu $T_M$ denklem 4 ile hesaplanacaktır.

$$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{W}{gK_M}} \tag{4}$$

- Sönüm ölçeklendirme katsayıları $\eta_D$ ve $\eta_M$ denklem 5 ile hesaplanacaktır.

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

*ξ: DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi için ayrı ayrı hesaplanan eşdeğer sönüm oranıdır.*

- Yönetmeliğe göre DD-2 ve DD-1 için yalıtım arayüzünde oluşacak toplam yerdeğiştirme değeri, denklem (6) ve denklem (7) kullanılarak hesaplanan yerdeğiştirme değerlerine ilave olarak üst yapı ve yalıtım sistemi burulmasından dolayı gelen yer değiştirmeler eklenerek hesaplanacaktır. Eğer sistemde düzgün bir dağılım varsa bu durumunda yerdeğiştirmeler aşağıda verilen denklem 6 ve denklem 7 ile hesaplanan değerlerden daha az olamaz.

$$D_{TD} = D_D\left[1 + y\frac{12e}{b^2+d^2}\right] \tag{6}$$

$$D_{MD} = D_M\left[1 + y\frac{12e}{b^2+d^2}\right] \tag{7}$$

- Üst yapıda oluşan kuvvet, DD-2 için denklem 8 ile hesaplanacaktır. Alt yapıda oluşan kuvvet, DD-1 için denklem 9 ile hesaplanacaktır.

$$V_D = \frac{S_{ae}{}^{DD-2}(T_D)W\eta_D}{R} \quad (8)$$

$$V_M = \frac{S_{ae}{}^{DD-1}(T_M)W\eta_M}{R} \quad (9)$$

### 1.7.4. ZTADO Hesap İçin Taşıyıcı Sistem Modellemesiyle İlgili TBDY18 Kuralları

- Yapının taşıyıcı sistem 3D olacak şekilde modellenecektir ve birbirine dik her iki doğrultu için deprem etkisi daima göz önünde bulundurulacaktır.
- Doğrusal sistemde kullanılacak sönüm oranı aksi istenmediği sürece %5.0 olarak kullanılacaktır ve sistemin düşey yüklerin etkisinde şekildeğiştirmiş halinde oluşacak ikinci mertebe etkileri mutlaka hesaba katılacaktır.
- Yapının şekildeğiştirmeye göre değerlendirilmesinde ve tasarımında malzeme dayanımları için esas alınacak değerler için TBDY bölüm 15 de verilen beton ve donatı çeliği için belirlenmiş olan mevcut dayanımlar esas alınacaktır (a). Yeni yapıların tasarım ve değerlendirilmesi için yine TBDY de bulunan beklenen(ortalama) dayanımlar esas alınacaktır. Tablo halinde yönetmelikte verilmiş olan bu değerler fce ve fck beton için belirlenmiş ortalama ve karakteristik basınç dayanımını, fye ve fyk donatı çeliği için belirlenmiş ortalama ve karakteristik akma dayanımını ifade etmektedir (Tablo 4).

**Tablo 4.** Beklenen (Ortalama) Malzeme Dayanımları

| | |
|---|---|
| Beton | $f_{ce}=1,3\ f_{ck}$ |
| Donatı Çeliği | $f_{ye}=1,2\ f_{yk}$ |
| Yapı Çeliği(S235) | $f_{ye}=1,5\ f_{yk}$ |
| Yapı Çeliği(S275) | $f_{ye}=1,3\ f_{yk}$ |
| Yapı Çeliği(S355) | $f_{ye}=1,1\ f_{yk}$ |
| Yapı Çeliği(S460) | $f_{ye}=1,1\ f_{yk}$ |

- Tasarımı yapılacak yapını hareketli yük katılımı katsayısı (n) tablo halinde yönetmelikte verilmektedir. Yapının kullanım amacına göre verilen tablo kullanılarak hareketli yük azaltma katsayısı belirlenecektir (Tablo 5).

**Tablo 5.** Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı

| Bina Kullanım Amacı | *n* |
|---|---|
| Depo, antrepo, vb. | 0,80 |
| Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb. | 0,60 |
| Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb. | 0,30 |

- Modellemesi doğrusal yapılan sistemler için perdeler ve döşemelerin düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarına ait etkin rijitlik çarpanları yönetmelikte tablo olarak verilmiştir. İlgili bilgiler Tablo 6'dan alınacaktır.

**Tablo 6.** Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

| Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı | Etkin Kesit Rijitlik Çarpanı | |
|---|---|---|
| **Perde-Döşem(Düzlem içi)** | **Eksenel** | **Kayma** |
| Perde | 0,50 | 0,50 |
| Bodrum Perdesi | 0,80 | 0,50 |
| Döşeme | 0,25 | 0,25 |
| **Perde-Döşem(Düzlem dışı)** | **Eğilme** | **Kesme** |
| Perde | 0,25 | 1,00 |
| Bodrum Perdesi | 0,50 | 1,00 |
| Döşeme | 0,25 | 1,00 |
| **Çubuk eleman** | **Eğilme** | **Kesme** |
| Bağ Kirişi | 0,15 | 1,00 |
| Çerçeve kirişi | 0,35 | 1,00 |
| Çerçeve kolonu | 0,70 | 1,00 |
| Perde (eşdeğer çubuk) | 0,50 | 1,00 |

### 1.7.5. Yalıtımlı Sistem Tasarımında Kullanılacak Yük Birleşimleri

Yalıtımlı sistemin arayüzde konumlanmış ve alt yapıda kalan elemanlara etki edecek olan yükler yönetmelik esaslarında aşağıdaki gibi belirtilmiştir. Bu çalışmada verilen bu yük bileşimleri dikkate alınacaktır.

- $1.4G+1.6Q$
- $1.2G+Q\pm E_d$
- $0.9G\pm E_d$

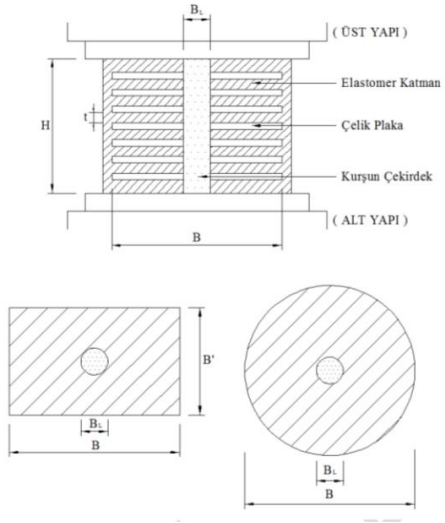
Yalıtımlı sisteminin üstyapısına etki edecek olan yükler benzer şekilde yönetmelik esaslarında aşağıdaki gibi belirtilmiştir ve bu yük bileşimleri dikkate alınarak analizler gerçekleştirilecektir.

- $G+Q+0.2S+E_d^{(H)}+0.3\ E_d^{(Z)}$

- $0.9G+H+ E_d^{(H)}- 0.3 E_d^{(Z)}$
- $E_d^{(H)}= \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)}$
- $E_d^{(H)}= \pm 0.3 E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}$

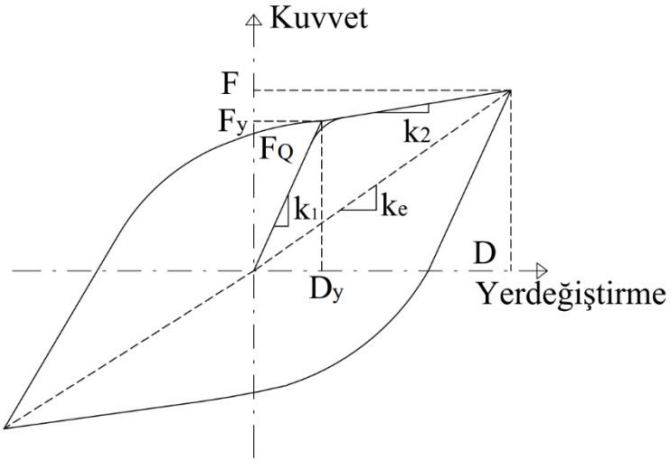
### 1.8. Elastomer Yalıtım Birimleri

Çelik ve doğal kauçuk maddenin bir arada belirli kriterlere uygun olarak kullanılmasıyla elastomer birimler üretilmektedir. Elastomer birimler ve sahip oldukları özellikler TBDY 2018 bölüm 14 de özel olarak belirtilmiştir ve görselleştirilmiştir.




**Şekil 23.** Elastomer Yalıtım Birimi

Elastomer yalıtım birimlerine ait basitleştirilmiş kuvvet- yerdeğiştirme eğrisini yönetmelik bölüm 14A.2'de belirtmiştir. Bu yükleme döngüsünü gösteren şekilde $F_Q$ karakteristik dayanım değerini, $k_1$ Başlangıç (Elastik) rijitliği değerini, $F_y$ etkin akma kuvvetinin değerini, $D_y$ Etkin akma yerdeğiştirmesi değerini, $k_2$ İkincil (Elastik ötesi) rijitlik değerini, $k_e$ D yerdeğiştirmesine karşılık gelen eşdeğer rijitlik değerini, D izolatörün maksimum yanal yerdeğiştirmesi değerini ve son olarak F izolatörün D yerdeğiştirmesine karşılık gelen yatay kuvveti ifade etmektedir.




**Şekil 24.** Elastomer Yalıtım Birimine ait Kuvvet- Yerdeğiştirme Eğrisi

İzolatör birimine ait eşdeğer rijitliği değeri $k_e$ (denklem 10), döngüsel yükleme sırasında yatayda uygulanan kuvvetin (F) uygulanan bu kuvvete karşılık izolatör biriminde meydana gelen yatay yerdeğiştirme (D) değerine bölünerek elde edilecektir.

$$k_e = \frac{F}{D} \tag{10}$$

İzolasyonlu yapının yönetmeliğe göre eşdeğer sönümü $\beta_e$ değerinin (denklem 11) döngüde tüketilmiş olan enerjinin $W_d$, $2\pi$ FD değerine bölünmesi sonucunda elde edilmektedir.

$$\beta e = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{W_d}{FD}} \tag{11}$$

Kurşun çekirdeğe sahip izolatörler için yalıtım biriminin sahip olduğu karakteristik dayanım $F_Q$ değeri (denklem 12) ile elde edilmektedir. Yalıtım birimi için başlangıç rijitliği $k_1$ değeri hesabı kurşun çekirdeğin sahip olduğu elastik rijitlik $k_2$ değeri ile belirlenmektedir. Buna bağlı olarak yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği $k_2$ değeri (denklem 13) ile elde edilecektir.

$$F_Q \cong F_Y = A_P \tau_{YP} \tag{12}$$

$$k_2 = G_V \left(\frac{A_r}{T_r}\right) \tag{13}$$

Yalıtım sistemindeki kurşun çekirdekli birimler için $A_r$ yönetmelikte verilen (14) denklemler ile belirlenmektedir. Yalıtım birimine ait şekil katsayısı (S) değeri yalıtım biriminin çelik plakası ve elastomer katmanının birleştiği yüzey alanının ($A_r$), yalıtım biriminin elastomer katmanının sahip olduğu kenar yüzeyi alanına ($A_L$) bölünmesiyle (15) belirlenmektedir. Yalıtım biriminin dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli olduğu durumlarda S değeri (16) denklemi ile belirlenmektedir.

$$A_r = \left(\frac{\pi}{4}\right)(B^2 - B_L^2) \tag{14}$$

$$S = \frac{A_r}{A_L} \tag{15}$$

$$S = (B^2 - B_L^2)/(4Bt) \tag{16}$$

Kullanılan denklemlerde B çelik plaka ile yapışmış elastomer levhanın çapını, $B_L$ kurşun çekirdek çapını ve t değeri de elastomer katman kalınlığını ifade etmektedir.

Yalıtım biriminin elastomer olduğu durum için düşey rijitlik değeri $k_v$ değeri denklem (17) de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu denklemde bulunan düşey rijitlik modülü olan $E_v$ değeri ise denklem (18) de olduğu gibi hesaplanır. Denklemde bulunan K değeri kauçuk için hacim modülünü ifade etmektedir ve 2000MPa olarak belirlenmiştir. $E_c$ değeri elastomer birimin sahip olduğu basınç modülüdür ve hesaplanması için (19) denkleminden yararlanılmaktadır.

$$k_V = \frac{E_V A_r}{T_r} \tag{17}$$

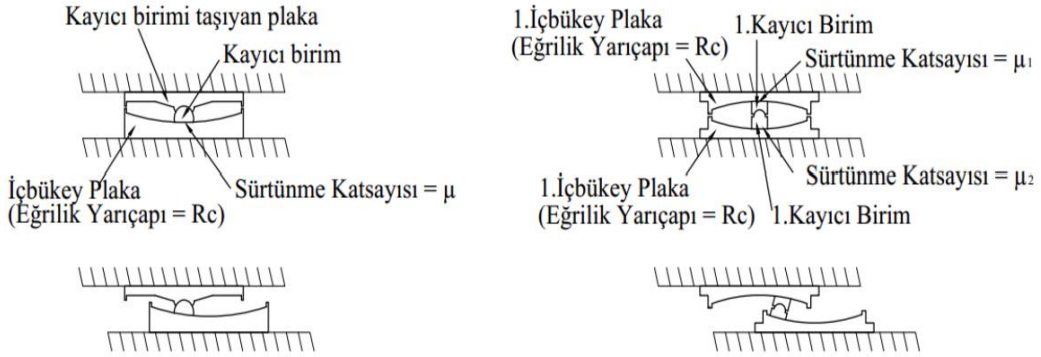
$$E_V = \frac{1}{\frac{1}{E_C} + \frac{1}{K}} \tag{18}$$

$$E_C = E_0(1 + 2kS^2) \quad (19)$$

Denklemde bulunan $E_0$ kauçuk malzemenin esneklik modülüdür ve bu değer $E_0=4G_v$ ile hesaplanmaktadır. k katsayısı da kauçuk malzemede sertlik değerinin 50, 60 ve 70 değerlerini aldığında sırası ile 0.75, 0.60 ve 0.55 olarak alınmaktadır.

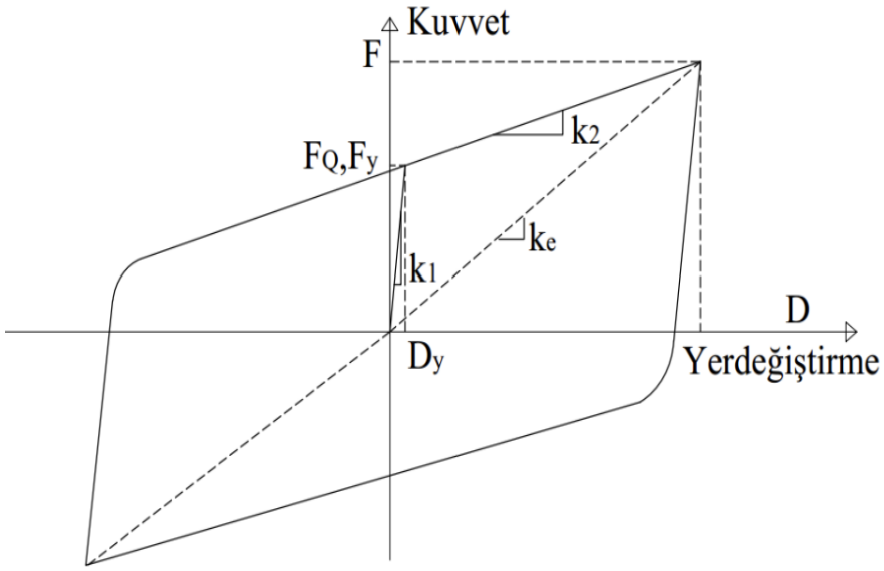
### 1.9. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri

Eğri yüzeylere sahip sürtünmeli izolasyon birimleri, uygulamada kayıcı elemanlardan oluşturulan iç bükey yüzeylerin bir araya getirilmesiyle belirli tasarım kriterlerine göre tamamlanan yalıtım birimleridirler. Bu yalıtım birimleri TBDY 2018 bölüm 14'te belirtilmiştir ve görselleştirilmiştir.




**Şekil 25.** Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimi

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi için basitleştirilmiş kuvvet-yerdeğiştirme eğrisinin özellikleri ve şekli TBDY18 yönetmeliğinde ilgili bölümde detaylı olarak bulunmaktadır. İzolatör birimi için belirlenen yükleme döngüsünde $F_Q$, Fy karakteristik akma dayanımını yani etkin akma dayanımını, k1 değeri döngü için başlangıç rijitliğini, k2 değeri döngü başlangıcı sonrası ikincil rijitliği, ke değeri de D yerdeğiştirmesi için hesaplanacak eşdeğer rijitlik değerini, döngüde bulunan F değeri de meydana gelecek D yerdeğiştirmesi için hesaplanan kuvveti son olarak Dy etkin akma yer değiştirmesi değerini ifade etmektedir.




**Şekil 26.** Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimine ait Kuvvet- Yerdeğiştirme Eğrisi

Yönetmeliğe göre yalıtım birimine ait dayanım değerleri sırasıyla karakteristik dayanımı ve etkin akma dayanımı için yerdeğiştirmenin sıfır olduğu değerde etkin olana sürtünme katsayısı μe ile yalıtım birimine etkiyecek olan düşey yükün çarpımı sonucunda hesaplanacaktır (denklem 20).

$$F_Q = F_Y = \mu_e P \tag{20}$$

Yönetmelik kurallarına göre izolatör biriminin başlangıç rijitliği sanal olup çok yüksek bir değere sahiptir. İkincil rijitlik değeri hesabı için de izolatörün etkisi altında kaldığı düşey yük değerinin yalıtım biriminin kayma yüzeylerinin sahip olduğu etkin eğrilik yarı çapına bölünmesi sonucunda hesaplanacaktır (denklem 21).

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \tag{21}$$

Yalıtım biriminin yükleme sonucu oluşan bir döngüsü için eşdeğer rijitlik değeri olan $k_e$ döngü esnasında yatayda uygulanan maksimum kuvvetin ve bu kuvvet sonucu oluşan maksimum yatay yerdeğiştirmenin birbirine bölünmesi sonucunda

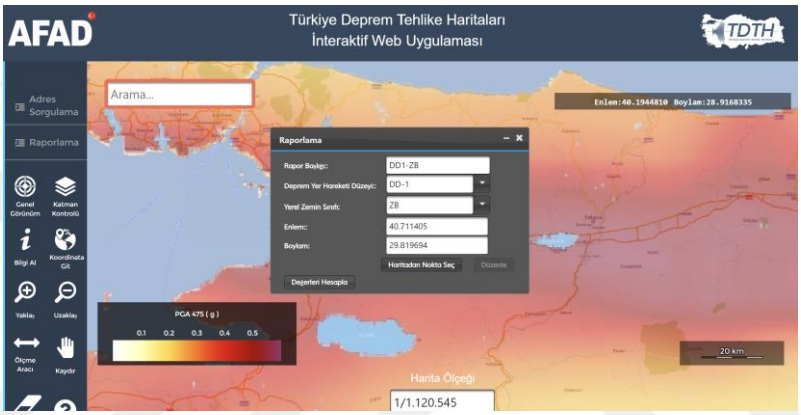
hesaplanacaktır. Yapıya ait eşdeğer sönüm oranı $\beta_e$ değeri yerdeğiştirme döngüsünde tüketilen enerjinin $2\pi$ FD değerine bölünmesi sonucunda hesaplanacaktır (denklem 22 ve denklem 23).

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \tag{22}$$

$$\beta e = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{W_d}{FD}\right] = \frac{2}{\pi}\left[\frac{\mu_e}{\mu_e + \frac{D}{R_c}}\right] \tag{23}$$

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında 5 kattan oluşmakta olan toplum sağlığı merkezi ankastre mesnetli ve sismik izolasyonlu (kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve sürtünmeli sarkaç izolatör) üç boyutlu modellenmiştir. Yapı yapısal bir düzensizlik içermemektedir ve her iki asal eksende simetrik olarak modellenmiştir. ZB zemin sınıfı üzerinde yapılacak olan bina 40.711405 enlemine 29.819694 boylamında bulunan Kocaeli ilinde inşa edileceği var sayılmıştır.




**Şekil 27.** AFAD deprem tehlikesi haritası İnteraktif Web Uygulaması Raporlama

Belirlenen zemin sınıfı ve koordinatlar kullanılarak DD1 deprem düzeyi ve DD2 deprem düzeyine karşılık gelen elastik ivme spektrumları Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak belirlenmiştir. DD1 düzeyi için $S_s$ = 3,045 ve $S_1$=0,870 olarak belirlenen değerler ZB zemin sınıfı için tasarım spektral ivme katsayılarına $S_{DS}$ = 2,740 ve $S_{D1}$=0,696'a dönüştürüldü. Aynı şekilde DD2 düzeyi için $S_s$ = 1,731 ve $S_1$=0,468 olarak belirlenen değerler ZB zemin sınıfı için tasarım spektral ivme katsayılarına $S_{DS}$ = 1,558 ve $S_{D1}$=0,374 değerlerine dönüştürüldü.

**Tablo 7.** İnteraktif Web Uygulamasından DD1 için alınan $S_{DS}$ ve $S_{D1}$ çıktıları

| **Tasarım Spektral İvme Katsayıları** |
|---|
| $S_{DS} = S_S F_S = 3{,}045 * 0{,}900 = 2{,}740$ |
| $S_{D1} = S_1 F_1 = 0{,}870 * 0{,}800 = 0{,}696$ |
| $S_{DS}$: Kısa Periyot Tasarım Spektral ivme Katsayısı [boyutsuz] |
| $S_{D1}$: 1.0 saniye Periyot için Tasarım Spektral ivme Katsayısı [boyutsuz] |

**Tablo 8.** İnteraktif Web Uygulamasından DD2 için alınan $S_{DS}$ ve $S_{D1}$ çıktıları

| **Tasarım Spektral İvme Katsayıları** |
|---|
| $S_{DS} = S_S F_S = 1{,}731 * 0{,}900 = 1{,}558$ |
| $S_{D1} = S_1 F_1 = 0{,}468 * 0{,}800 = 0{,}374$ |
| $S_{DS}$: Kısa Periyot Tasarım Spektral ivme Katsayısı [boyutsuz] |
| $S_{D1}$: 1.0 saniye Periyot için Tasarım Spektral ivme Katsayısı [boyutsuz] |

### 2.1 Sap2000 Programı Yardımıyla Binanın Modellenmesi

*Yapı Modeline Ait Parametreler*

Kat adedi: Bodrum dahil 5 kat

Kat yüksekliği: Her kat 3.50m yüksekliğe sahip (3.50*5=17.50m)

Döşeme kalınlığı: 20cm

Kolon kesit alanı: 0.36$m^2$ (0.7x0.7)

Kiriş kesit alanı: 0.375 $m^2$ (0.5x0.75)

Ankastre Bina Ağırlığı: 72601,32 kN

Radye Temel Kalınlığı: 90cm

*Kullanılan Malzeme Özellikleri*

Kullanılan beton sınıfı: 35/45 ($f_{ck}$ =35 Mpa)

Kullanılan betonun elastisite modülü (Ec): 33000MPa

Kullanılan donatı çeliğinin sınıfı: S420 ($f_{yk}$ =420 Mpa)

Kullanılan donatı çeliğinin elastisite modülü (Es): 210000 Mpa

*Yönetmelik Esasına Dayalı Bazı Parametreler (TBDY 2018)*

Seçilen yerel zemin sınıfı: ZB (Az ayrışmış, orta sağlam kayalar)

Bina önem katsayısı(I): 1 (Yalıtım sisteminin uygulandığı yapılar )

Hareketli yük katılım katsayısı(n): 0,3 (Tablo 5.3)

*Yapıya Etkiyen Yükler*

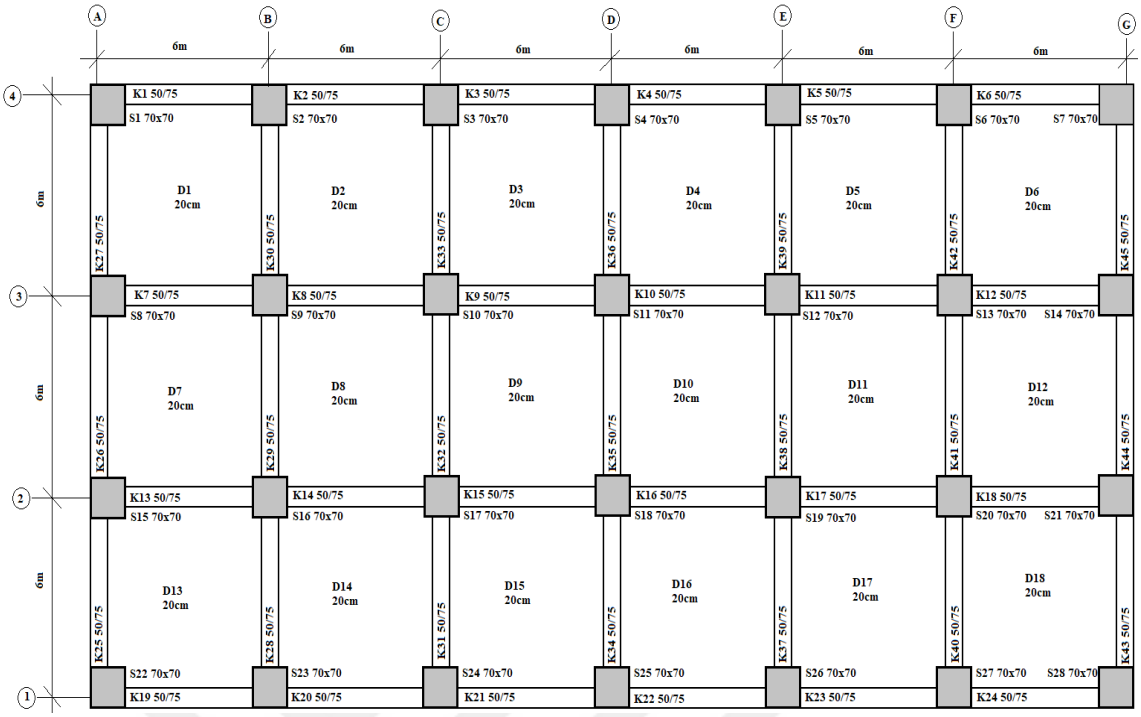
Ölü yük (G): 2 kN/$m^2$ (Döşeme üzerine)

Hareketli yük (Q): 5 kN/$m^2$ (iç döşeme- dış döşeme)

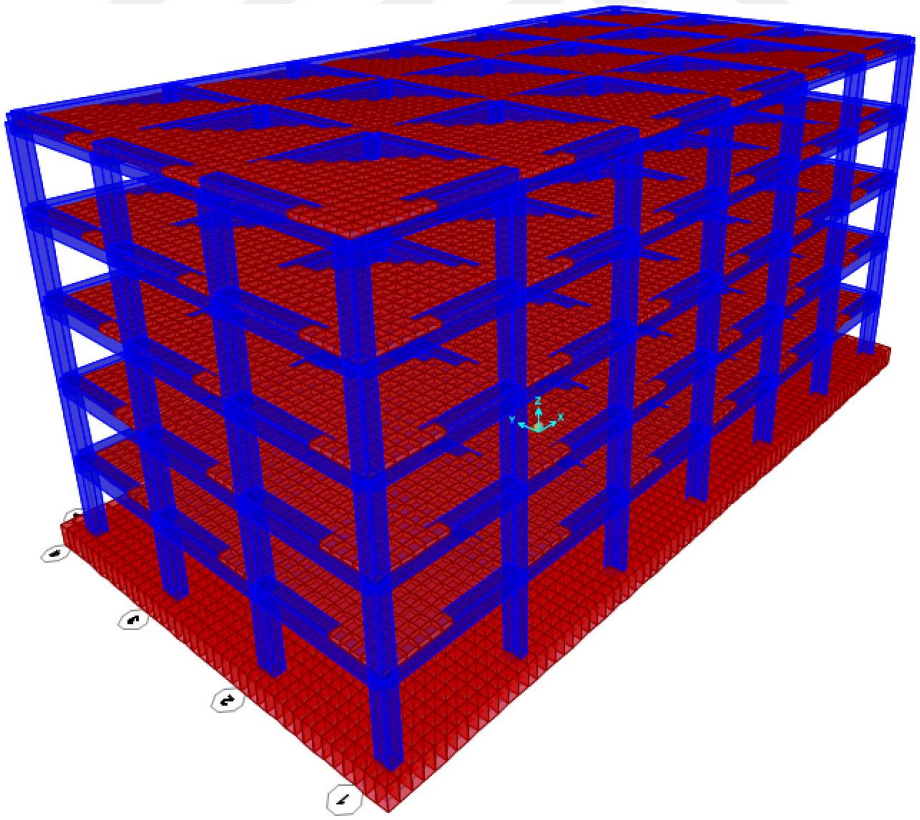
Dış kirişler üzeri için yük: 6 kN/m

İç kirişler üzeri için yük: 4 kN/m

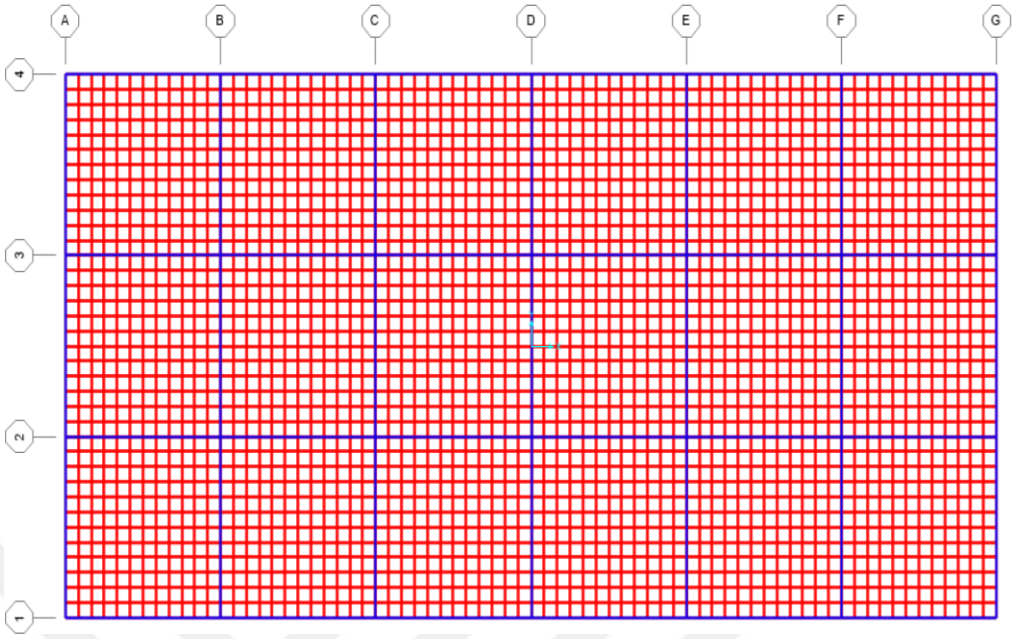
Belirlenmiş olan hareketli ve ölü yükler için TS-498 standartları kullanılmıştır. Sap2000 sonlu eleman paket programında modellenecek ve analiz edilecek yapı için taşıyıcı sistem yüksek süneklik düzeyine sahip çerçeve sistemden oluşturulmuştur. Yapıya ait döşemeler plak döşeme olarak modellenmiştir. Yapı için modellenen alanlar (döşeme ve radye temel) 50 cm aralıklarla sonlu elemanlara bölünerek elde edilecek sonuçların daha hassas hesaplanması amaçlanmıştır. Planda mevcut olan her bir kolon ve radye temel arasında hesabı yapılmış olan kurşun çekirdekli kauçuk izolatör birimi ve sürtünmeli sarkaç izolatör birimler yerleştirilip time history analizleri gerçekleştirilmiştir. 28 kolon için her izolatör biriminden 28 adet kullanılmıştır.



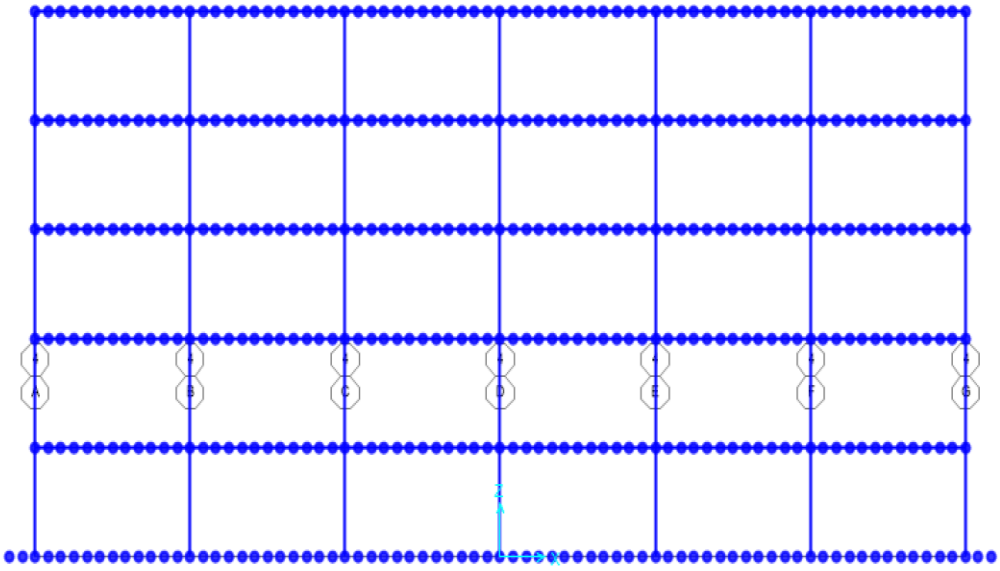

**Şekil 28.** Analizi yapılan yapıya ait kalıp planı



**Şekil 29.** Analizi yapılan binanın Sap2000 programından alınmış 3D görünümü




a)



b)

**Şekil 30.** Sap2000 Programında Sonlu elemanlara bölünmüş bina kat planı ve bina kesiti

## 2.2. Analizde Kullanılacak Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

Tez kapsamında yapacak olduğumuz izolatörlü yapı tasarımı için dinamik analizlerin gerçekleştirilmesi yönetmelik tarafından uygun görülmektedir. Bu nedenle yapılan modellemenin sismik performansının belirlenebilmesi için kullanılacak olan en uygun yöntem zaman tanım alanında dinamik analiz (ZTA) olarak belirlenmiştir. Seçilen bu yöntemin gerekliliği olarak yönetmeliğin uygun gördüğü şekilde en az 11 deprem kaydından oluşan bir seçim yapılmalıdır. Seçilecek olan bu deprem seti için yönetmeliğin belirlemiş olduğu kurallar uygulanır ve seçim sonrası belirlenmiş olan bu kayıtlar için ölçeklendirme işlemi gerçekleştirilir.

Deprem kayıtlarının seçiminde kullanılmakta olan birkaç yöntem mevcuttur. Bu yöntemlerden bazıları yapay deprem kayıtları oluşturmak, yapay deprem kayıtları kullanmak ve orijinal deprem kayıtlarının kullanılması gibi yöntemlerdir. Çalışma kapsamında da orijinal deprem kayıtlarının kullanılmasıyla analizler gerçekleştirilecektir. Orijinal deprem kayıtları Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Ground Motion Veritabanı kullanılarak elde edilecektir (Erdoğdu, Çavdar, ve Özdemir, 2021).

Zaman tanım alanında yapacak olduğumuz dinamik analiz için seçilen deprem kayıtlarının (en az 11 deprem kaydı) birbirine dik X ve Y asal eksenlerinin doğrultusunda birlikte etki ettirilmelidir. Bu deprem kayıtlar aynı zamanda 90 derece döndürülmesi sonucu hesap tekrarlanmalıdır.

*TBDY 2018'e göre Deprem Kayıtlarının Seçilmesi*

Tasarımda kullanılacak deprem yer hareketi ile uyumlu olacak şekilde deprem büyüklükleri, fay mekanizmasının uzaklığı, zeminin sahip olduğu özellikler ve depremin kaynak mekanizması dikkat edilmesi gereken kriterlerdir. Projenin uygulanacağı sahanın geçmiş depremlerinin kayıtlanın öncelikli kullanılması gerekmektedir. Seçilecek deprem kayıtlarının sayısı 11 kayıttan az olmayacak şekilde ve aynı deprem kaydı için seçilecek kayıt sayısı üçü geçmeyecek şekilde gerçekleştirilmelidir.

Seçilen kayıtların spektrum ortalamaları 0.2Tp ve 1.5Tp (Tp: binanın hâkim doğal titreşim periyot değeri) değerleri arasında olacak yani bu aralıktaki genlik değerlerinden daha küçük olmayacak şekilde seçilen yer hareketi kayıtları ölçeklendirilecektir.

Seçilmiş her kayıt için yatay bileşenlere ait her iki spektrum değerlerinin kareleri toplamının karekökü alınacak bileşke bir yatay spektrum elde edilecektir. Belirlenen kayıtlar için oluşturulmuş olan bileşke spektrumlar için ortalama değerleri 0.2Tp ve 1.5Tp arasında değer alacak şekilde ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak deprem kaydının yatayda sahip olduğu her iki bileşen için hesaplanan aynı ölçek katsayısı kullanılacaktır.

Çalışma için kullanılacak gerçek deprem ivme kayıtlarının seçiminde büyüklük değerinin minimum 6.00 dan büyük olacak ve maksimum 7.50 değerini geçmeyecek şekilde seçilmesine karar verilmiştir. Seçimde dikkat edilen bir diğer husus projenin uygulanacak olduğu saha ve yakın çevresi için geçmiş deprem kayıtlarına öncelik verilmesidir. Bu doğrultuda Kocaeli ve çevresini etkilemiş geçmiş deprem kayıtlarına öncelik verilmiştir. Sahanın ZB zemini sahip olduğu ve etkili olacak yer hareketi için normal fay ya da doğrultu atımlı mekanizmaya sahip olduğu kabul edilecektir. Seçimi yapılan gerçek deprem ivme kayıtlarının yakın saha depremi olmamasına dikkat edilmiştir bu durumda seçilecek kayıtların fay kırığına olan mesafesi 25 km'den az ve 70 km'den fazla olmayan istasyonlardan alınmasına dikkat edilmiştir.

**Tablo 9.** PEER yazılımı kullanılarak seçilen ivme kayıtları ve özellikleri

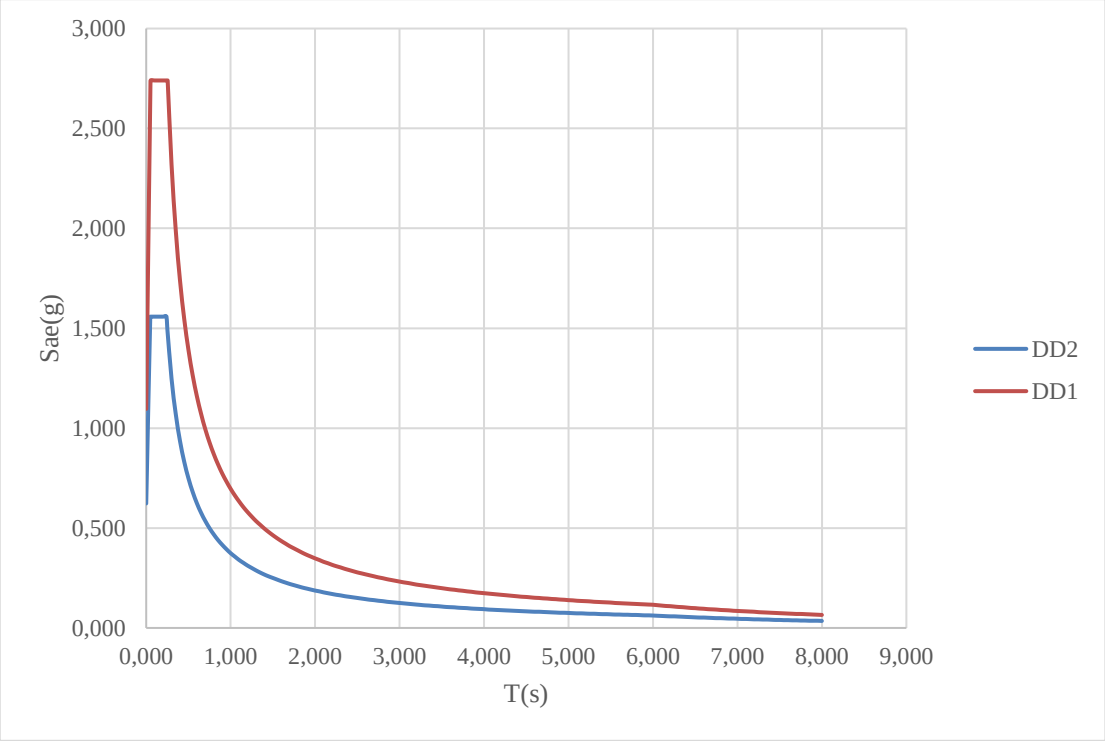
| Kayıt No | Rsn No | Seçilen Deprem Adı | Ölçüm İstasyonu | Yıl | Rjb(Km) | Büyüklük |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1147 | Kocaeli | Ambarlı | 1999 | 68 | 7,51 |
| 2 | 1177 | Kocaeli | Zeytinburnu | 1999 | 51,98 | 7,51 |
| 3 | 1166 | Kocaeli | İznik | 1999 | 30,73 | 7,51 |
| 4 | 1137 | Dinar | Burdur | 1995 | 33,95 | 6,40 |
| 5 | 1139 | Dinar | Çardak | 1995 | 43,13 | 6,40 |
| 6 | 1619 | Düzce | Sakarya | 1999 | 45,16 | 7,14 |
| 7 | 1620 | Düzce | Mudurnu | 1999 | 34,3 | 7,14 |
| 8 | 186 | Imperial Valley-06 | Niland Fire Station | 1979 | 35,64 | 6,53 |
| 9 | 191 | Imperial Valley-06 | Victoria | 1979 | 31,92 | 6,53 |
| 10 | 268 | Victoria, Mexico | SAHOP Casa Flores | 1980 | 39,1 | 6,33 |
| 11 | 20 | Northern Calif-03 | Ferndale City Hall | 1954 | 26,72 | 6,50 |

Seçilmiş olan deprem ivme kayıtlarını ölçeklendirmek için Basit ölçeklendirme yöntemi seçildi ve ölçeklendirme yapılırken Seismomatch programı kullanıldı. Seçili deprem kayıtları belirli ölçek katsayıları kullanılarak büyütülüp ya da küçültülerek saha için hedeflenen tepki spektrumuna uygun hale getirilmesi basit ölçeklendirme yönteminin ana hatlarını oluşturmaktadır. Yönetmeliğinde belirttiği gibi birden fazla kayıt kullanılarak elde edilen ortalama spektrum sahaya özel tepki spektrumuyla uyumlu hale getirilir.

Yatayda her iki doğruldu için H1 ve H2 bileşenlerine yönetmelik gereği aynı ölçek katsayısı uygulanacak ve %5,0 sönüm oranı için ölçeklendirme gerçekleştirilecektir. Düşey periyot değerinin $Tv \leq 0.1$ sn olmasından dolayı düşeyde var olan kayıtlar için ölçeklendirme katsayısının kullanılmasına gerek duyulmamıştır.

Sırasıyla ölçeklendirme işlemi DD1 ve DD2 deprem yer hareketine göre ZB zemin sınıfına sahip enlem ve boylam değerlerinin belirlenmiş olduğu saha için gerçekleştirilecektir. DD-1 depremi 50 yılda gerçekleşme olayının %2,0 olduğu ve tekrarlanma periyodunun da buna bağlı olarak 2475 yıl olduğu sık gerçekleşmeyen fakat etkisi en büyük depremi ifade etmektedir. DD-2 depremi yönetmeliği belirtmiş

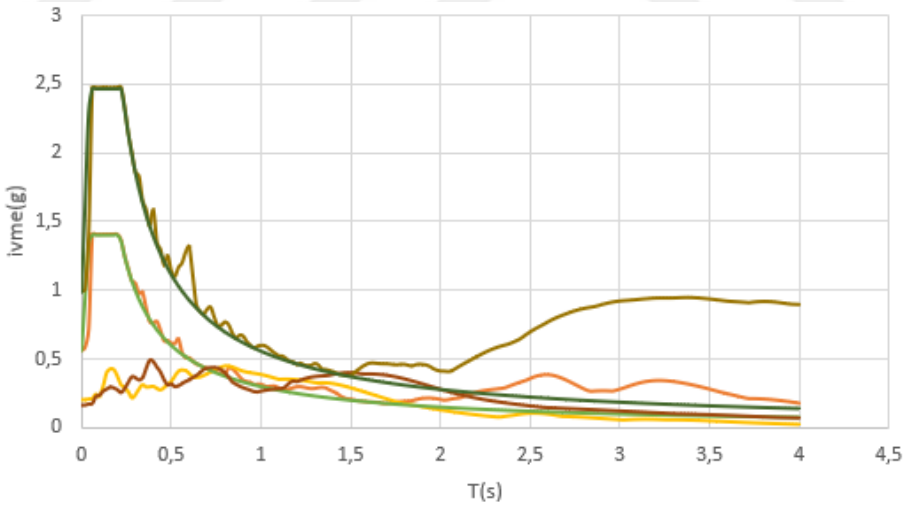
olduğu tasarım olmakla birlikte 50 yılda spektral büyüklüklerinin aşılma olasılığının %10,0 olduğu buna bağlı olarak da tekrarlanma periyot değerinin 475 yıl olarak hesaplandığı deprem yer hareketini ifade eder. Bu yer hareketlerine ve yapının yapılacak olduğu sahaya ait spektrum eğrileri Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından elde edilmiştir ve Excel kullanılarak çizilmiştir.



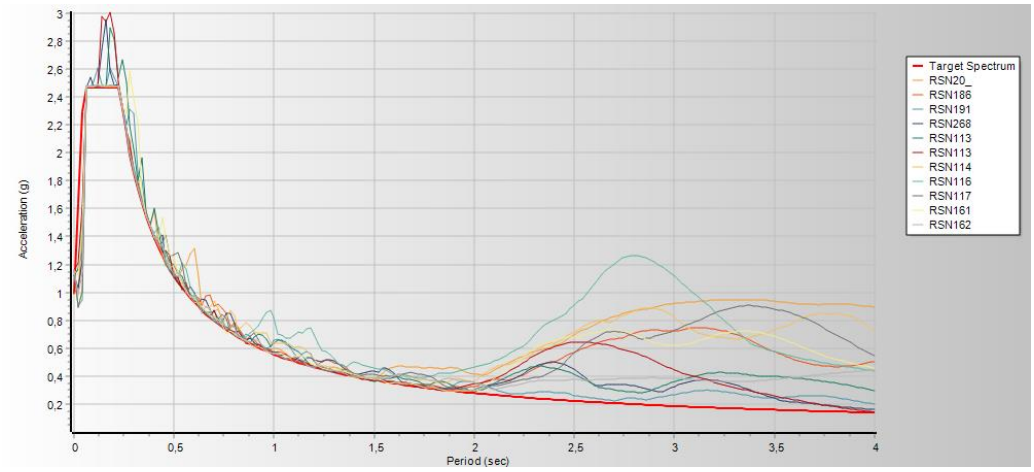

**Şekil 31.** DD-1 ve DD-2 ait Yatay Elastik Spektrum Eğrileri

**Tablo 10.** Seçilmiş ivme kayıtlarına ait ölçek katsayıları

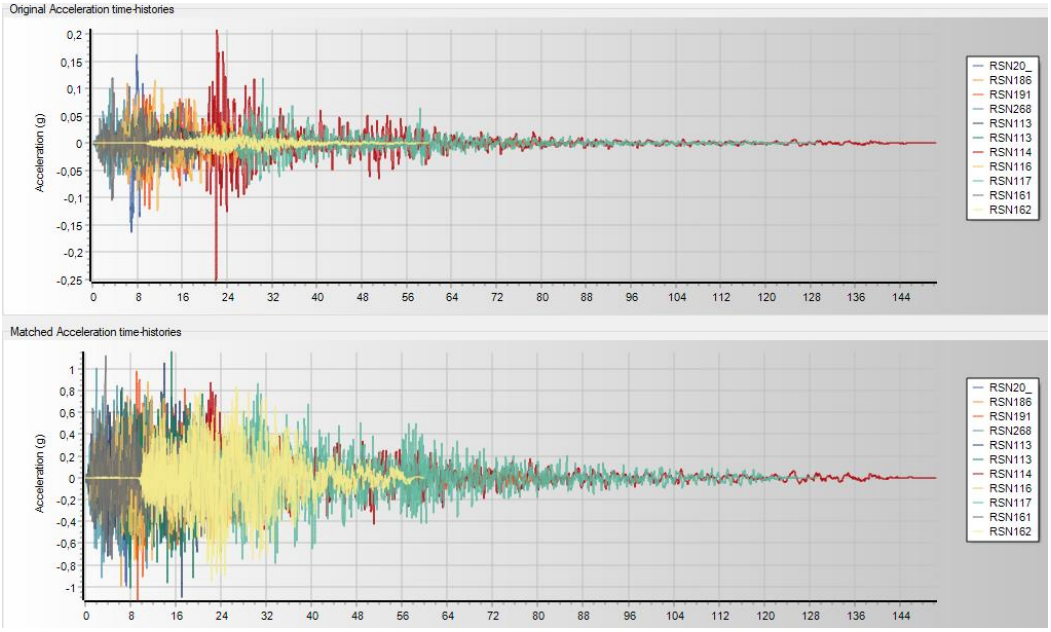
| Kayıt No | Rsn No | Seçilen Deprem Adı | Ölçüm İstasyonu | Ölçek DD1 | Ölçek DD2 | Büyüklük |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1147 | Kocaeli | Ambarlı | 2,442 | 3,453 | 7,51 |
| 2 | 1177 | Kocaeli | Zeytinburnu | 4,063 | 7,267 | 7,51 |
| 3 | 1166 | Kocaeli | İznik | 4,280 | 7,102 | 7,51 |
| 4 | 1137 | Dinar | Burdur | 15,86 | 27,57 | 6,40 |
| 5 | 1139 | Dinar | Çardak | 9,98 | 17,598 | 6,40 |
| 6 | 1619 | Düzce | Sakarya | 4,982 | 9,276 | 7,14 |
| 7 | 1620 | Düzce | Mudurnu | 11,897 | 18,202 | 7,14 |
| 8 | 186 | Imperial Valley-06 | Niland Fire Station | 4,746 | 9,098 | 6,53 |
| 9 | 191 | Imperial Valley-06 | Victoria | 5,127 | 9,271 | 6,53 |
| 10 | 268 | Victoria, Mexico | SAHOP Casa Flores | 5,953 | 10,012 | 6,33 |
| 11 | 20 | Northern Calif-03 | Ferndale City Hall | 3,176 | 6,063 | 6,50 |



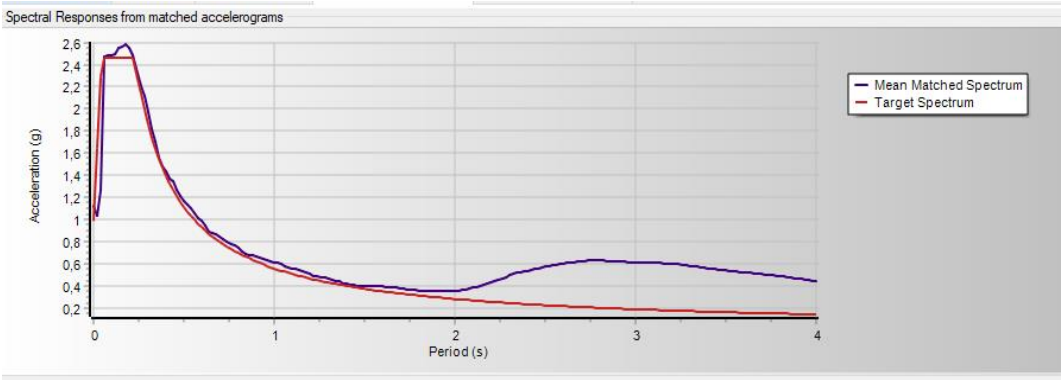

**Şekil 32.** RSN20 ivme kaydının DD-1 ve DD2 yer hareketine göre ölçekli hali




a)

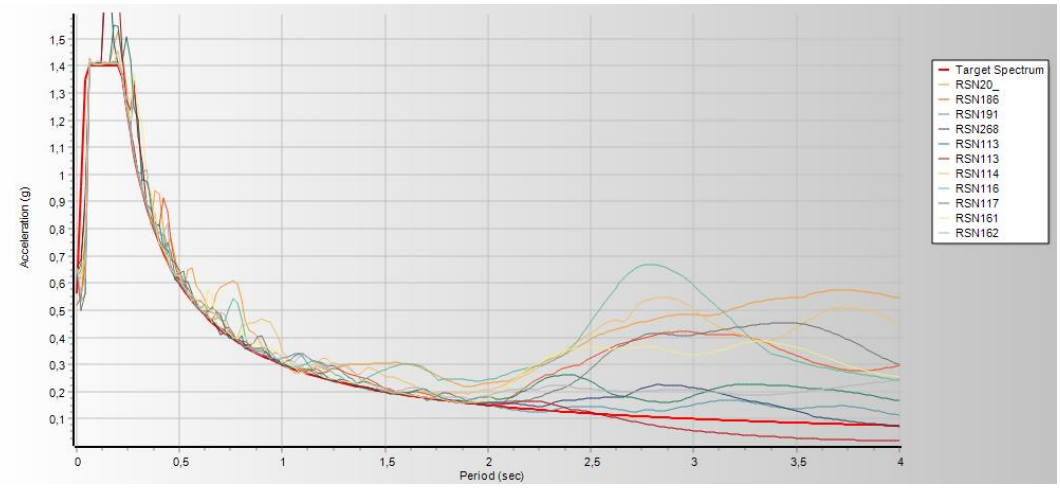



b)

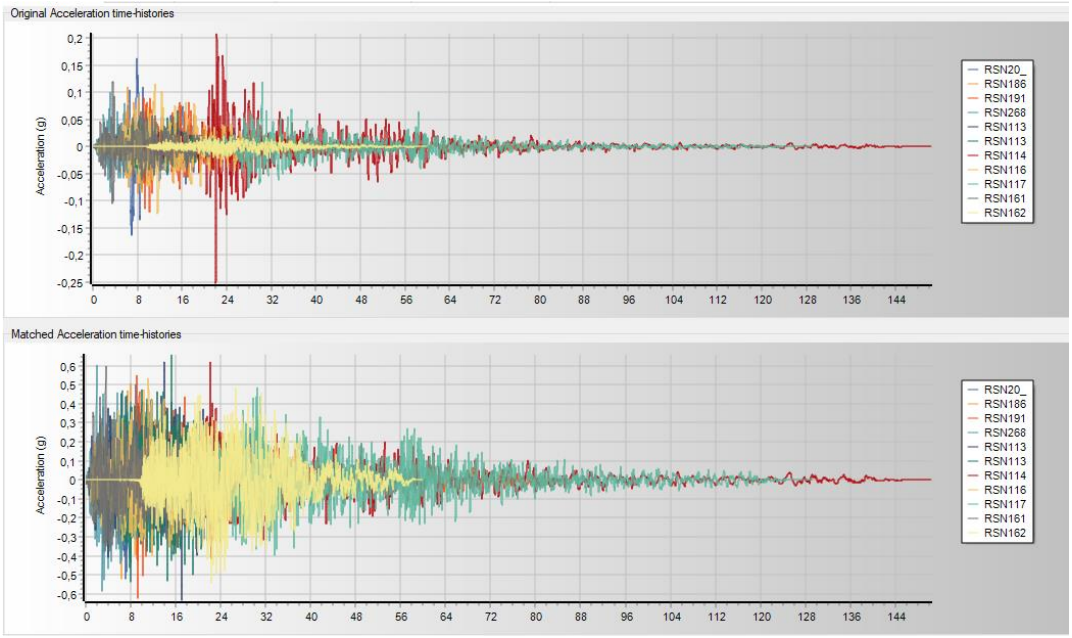



c)

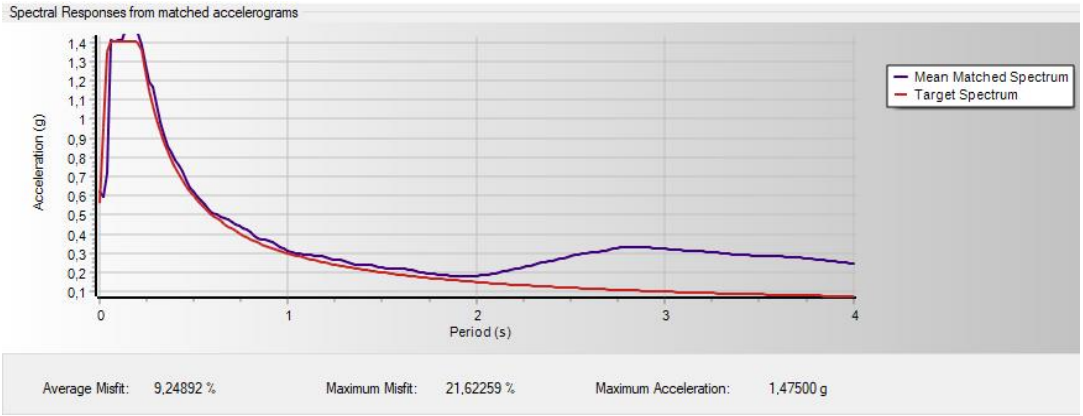
**Şekil 33.** Seçilen ivme setinin DD-1 için spektral ivme değerlerinin ölçekli hali




a)




b)




c)

**Şekil 34.** Seçilen ivme setinin DD-2 için spektral ivme değerlerinin ölçekli hali

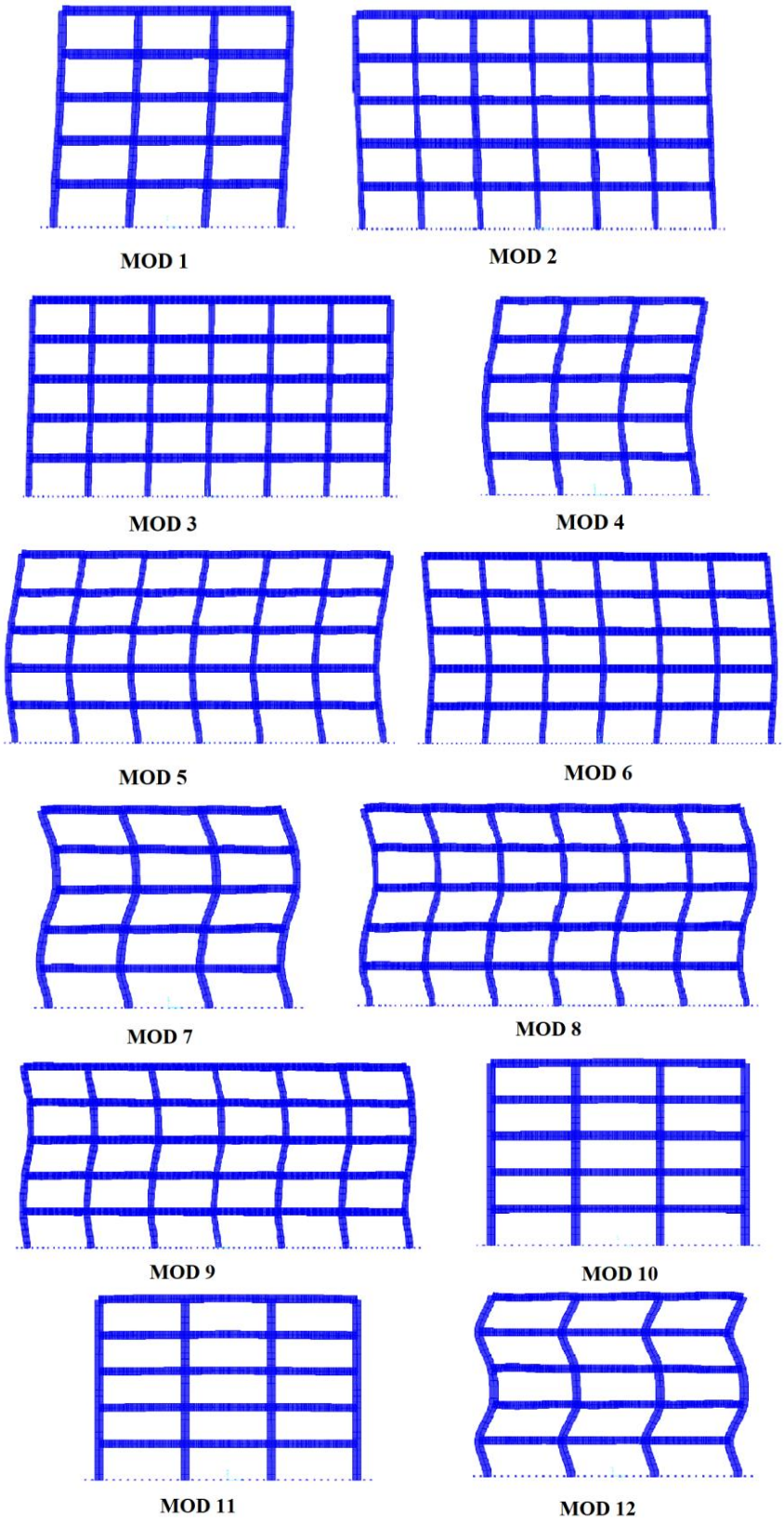
# 3. BULGULAR

## 3.1. Ankastre Mesnetli Binanın Tasarımı ve Analiz sonuçları

Modellenen ankastre mesnetli yapı için modal analizler gerçekleştirilerek yapıya ait serbest titreşim periyot, frekans ve modal kütle katılım oranları elde edilmiştir. Elde edilecek değerlere göre modal katkı oranının %3,0 değerinden büyük olduğu her mod dikkate alınması gerekmektedir. Programdan alınan değerlere göre 12 modun kullanılmasının yeterli olacağı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak Sap2000 den alınan sonuçlar tablo halinde aşağıda verilmiştir. (Tablo 9.) Elde edilen modlara bağlı olarak 12 moda ait olan mod şekilleri sırasıyla görsel olarak sunulmuştur. (Şekil 39.)

**Tablo 11.** Ankastre mesnetli yapı için elde edilen modal analiz sonuçları

| Mod | Periyot (s) | Frekans | UX | UY | UZ | ∑ UX | ∑ UY | ∑ UZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 0,7862 | 1,19527 | 0,00000 | 0,84625 | 0,00000 | 0,00000 | 0,84625 | 0,00000 |
| **2** | 0,7589 | 1,31757 | 0,85091 | 0,00000 | 0,00000 | 0,85091 | 0,84625 | 0,00000 |
| **3** | 0,6940 | 1,44085 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,85091 | 0,84625 | 0,00000 |
| **4** | 0,2575 | 3,88323 | 0,00000 | 0,10098 | 0,00000 | 0,85091 | 0,94723 | 0,00000 |
| **5** | 0,2498 | 4,00185 | 0,09840 | 0,00000 | 0,00000 | 0,94931 | 0,94723 | 0,00000 |
| **6** | 0,2280 | 4,38534 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,94931 | 0,94723 | 0,00000 |
| **7** | 0,1509 | 6,62722 | 0,00000 | 0,03454 | 0,00000 | 0,94931 | 0,98177 | 0,00000 |
| **8** | 0,1479 | 6,76167 | 0,03356 | 0,00000 | 0,00000 | 0,98287 | 0,98177 | 0,00000 |
| **9** | 0,1345 | 7,43469 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,98287 | 0,98177 | 0,00000 |
| **10** | 0,1142 | 8,75472 | 0,00000 | 0,00000 | 0,65974 | 0,98287 | 0,98177 | 0,65974 |
| **11** | 0,1109 | 9,01083 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,98287 | 0,98177 | 0,65974 |
| **12** | 0,1084 | 9,22137 | 0,00000 | 0,01416 | 0,00000 | 0,98287 | 0,99593 | 0,65974 |




**Şekil 35.** SAP2000'den alınan ankastre mesnetli yapıya ait mod şekilleri

### 3.2. Kurşun Çekirdekli İzolatör Uygulanan Binanın Tasarımı ve Analizi

**Tablo 12.** İzolatörlü yapı için kullanılacak KÇE için alınan ve hesaplanan değerler

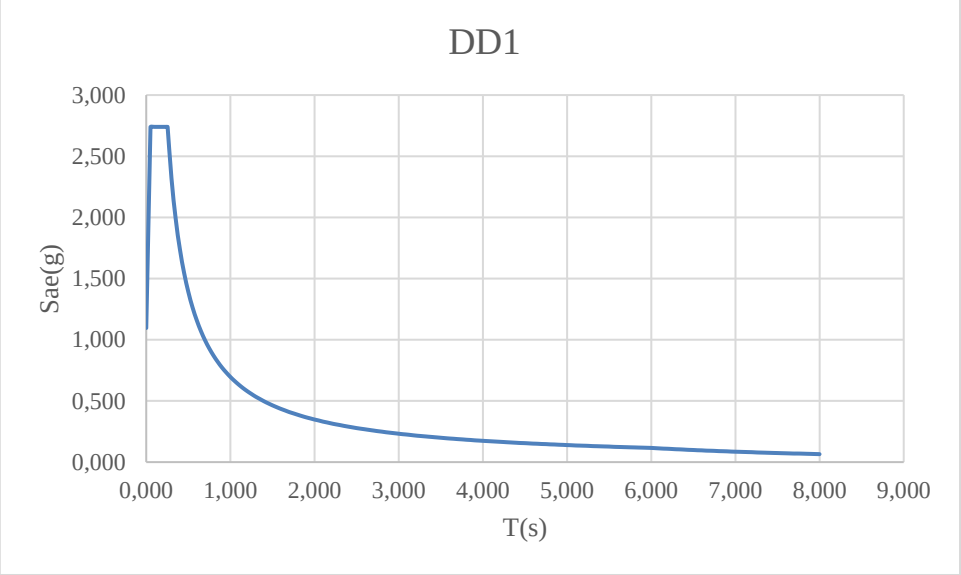
| | | |
|---|---|---|
| İzolatör Dış çapı | $D_I$ | 900mm |
| Elastomer levha çapı | B | 900mm |
| Kurşun Çekirdek Çapı | BL | 190mm |
| Kurşun kayma akma gerilmesi | Typ | 10Mpa |
| Kauçuk Kayma Modülü | Gv | 0,5 Mpa |
| Yalıtım birimi Toplam yüksekliği | H | 450mm |
| Toplam Elastomer Kalınlığı | Tr | 350mm |
| Elastomer Katman kalınlığı | t | 9,0mm |
| Kurşun Çekirdek alanı | Ap | 28352,87 mm2 |
| Elastomerin yüke maruz Yüzey alanı | Ar | 607819,6mm2 |
| Elastomer Biriminin Şekil Katsayısı | S | 23,88 |
| Kauçuk Malzeme Esneklik Modülü | Eo | 2,0 Mpa |
| Elastomer birimin Basınç modülü | Ec | 1368,6 |
| Kauçuk Malzemenin sertlik değeri | k | 0,6 |
| Düşey rijitlik Modülü | Ev | 823,72 |
| Kauçuk Malzemenin Hacim Modülü | K | 2069,0 |
| Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği | kv | 1430508,2 |

Sismik izolasyonlu uygulaması yapılırken tasarımın aşamasında yapılan hesaplar için üç farklı durum da hesaplama yapılmaktadır. Hesaplar faklı üç sınır durumunun kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sınır durumları sırasıyla alt sınır durumu, normal sınır durumu ve üst sınır durumu olarak ifade edilmektedir ve TBDY18 yönetmeliğinde mevcut olan hesap formülleri kullanılarak hesaplanmaktadırlar. Tasarımda DD2 yer hareketine ait değerlerin üst sınır parametresine uygun hesaplanmasıyla üst yapıya ait değerler, DD1 yer hareketine ait değerlerin alt sınır parametresine uygun hesaplanması sonucunda da izolatöre katına ait değerler belirlenir. (Şekil 40. ve Şekil 41.) Benzer işlem adımları hem kurşun çekirdekli izolatör uygulanan bina hem de eğri yüzeyli sürtünmeli izolatör uygulanan bina için yapılmıştır.

Bu durumda yönetmelik Denk. (14.9) ve Denk. (14.10) kullanılarak $F_Q$ karakteristik dayanımı için alt sınır 0,595 ve üst sınır 1,607 olarak, k2 elastik ötesi rijitlik değeri için alt sınır 0,765 ve üst sınır 1,830 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu katsayıların kullanılması sonucunda DD1 ve DD2 için ayrı ayrı tablolar oluşturulmuştur. (Tablo 13. ve Tablo 14.)

**Tablo 13.** KÇE izolatörüne ait DD1 yer hareketi için hesaplanan değerler

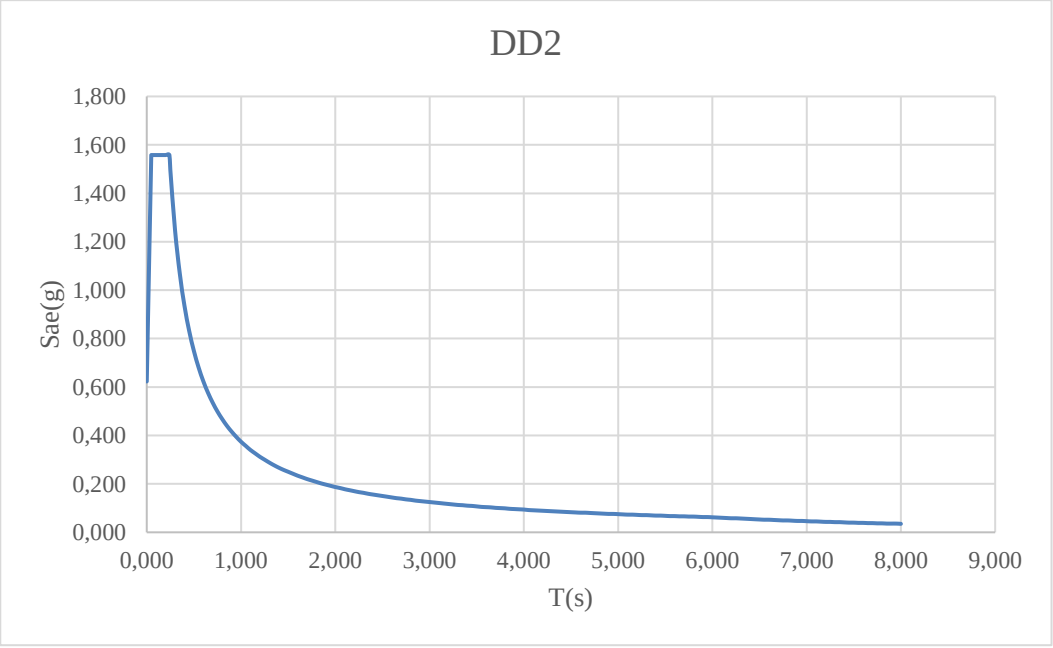
| DD1 | | |
|---|---|---|
| ALT | NOM | ÜST |
| 0,595 | FQ için | 1,607 |
| 0,765 | k2 için | 1,830 |
| 168,700 | FQ=283,53 kN | 455,630 |
| 179,970 | Fy=302,47 kN | 486,070 |
| 0,027 | Dy= 0,033 m | 0,030 |
| 6642,650 | k1=8683,2 | 15890,260 |
| 664,265 | k2=868,32 | 1589,026 |
| 0,100 | k2/k1= 0,1 | 0,100 |
| 361,310 | F= 515,37 kN | 915,107 |
| 33722,260 | ke=48101,2 | 85409,980 |
| 3,940 | Tm=3,46 s | 2,850 |
| 0,236 | Sae=0,283 | 0,376 |
| 0,352 | Dm=0,297m | 0,222 |




**Şekil 36.** İzolatör Tasarımında kullanılan DD1 Elastik Tasarım spektrumu

**Tablo 14.** KÇE izolatörüne ait DD2 yer hareketi için hesaplanan değerler

| DD2 | | |
|---|---|---|
| ALT | NOM | ÜST |
| 0,595 | FQ için | 1,607 |
| 0,765 | k2 için | 1,830 |
| 168,700 | FQ=283,53 kN | 455,630 |
| 179,970 | Fy=302,47 kN | 486,070 |
| 0,027 | Dy= 0,033 m | 0,030 |
| 6642,650 | k1=8683,2 | 15890,260 |
| 664,265 | k2=868,32 | 1589,026 |
| 0,100 | k2/k1= 0,1 | 0,100 |
| 341,320 | F= 359,07 kN | 451,770 |
| 79641,333 | ke=83783,9 | 105413,000 |
| 1,910 | Tm=1,87 s | 1,660 |
| 0,197 | Sae=0,199 | 0,227 |
| 0,124 | Dd=0,120m | 0,108 |




**Şekil 37.** İzolatör Tasarımında kullanılan DD2 Elastik Tasarım spektrumu

DD1 yer hareketinin ve DD2 yer hareketinin yapı üzerinde oluşturacak olduğu kuvvetler denklem 1.8 ve denklem 1.9 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu durumda DD1 için hesaplanan $V_M$ kuvvet izolatörlü yapının alt katına etkiyecek olan

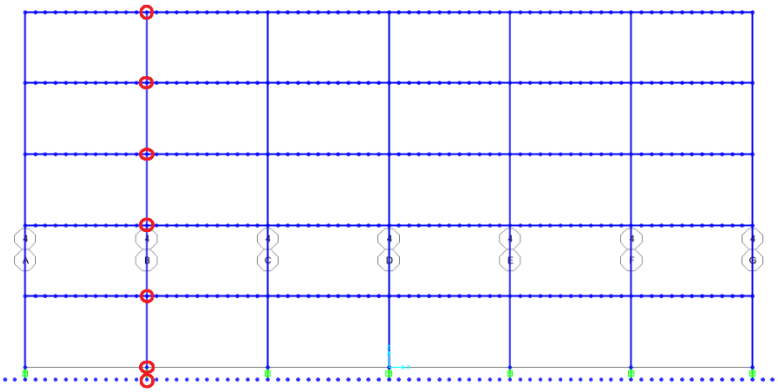
kuvveti, DD2 için hesaplanan $V_D$ kuvvet izolatörlü yapının üst katına etkiyecek olan kuvveti ifade etmektedir. Yapılan hesaplar sonucu elde edilen değerler aşağıdaki denklem 24 ve 25'te hesaplandığı gibidir.

$$V_M = \frac{0{,}283 \text{ x}72601{,}83\text{x}0{,}535}{1{,}5} = 7328{,}18\ kN \qquad (24)$$

$$V_D = \frac{0{,}199\text{x}72601{,}83\text{x}0{,}535}{1{,}5} = 5153{,}03\ kN \qquad (25)$$

**Tablo 15.** KÇK izolatörlü yapının modal analiz sonuçları

| Mod | Periyot (s) | Frekans | UX | UY | UZ | ∑ UX | ∑ UY | ∑ UZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 3,35043 | 0,29847 | 0,00000 | 0,99931 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99931 | 0,00000 |
| **2** | 3,33434 | 0,30091 | 0,99948 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99948 | 0,99931 | 0,00000 |
| **3** | 1,99160 | 0,43427 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99948 | 0,99931 | 0,00000 |
| **4** | 0,40128 | 2,49205 | 0,00000 | 0,00061 | 0,00000 | 0,99948 | 0,99992 | 0,00000 |
| **5** | 0,37449 | 2,67033 | 0,00045 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99993 | 0,99992 | 0,00000 |
| **6** | 0,34136 | 2,92943 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99993 | 0,99992 | 0,00000 |
| **7** | 0,18799 | 5,31935 | 0,00000 | 0,00000 | 0,82599 | 0,99993 | 0,99992 | 0,82599 |
| **8** | 0,18324 | 5,45719 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99993 | 0,99996 | 0,82599 |
| **9** | 0,17984 | 5,56055 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99993 | 0,99996 | 0,82599 |
| **10** | 0,17771 | 5,62701 | 0,00003 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99997 | 0,99996 | 0,82599 |
| **11** | 0,16659 | 6,00275 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99997 | 0,99996 | 0,82599 |
| **12** | 0,16627 | 6,01427 | 0,00000 | 0,00000 | 0,03793 | 0,99997 | 0,99996 | 0,86392 |



**Şekil 38.** Analiz Sonuçlarının Alındığı Referans Noktalar

### 3.3. Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Uygulanan Binanın Tasarımı ve Analizi

Eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç(EYS) izolatör için aşağıdaki parametreler belirlenerek tasarım için gerekli diğer parametreler elde edilmiştir. Sürtünmeli sarkaç izolatör için tasarım yapılırken kurşun çekirdekli izolatör tasarımında yaptığımız gibi üç sınır durumuna ait değerler elde edilmiştir. Bu üç farklı sınır durumları olan alt sınır durumu, normal sınır durumu ve üst sınır durumu için izolatör parametreleri hesap edilmiştir. Üst sınır parametresi DD-2 yer hareketi için üst yapının tasarımında kullanılmıştır. Alt sınır parametresi DD-1 deprem düzeyi için izolatör katı ve alt yapının tasarımında kullanılmıştır. Bu işlem adımları kurşun çekirdekli izolatör için yapılan hesap adımlarının aynısıdır (tablo16).

**Tablo 16.** EYS İzolatör Tasarımında Kullanılan Parametreler

| | |
|---|---|
| P | 5100 kN |
| Alt Limiti | 0,595 |
| Üst Limiti | 1,719 |
| $\mu_n$ | 0,08 |
| $\mu_e$ | 0,08 |
| Rc | 4,5 m |

Bu durumda yönetmelikte bulunan denklemler yardımıyla izolatöre ait μ sürtünme katsayısı için alt limiti 0,595 ve üst limiti 1,719 olarak elde edilmiştir. Elde katsayıların kullanılarak DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerine uygun ayrı ayrı tablolar oluşturulmuştur. (Tablo 17 ve Tablo 18 )

**Tablo 17.** DD1 için EYS İzolatör Tasarımı

| DD1 | | |
|---|---|---|
| ALT | NOM | ÜST |
| 0,595 | μn | 1,719 |
| 5100 | P=5100 kN | 5100 |
| 0,0476 | μe=0,08 | 0,1375 |
| 4,5 | Rc=4,5 m | 4,5 |
| 242,76 | FQ= 408 kN | 701,35 |
| 3,18 | Tm=2,48 s | 2,34 |
| 0,221 | Sae=0,249 | 0,296 |
| 0,38 | Dm=0,33m | 0,28 |
| 84966 | k1=142800 | 245472.5 |
| 1133,3 | k2=1133,3 | 1133,3 |
| 2032,44 | ke=2702,56 | 3730,55 |

**Tablo 18.** DD2 için EYS İzolatör Tasarımı

| DD2 | | |
|---|---|---|
| ALT | NOM | ÜST |
| 0,595 | μn | 1,719 |
| 5100 | P=5100 kN | 5100 |
| 0,0476 | μe=0,08 | 0,1375 |
| 4,5 | Rc=4,5 m | 4,5 |
| 242,76 | FQ= 408 kN | 701,35 |
| 2,54 | Tm=2,13 s | 1,76 |
| 0,147 | Sae=0,178 | 0,214 |
| 0,17 | Dm=0,14m | 0,11 |
| 84966 | k1=142800 | 245472,5 |
| 1133,3 | k2=1133,3 | 1133,3 |
| 3156,33 | ke=4533,33 | 6622,91 |

EYS izolatör için DD1 yer hareketinin ve DD2 yer hareketinin yapı üzerinde oluşturacak kuvvetler aşağıdaki denklemler kullanılarak kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü yapıdaki gibi hesaplanmıştır. Bu durumda DD1 için hesaplanan $V_M$ kuvvet izolatörlü yapının alt katına etkiyecek olan kuvvetin değerini, dd2 için hesaplanan $V_d$ kuvvet izolatörlü yapının üst katına etkiyecek olan kuvvetin değerini ifade

etmektedir. Yapılan hesaplar sonucu elde edilen değerler aşağıdaki denklem 26 ve 27'de hesaplandığı gibidir.

$$V_M = \frac{0.249x72601.83x0,535}{1,5} = 6447,76\ kN \quad (26)$$

$$V_D = \frac{0.178x72601.83x0,535}{1,5} = 4609,24\ kN \quad (27)$$

**Tablo 19.** EYS İzolatörlü Yapının Modal Analiz Sonuçları

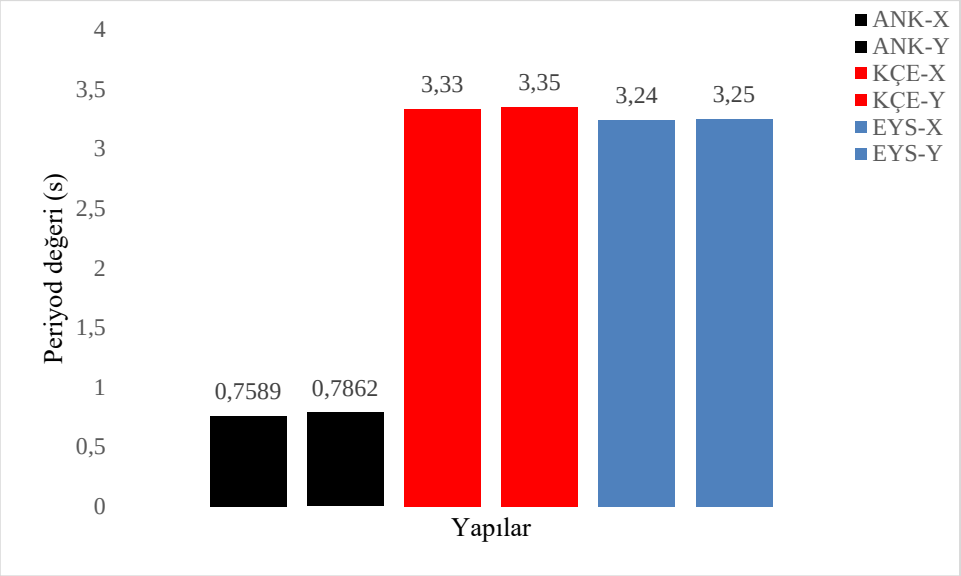
| Mod | Periyot (s) | Frekans | UX | UY | UZ | ∑ UX | ∑ UY | ∑ UZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 3,25973 | 0,30654 | 0,00000 | 0,99931 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99931 | 0,00000 |
| **2** | 3,24007 | 0,30982 | 0,99948 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99948 | 0,99931 | 0,00000 |
| **3** | 3,19239 | 0,31361 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99948 | 0,99931 | 0,00000 |
| **4** | 0,38749 | 2,58069 | 0,00000 | 0,00061 | 0,00000 | 0,99948 | 0,99992 | 0,00000 |
| **5** | 0,36569 | 2,73451 | 0,00045 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99993 | 0,99992 | 0,00000 |
| **6** | 0,33368 | 2,99686 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99993 | 0,99992 | 0,00000 |
| **7** | 0,18206 | 5,49272 | 0,00000 | 0,00000 | 0,82599 | 0,99993 | 0,99992 | 0,82599 |
| **8** | 0,17683 | 5,65519 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99993 | 0,99996 | 0,82599 |
| **9** | 0,16410 | 6,09381 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99993 | 0,99996 | 0,82599 |
| **10** | 0,16249 | 6,15399 | 0,00003 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99997 | 0,99996 | 0,82599 |
| **11** | 0,15899 | 6,28951 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,99997 | 0,99996 | 0,82599 |
| **12** | 0,15104 | 6,62072 | 0,00000 | 0,00000 | 0,03793 | 0,99997 | 0,99996 | 0,86392 |

### 3.4. Yapılara ait Periyod değerlerinin incelenmesi

Ankastre yapı, yenilikçi yöntemler kullanılarak güçlendirilen depreme dayanıklı KÇE ve EYS izolatörlü her iki yapıya ait periyot değerleri Sap2000 programı yardımıyla elde edilmiştir ve x ve y doğrultularındaki sonuçlar karşılaştırmalı olarak tablo 20'de sunulmuştur. Elde edilen değerler şekil 41'de grafik olarak verilmiştir.

**Tablo 20.** Yapılara ait Periyod Değerleri

| Periyot Değerleri | Ankastre | | Kçe İzolatörlü | | Eys İzolatörlü | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | X Yönü | Y Yönü | X Yönü | Y Yönü | X Yönü | Y Yönü |
| | 0,759 | 0,786 | 3,330 | 3,350 | 3,240 | 3,250 |




**Şekil 39.** Yapılara ait Periyod Değerleri

Elde edilen sonuçlara göre periyot değerlerinin ankastre mesnetli yapı için oldukça küçük olduğu belirlendi. Uygulanan izolatör sistemlerinin yapıları doğal titreşim periyod değerlerini hedeflenen 2s-4s aralığına yükselmesini sağlamıştır. Artan periyod değerleri binada oluşacak sismik talebin olumlu yönde azalması anlamına gelmektedir. Küçük periyod değeri binanın deprem etkisinde daha fazla salınım yapmasına ve sistemde bu salınımlar sebebiyle hasarın meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan hedeflendiği gibi periyod değeri artırılmış ve her iki izolatörlü yapı depreme dayanıklı olarak tasarlanmış oldu.

### 3.5. Yapılara ait kat yerdeğiştirme değerlerinin incelenmesi

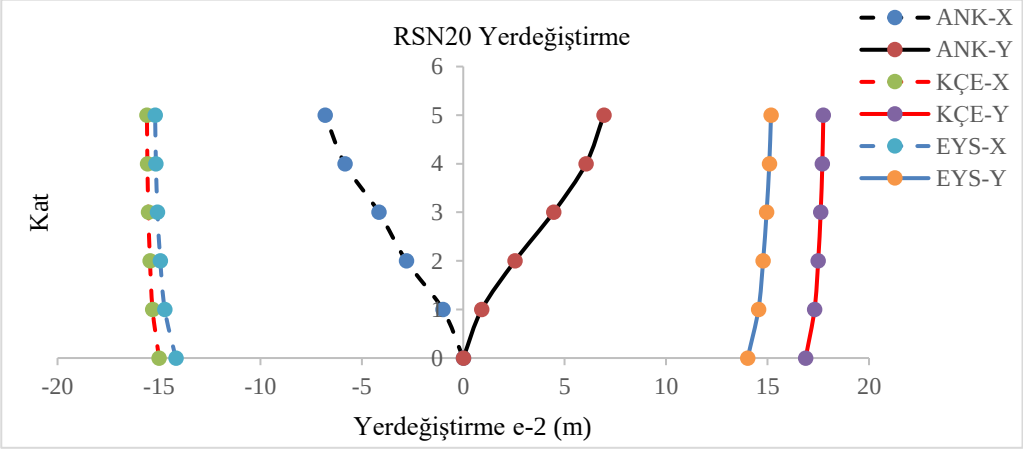
Bu bölümünde ankastre mesnetli, KÇE izolatörlü ve EYS izolatörlü modellerin deprem performansı karşılaştırıldı. Seçilmiş olan deprem ivme kayıtlar kullanılarak gerçekleştirilen ZTA doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda 11 deprem kaydı için katlar ait yerdeğiştirme değerleri karşılaştırmalı olarak grafikler

halinde sunulmuştur. RSN20 depremine ait yerdeğiştirme sonuçları ek olarak tablo halinde karşılaştırmalı olarak tablo 19' da verilmişti.

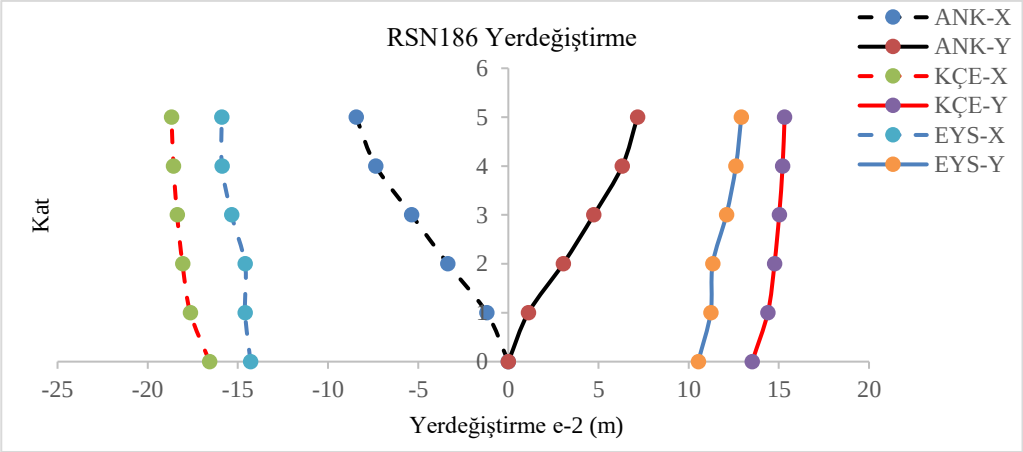
**Tablo 21.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler

| | | X Yönünde Yer Değiştirme (e-2m) | | | Y Yönünde Yer Değiştirme (e-2m) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Ankastre** | **Kçe İzolatörlü** | **Eys İzolatörlü** | **Ankastre** | **Kçe İzolatörlü** | **Eys İzolatörlü** |
| rsn20X | 0.kat | 0,000 | -14,997 | -14,171 | 0,000 | 16,877 | 14,019 |
| | 1. kat | -1,010 | -15,315 | -14,714 | 0,910 | 17,316 | 14,551 |
| | 2. kat | -2,810 | -15,444 | -14,934 | 2,550 | 17,496 | 14,780 |
| | 3. kat | -4,160 | -15,523 | -15,071 | 4,450 | 17,618 | 14,952 |
| | 4. kat | -5,840 | -15,570 | -15,151 | 6,050 | 17,701 | 15,086 |
| | 5. kat | -6,810 | -15,593 | -15,189 | 6,930 | 17,749 | 15,169 |

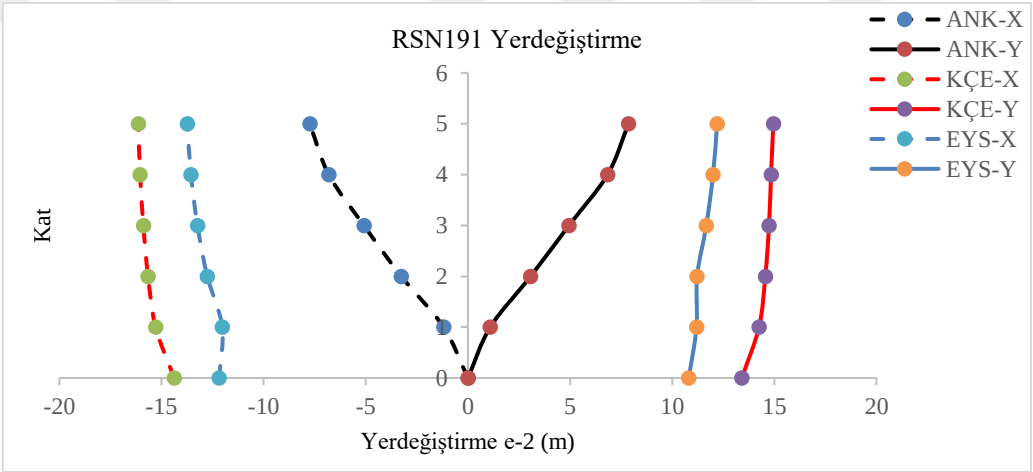
Ankastre mesnetli yapıda meydana gelen kat yerdeğiştirmeleri sıfırdan başlayarak büyük değerlere ulaştığı katlar arası ötelenmenin büyük değerler aldığı grafiklerde belirtilmiştir. Bunun tam tersi olarak, izolatörlü her iki yapı için meydana gelen yer değiştirme değerinin tamamına yakını izolatör katında gerçekleşmiştir ve katlar arası çok küçük göreli ötelenme değerleri oluşmuştur. Bu durumda izolatörlü yapılardaki izolatör üst yapısı için rijit blok hareketi yaptığı ve deprem taleplerinin kazanılan esneklik sayesinde izolatör katında sönümlendiği sonucu elde edildi.



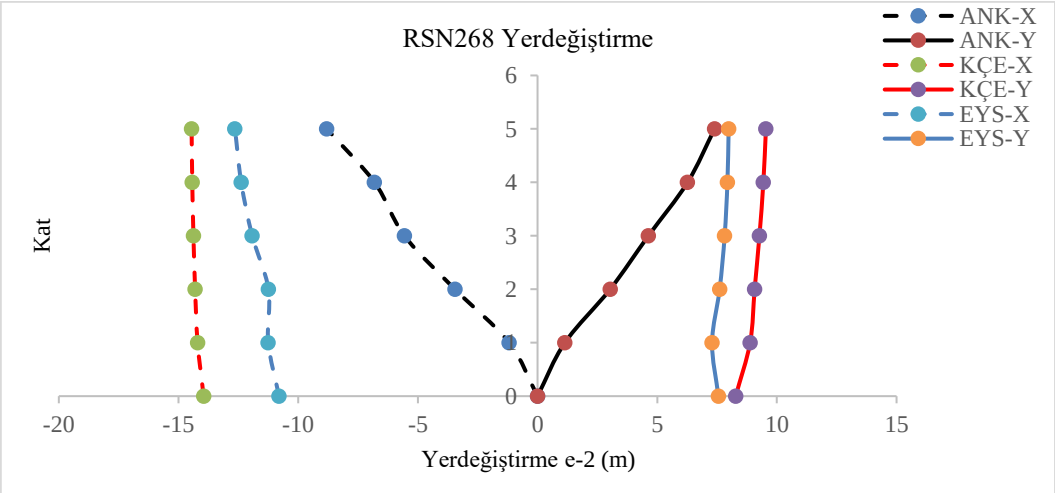

**Şekil 40.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler



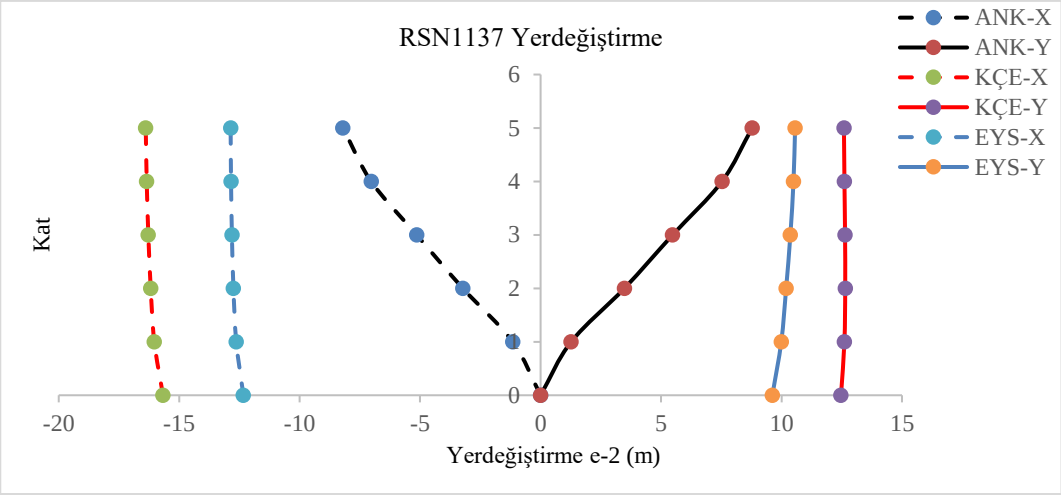

**Şekil 41.** RSN186 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler



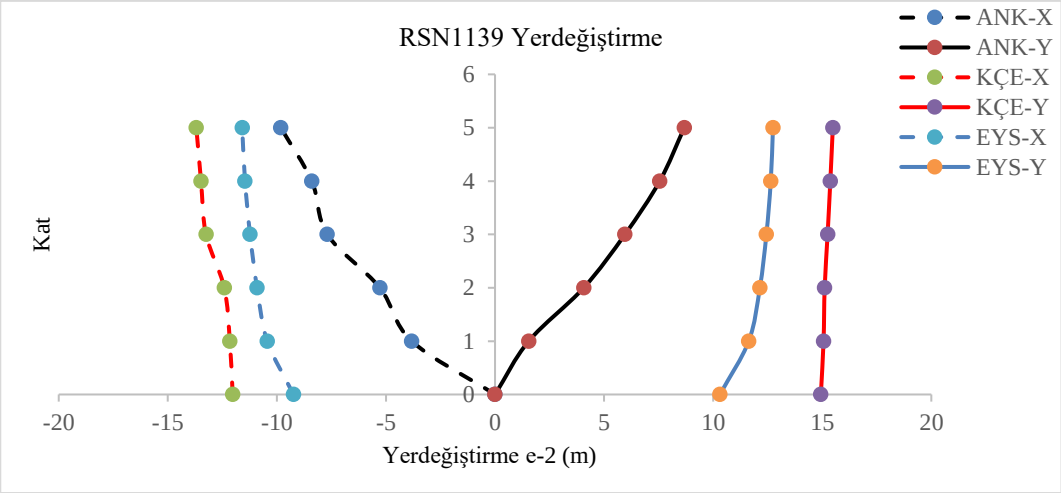

**Şekil 42.** RSN191 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler



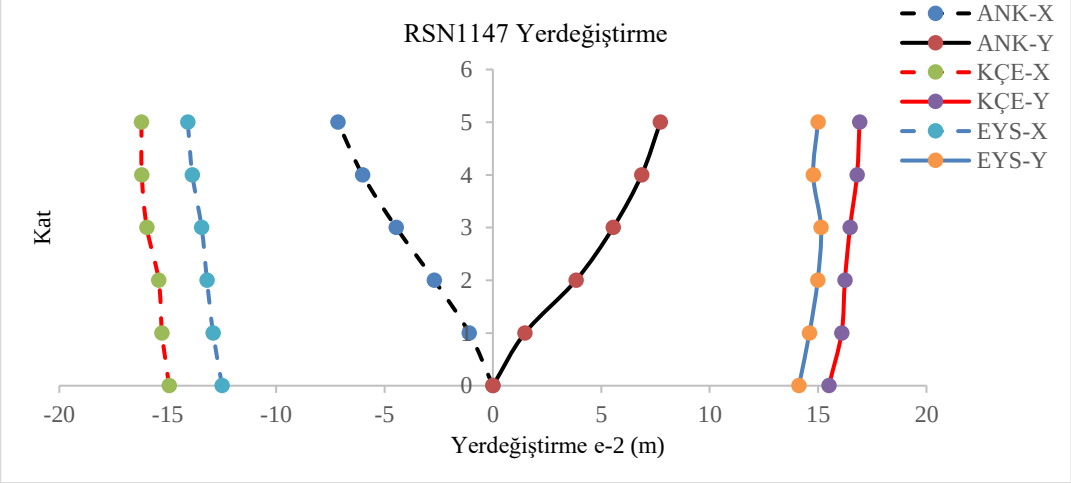

**Şekil 43.** RSN268 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler



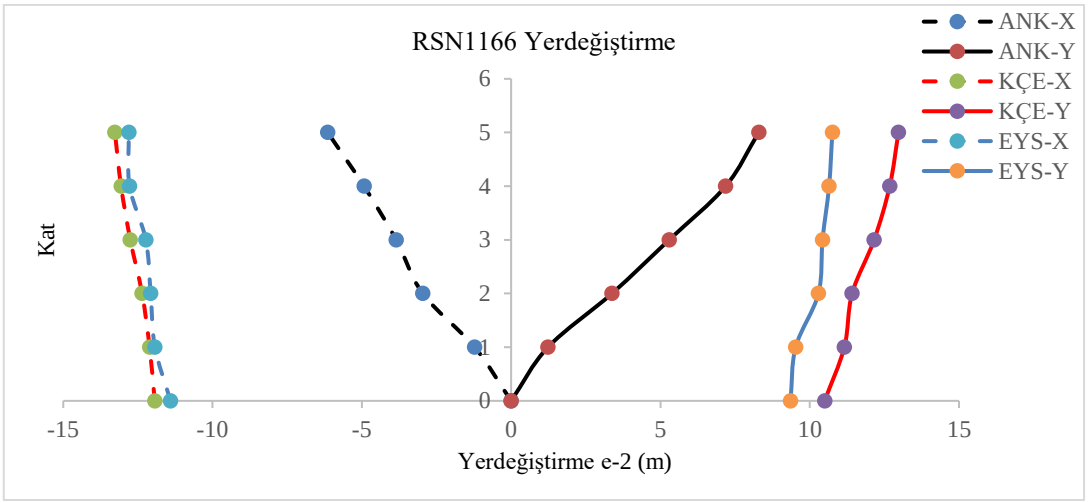

**Şekil 44.** RSN1137 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler



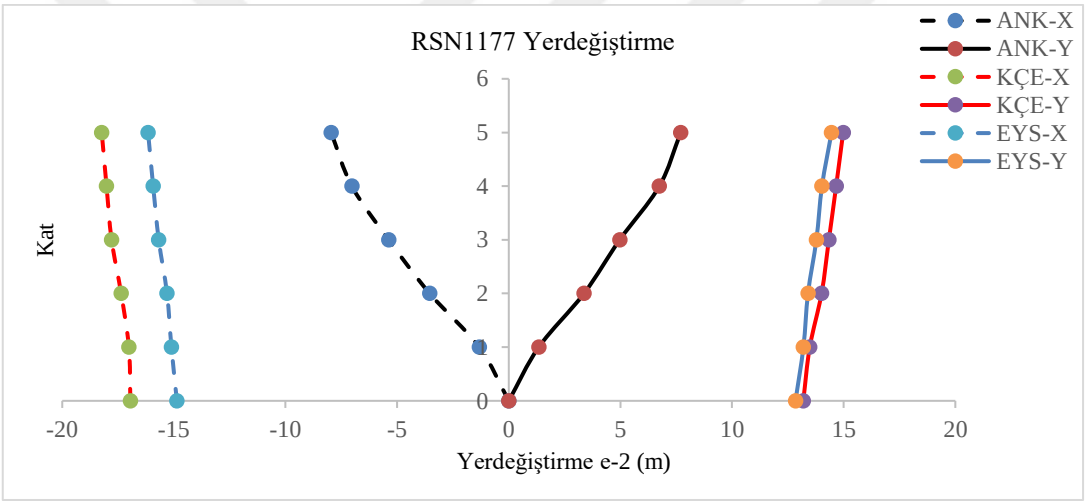

**Şekil 45.** RSN1139 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler



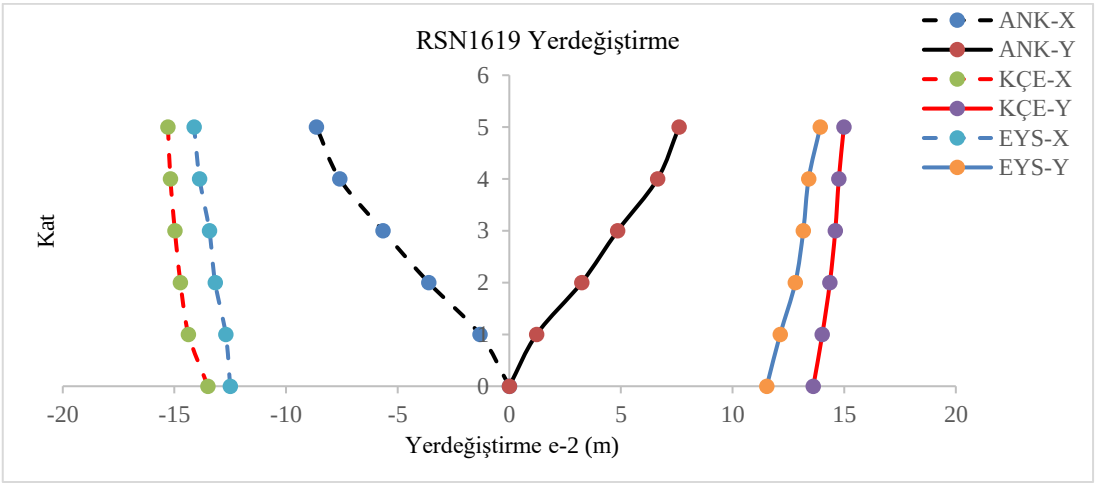

**Şekil 46.** RSN1147 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler



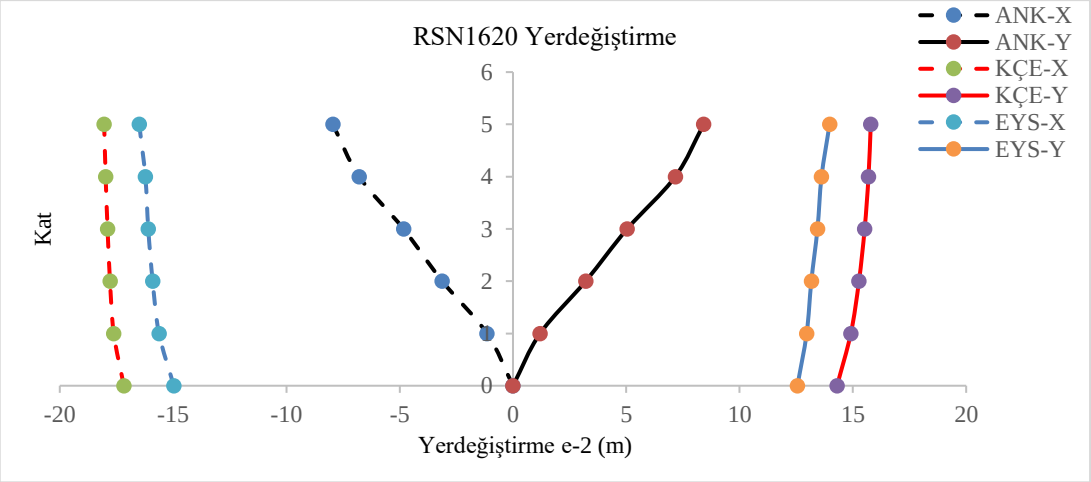

**Şekil 47.** RSN1166 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler




**Şekil 48.** RSN1177 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler




**Şekil 49.** RSN1619 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler



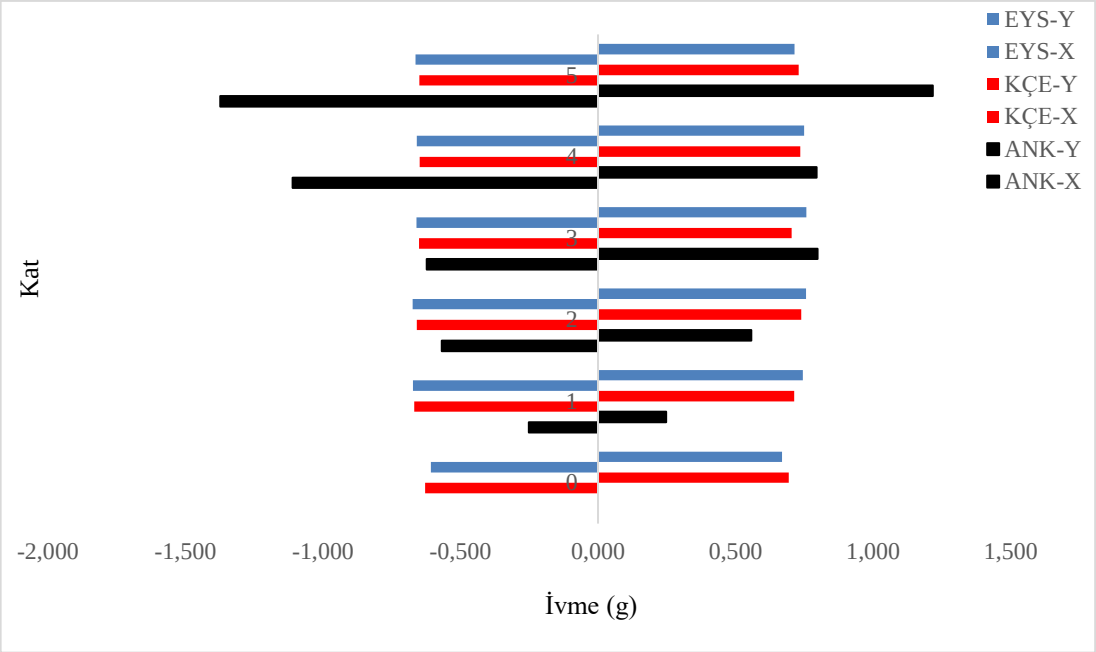

**Şekil 50.** RSN1620 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Yerdeğiştirmeler

### 3.6. Yapılara ait kat ivme değerlerinin incelenmesi

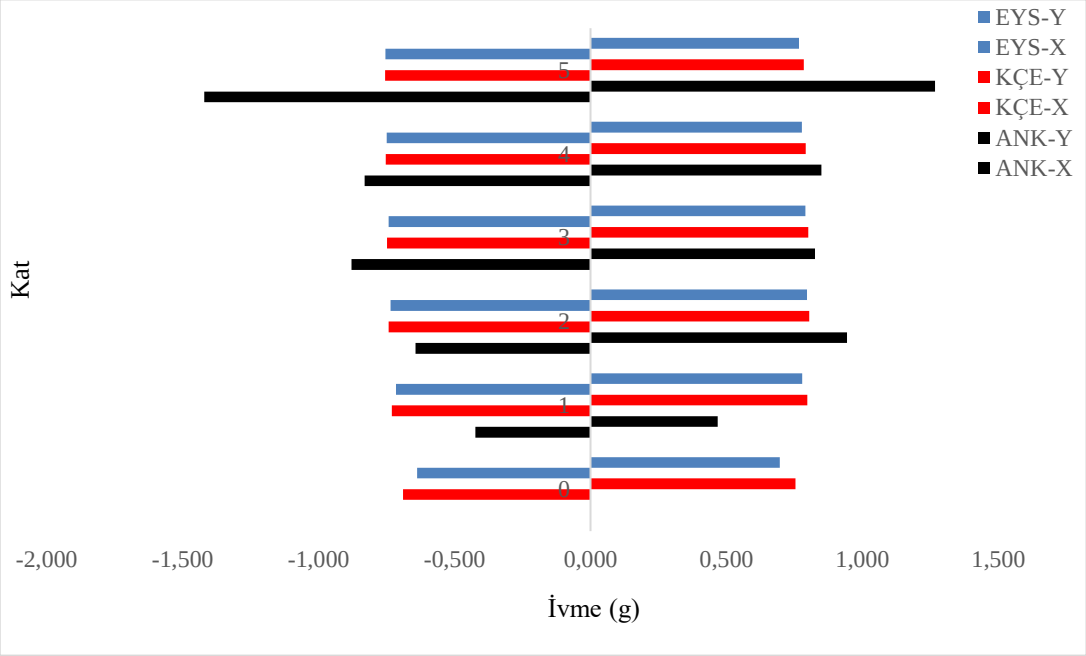
Ankastre mesnetli yapı ve izolatörlü yapılar üst yapıda oluşacak sismik talepler yönünden incelendiğinde, izolatörlü her iki yapıda oluşan sismik talepler ankastre mesnetli yapıya göre nispeten daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumun asıl nedeni sismik taleplerin büyük bir kısmının izolatörlü yapılarda bulunan izolatör katında meydana gelmesidir. Elde edilen sonuçlara göre ivme taleplerine bakıldığında izolatörlü yapılarda ankastre yapıya oranla yaklaşın % 45-50 azalma olduğu sonucuna varıldı. KÇE ve EYS izolatörler karşılaştırıldığında KÇE izolatörlü yapıda nispeten daha küçük değerler elde edilmiştir. Elde edilen ivme değerleri 11 deprem kaydı için grafik halinde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Ek olarak RSN20 deprem kaydı için ivme sonuçları tablo 20'de verilmiştir.

**Tablo 22.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri

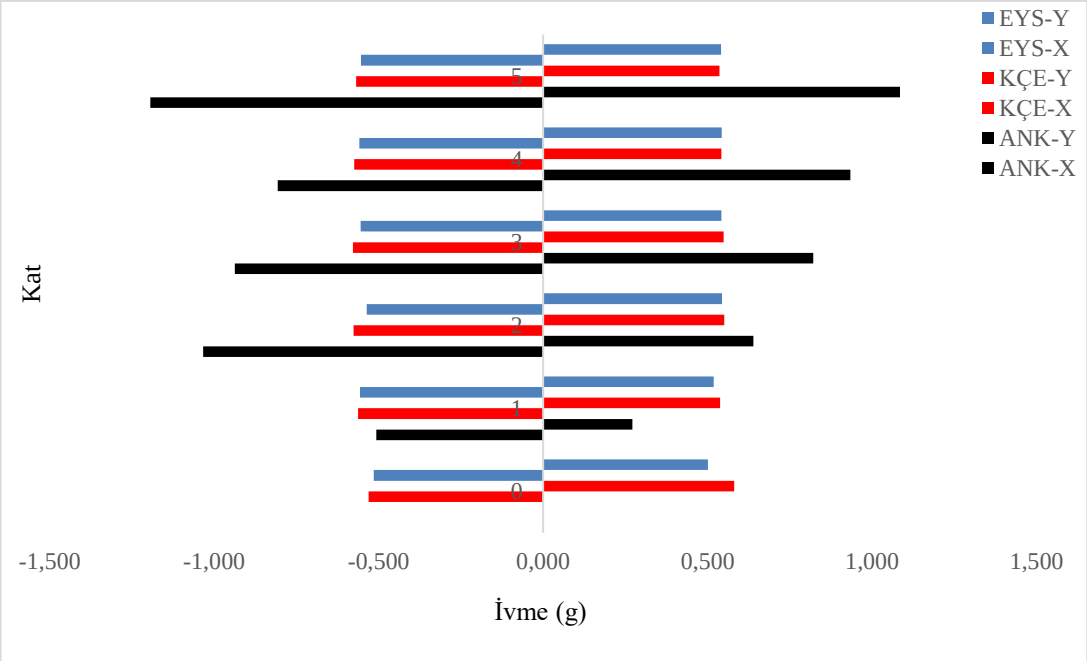
| | | X YÖNÜNDE İVME(g) | | | Y YÖNÜNDE İVME(g) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Ankastre** | **Kçe İzolatörlü** | **Eys İzolatörlü** | **Ankastre** | **Kçe İzolatörlü** | **Eys İzolatörlü** |
| rsn20X | 0. kat | 0,000 | -0,629 | -0,608 | 0,000 | 0,693 | 0,669 |
| | 1. kat | -0,251 | -0,668 | -0,673 | 0,248 | 0,713 | 0,745 |
| | 2. kat | -0,568 | -0,659 | -0,674 | 0,557 | 0,739 | 0,756 |
| | 3. kat | -0,623 | -0,651 | -0,660 | 0,798 | 0,704 | 0,758 |
| | 4. kat | -1,110 | -0,648 | -0,659 | 0,795 | 0,735 | 0,749 |
| | 5. kat | -1,374 | -0,649 | -0,663 | 1,217 | 0,730 | 0,714 |



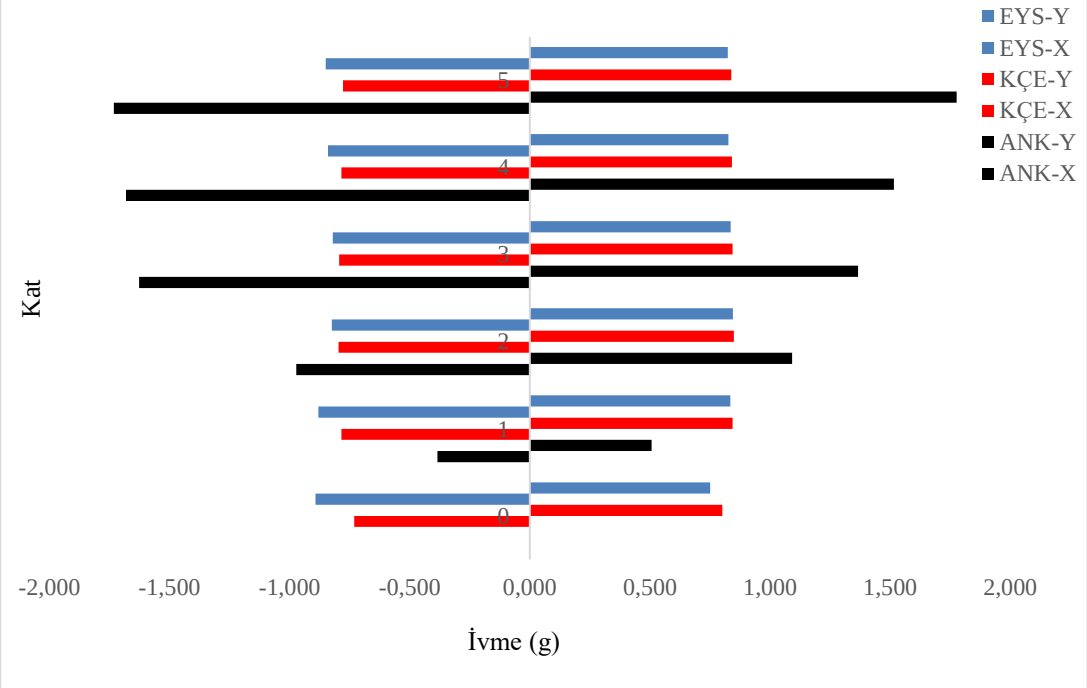

**Şekil 51.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri



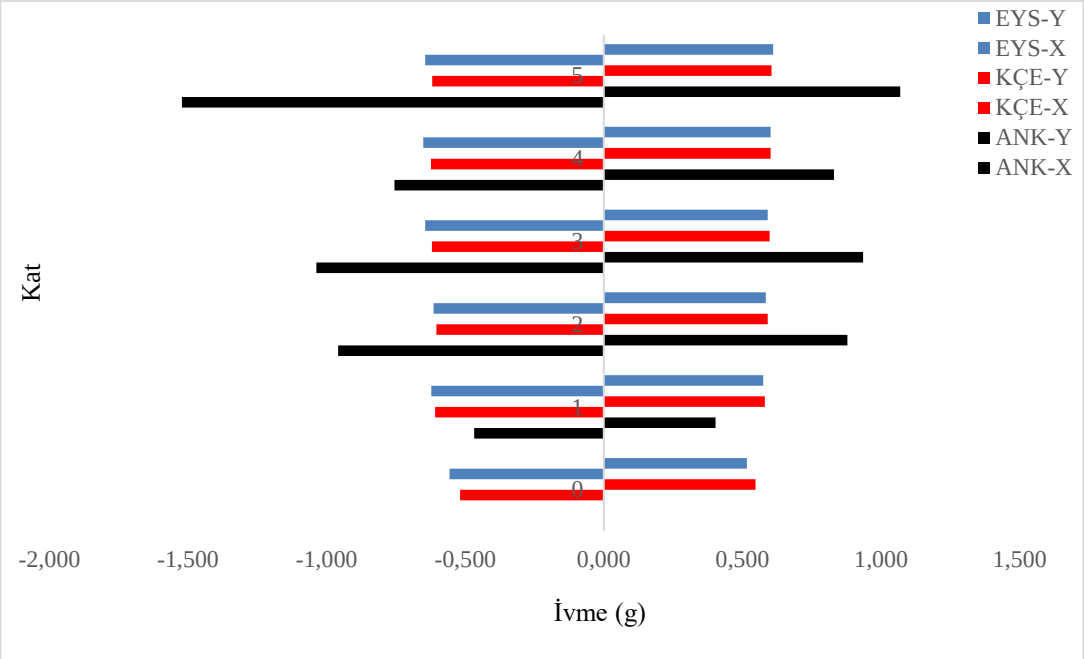

**Şekil 52.** RSN186 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri



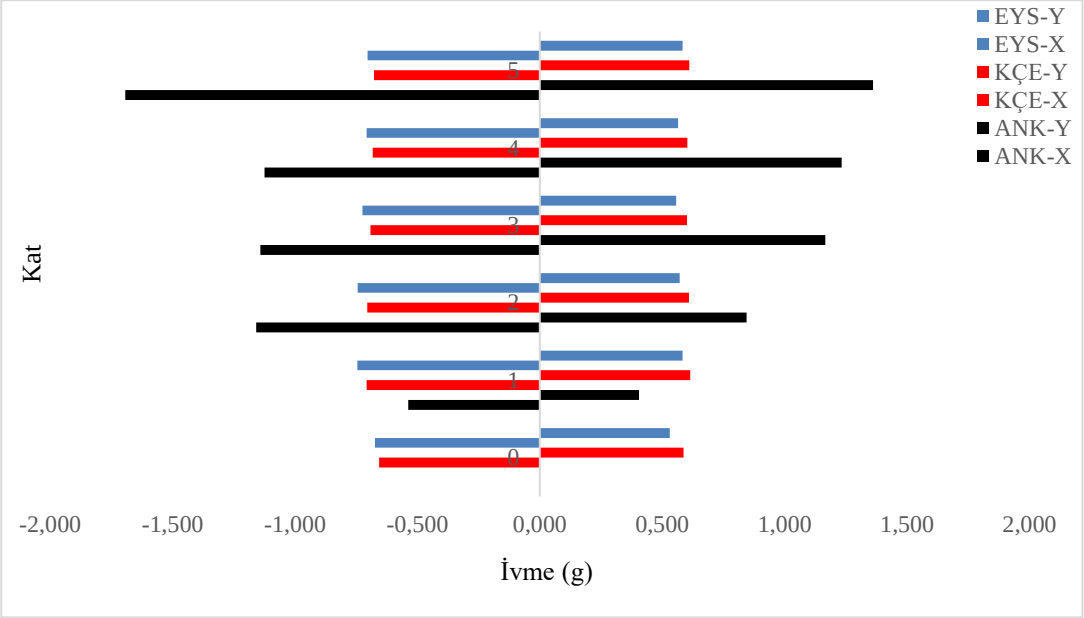

**Şekil 53.** RSN191 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri



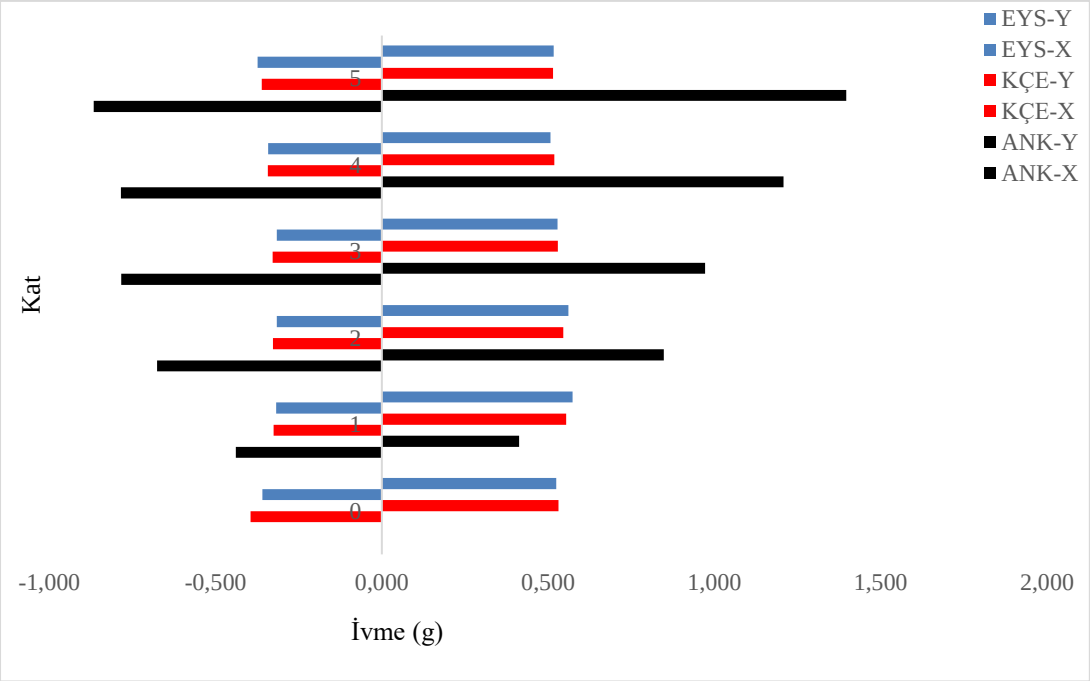

**Şekil 54.** RSN268 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri



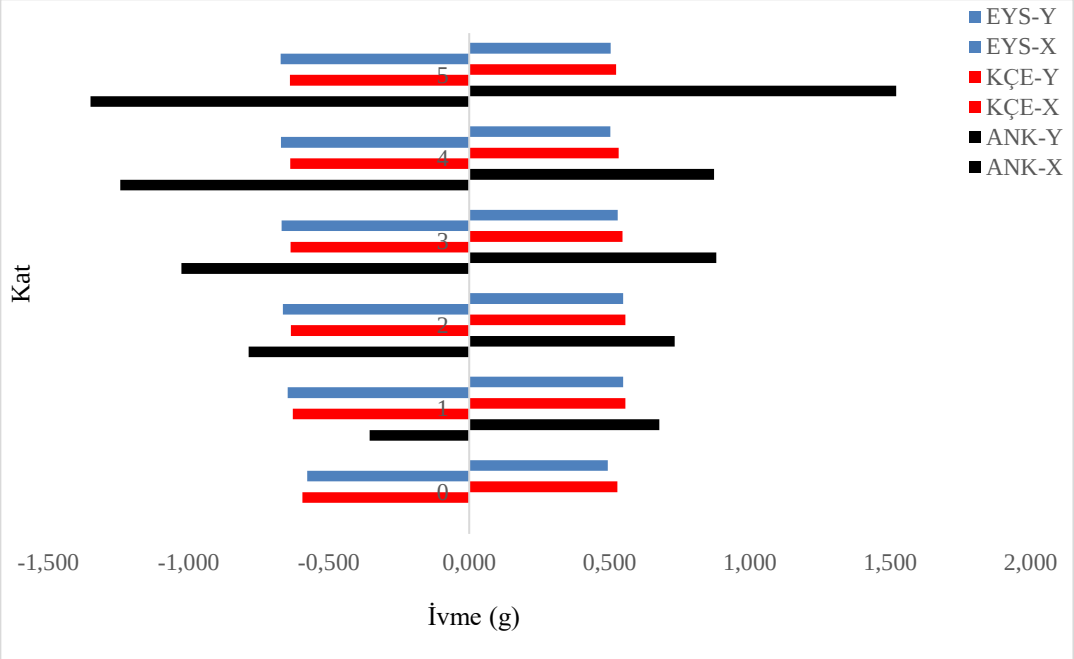

**Şekil 55.** RSN1137 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri



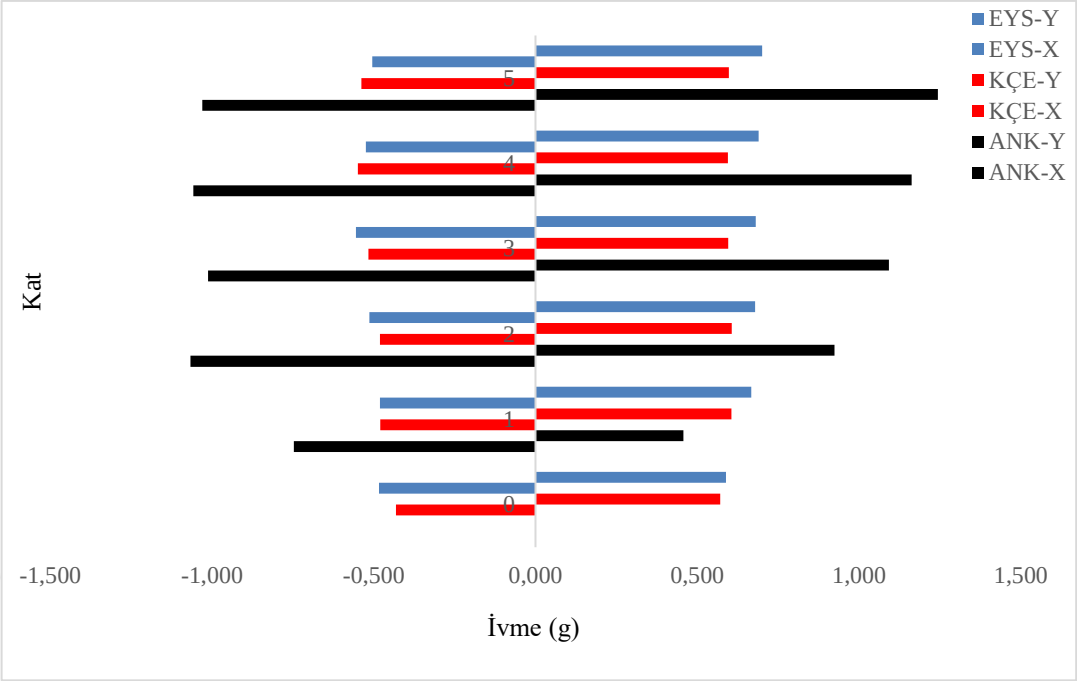

**Şekil 56.** RSN1139 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri



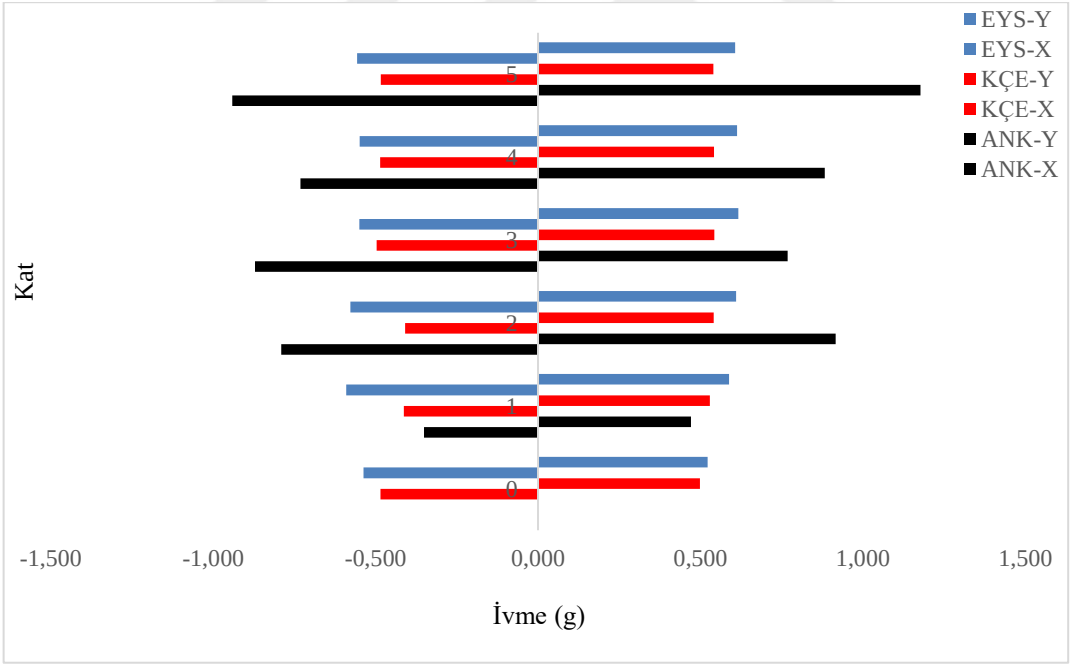

**Şekil 57.** RSN1147 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri



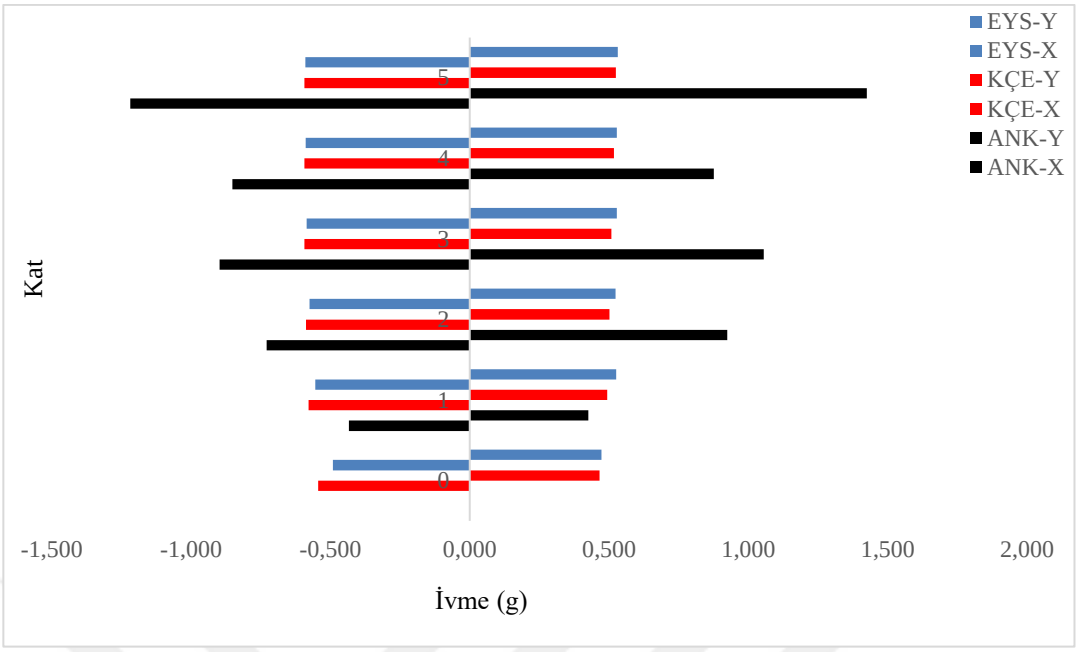

**Şekil 58.** RSN1166 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri




**Şekil 59.** RSN1177 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri




**Şekil 60.** RSN1619 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri




**Şekil 61.** RSN1620 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait İvme Değerleri

### 3.7. Yapılara ait kat kesme kuvvetlerinin incelenmesi

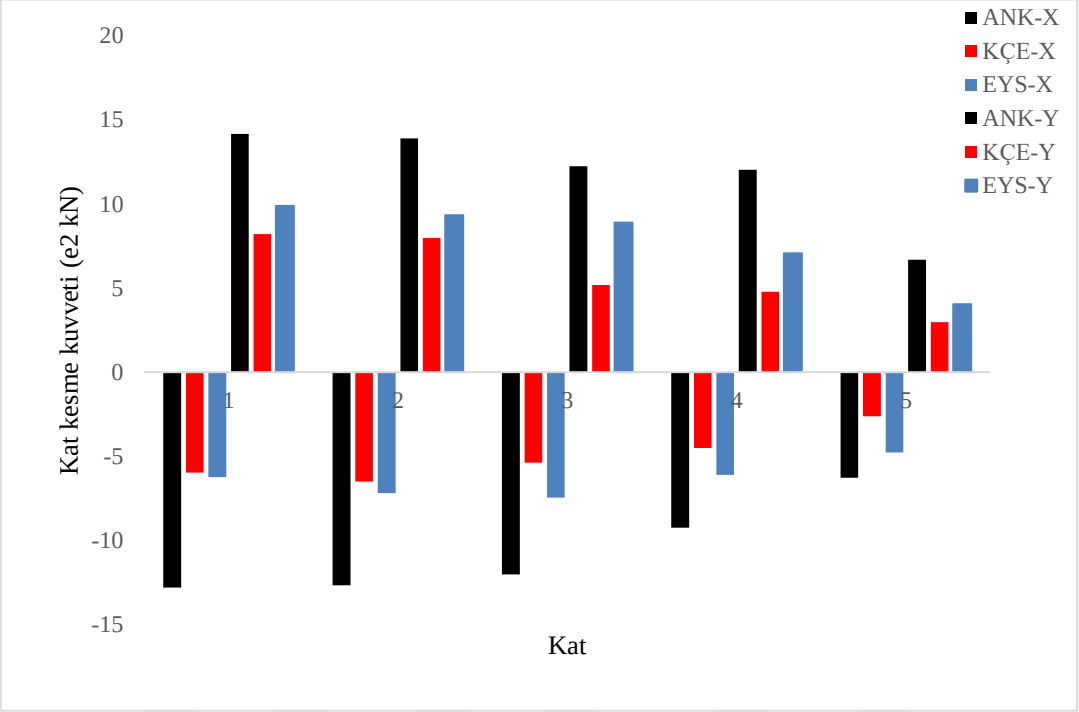
Son olarak bu bölümünde ankastre mesnetli, KÇE izolatörlü ve EYS izolatörlü modellerin ZTA doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda 11 deprem kaydı için katlar ait kesme kuvveti değerleri karşılaştırmalı olarak grafikler halinde sunulmuştur. RSN20 depremine ait kesme kuvveti sonuçları karşılaştırmalı olarak tablo 21'de verilmişti.

**Tablo 23.** RSN20 Depreminin Analiz Sonuçlarına ait Kesme Kuvveti Değerleri

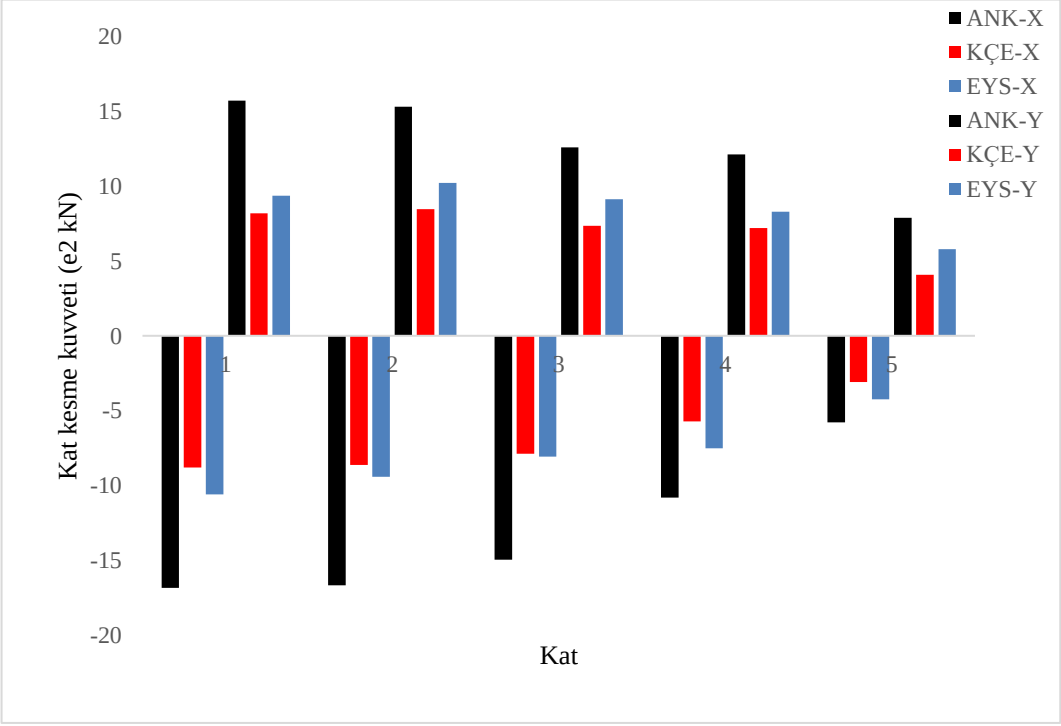
| | | X YÖNÜNDE kesme kuvveti e+2 | | | Y YÖNÜNDE İVME kesme kuvveti e+2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ankastre | Kçe İzolatörlü | Eys İzolatörlü | Ankastre | Kçe İzolatörlü | Eys İzolatörlü |
| rsn20X | 0.kat | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | 1. kat | -12,800 | -5,966 | -6,230 | 14,170 | 8,206 | 9,875 |
| | 2. kat | -12,680 | -6,509 | -7,190 | 13,890 | 7,976 | 9,330 |
| | 3. kat | -12,020 | -5,390 | -7,459 | 12,240 | 5,181 | 8,890 |
| | 4. kat | -9,248 | -4,513 | -6,102 | 12,030 | 4,787 | 7,070 |
| | 5. kat | -6,281 | -2,623 | -4,773 | 6,685 | 2,974 | 4,039 |

Modellenen sistemlerin analiz sonuçları kat kesme kuvvetleri bakımından incelendiğinde Ankastre mesnetli yapı için elde edilen kat kesme kuvveti değerlerinde %45-50 değerinde azalmanın olduğu sonucuna varıldı. Elde edilen bu

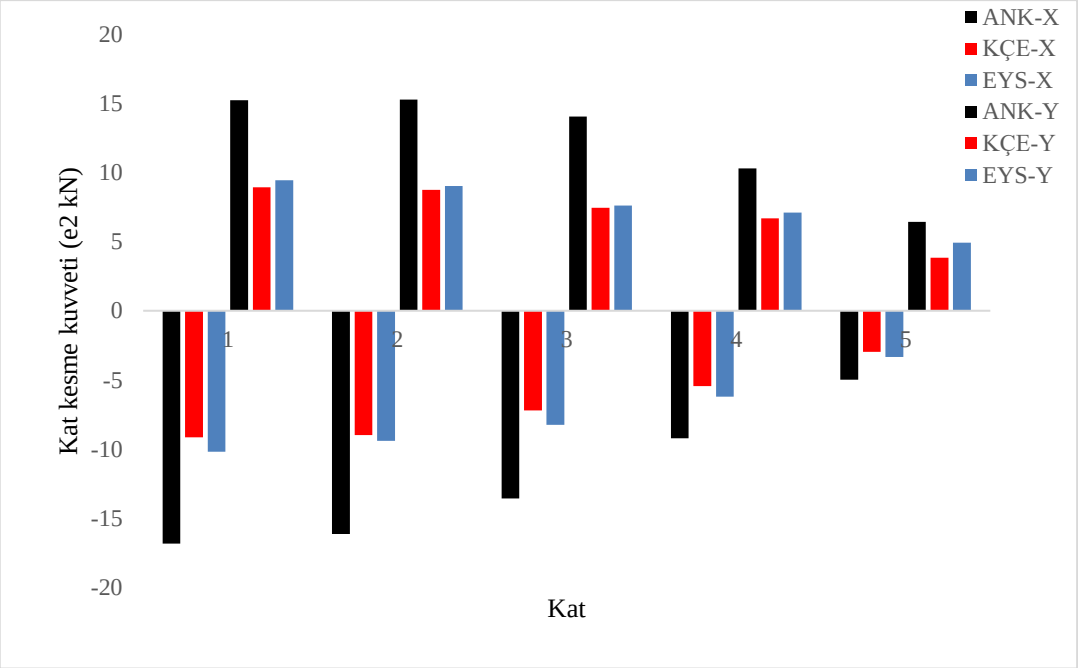
sonuç izolatörlü yapılar için taşıyıcı sistem kesit boyutlarının küçültülebileceği anlamına gelir.



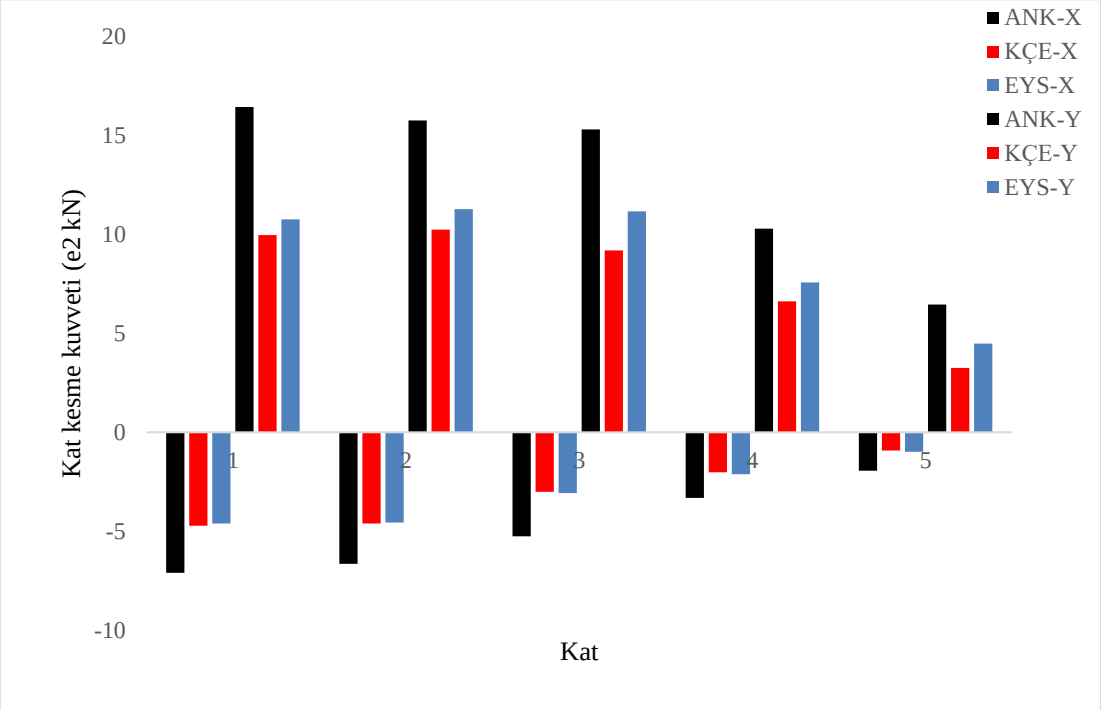

**Şekil 62.** RSN20 Depremine ait Kat kesme Kuvveti Grafiği



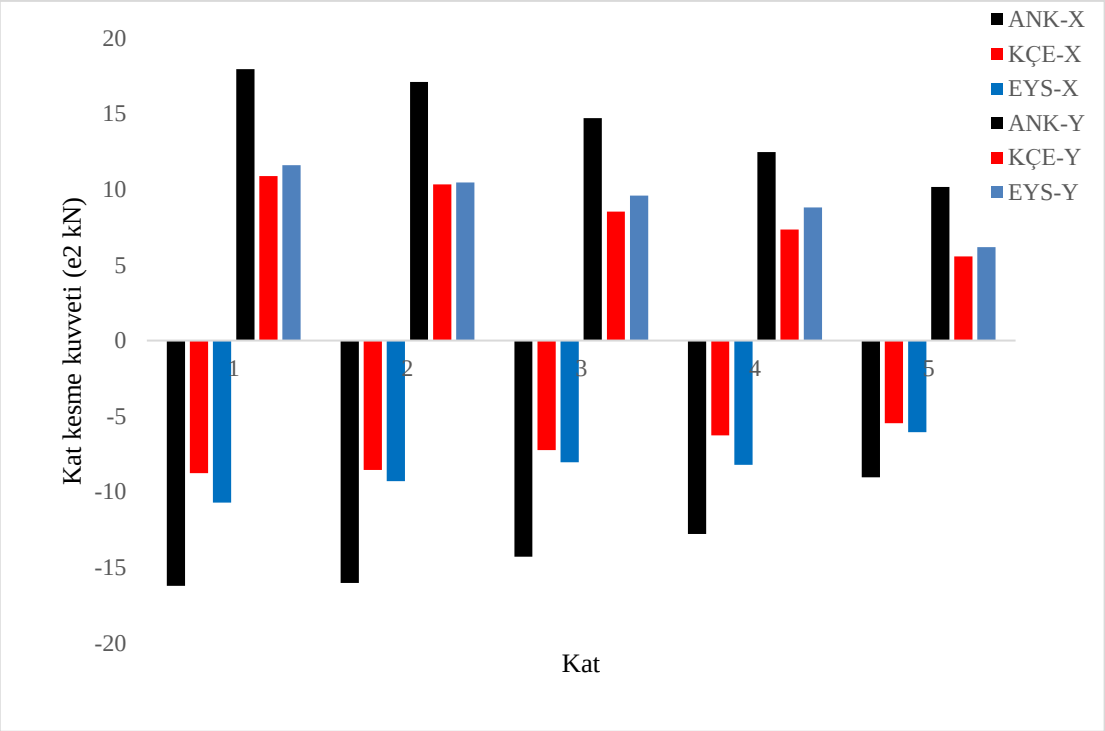

**Şekil 63.** RSN186 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği



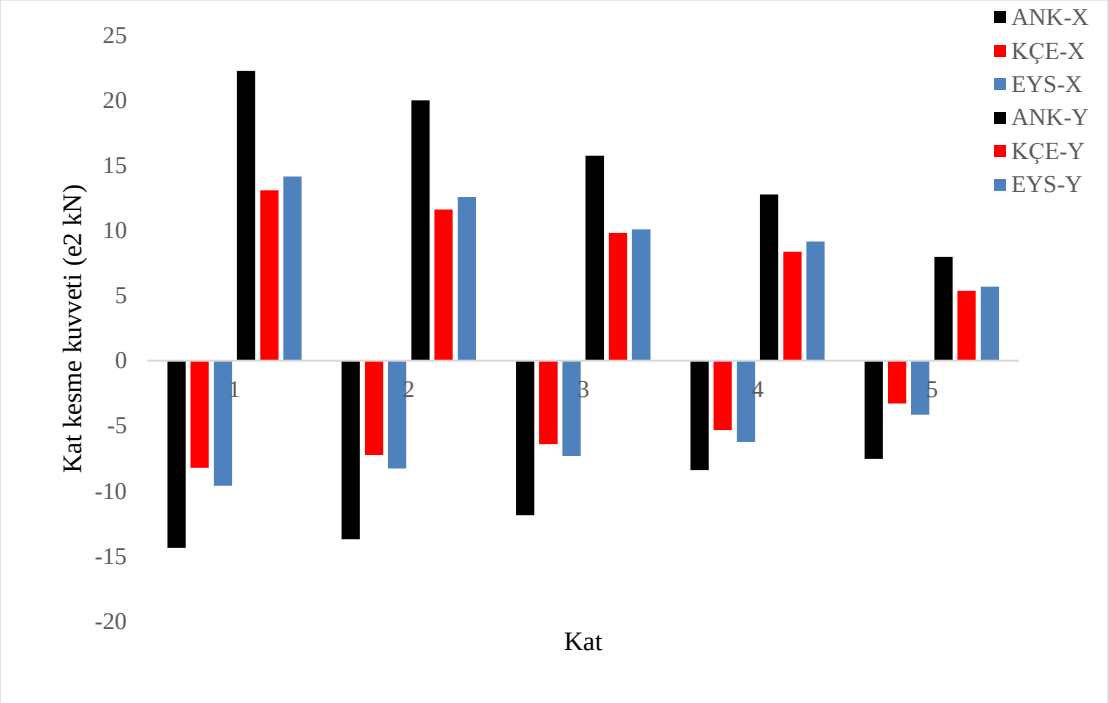

**Şekil 64.** RSN191 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği



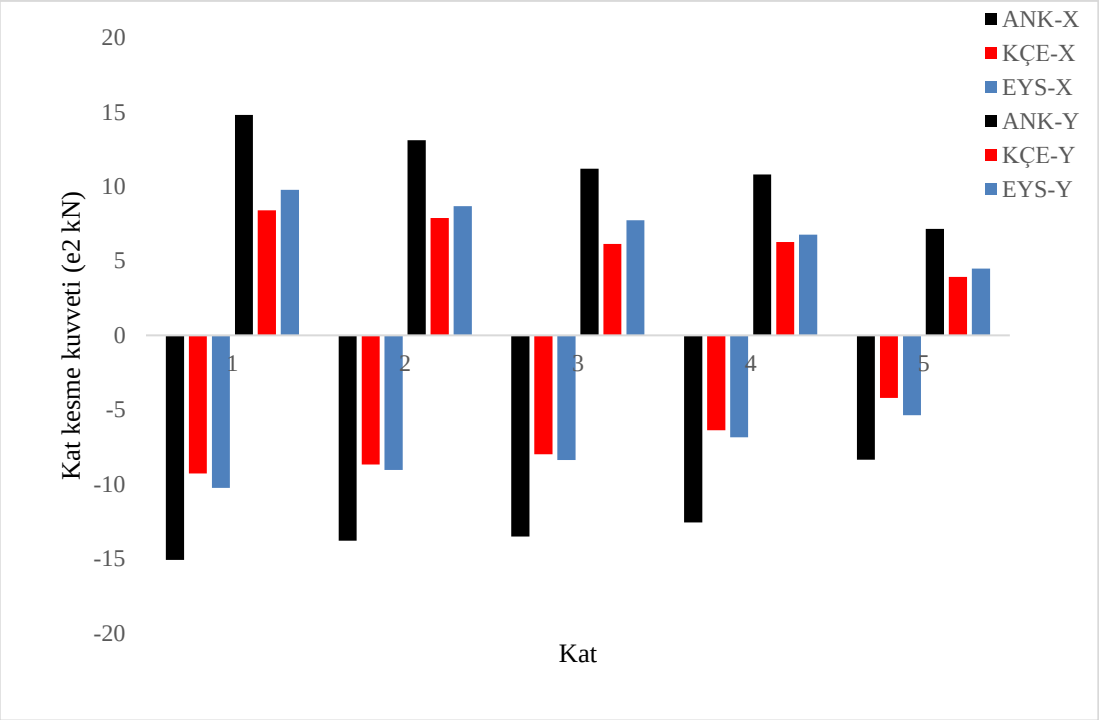

**Şekil 65.** RSN268 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği



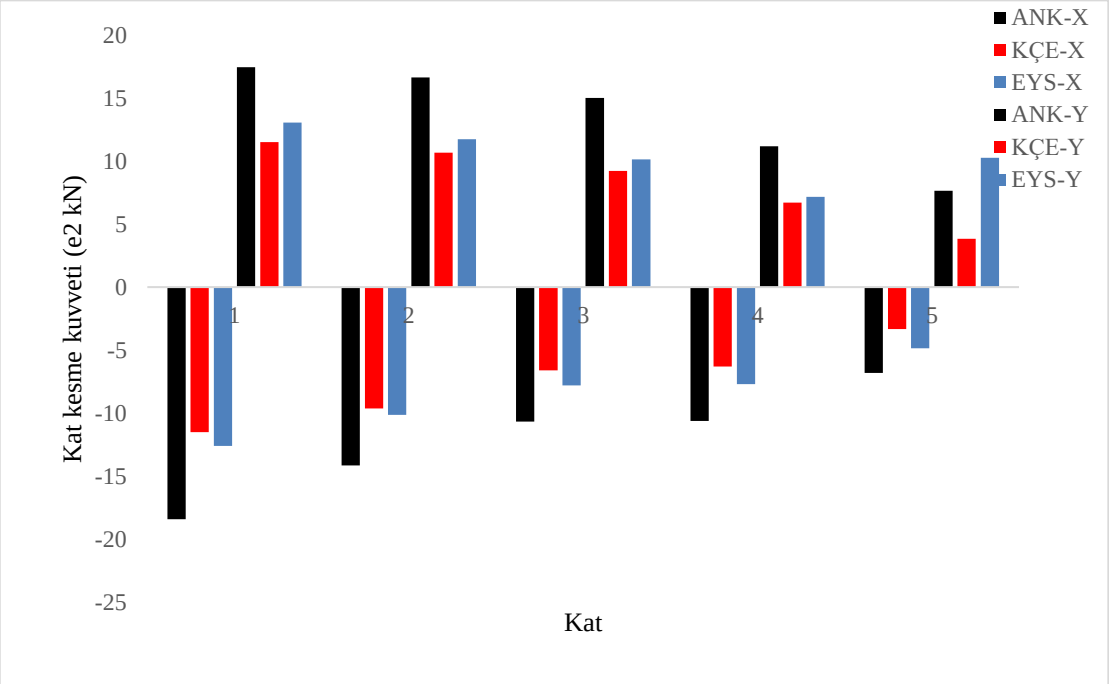

**Şekil 66.** RSN1137 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği



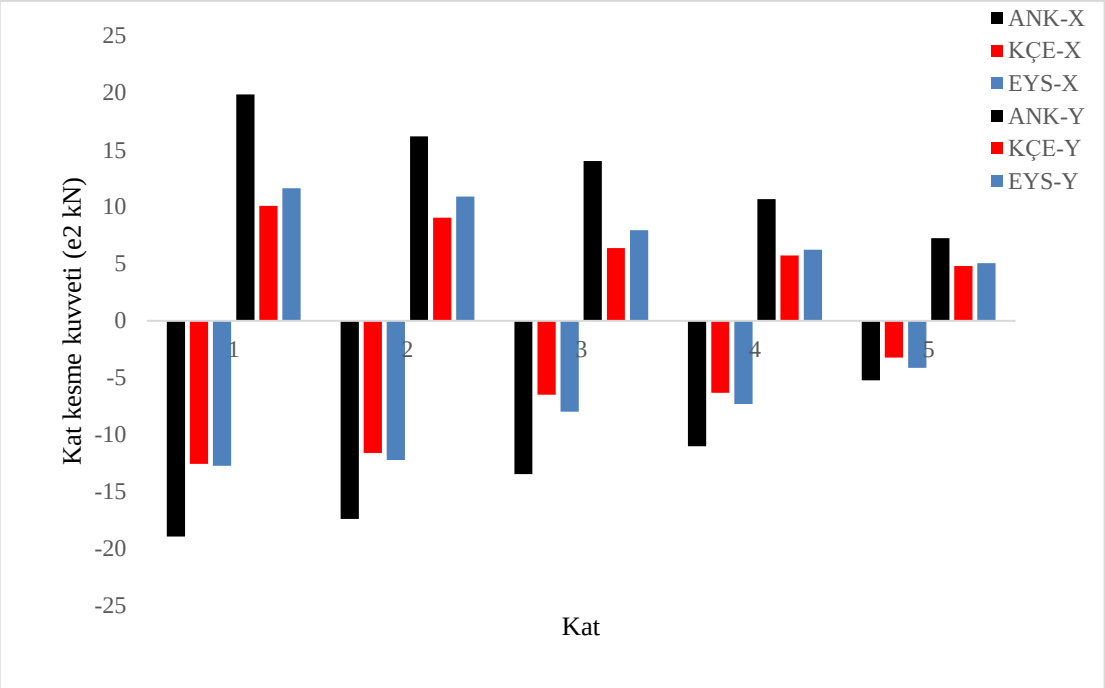

**Şekil 67.** RSN1139 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği



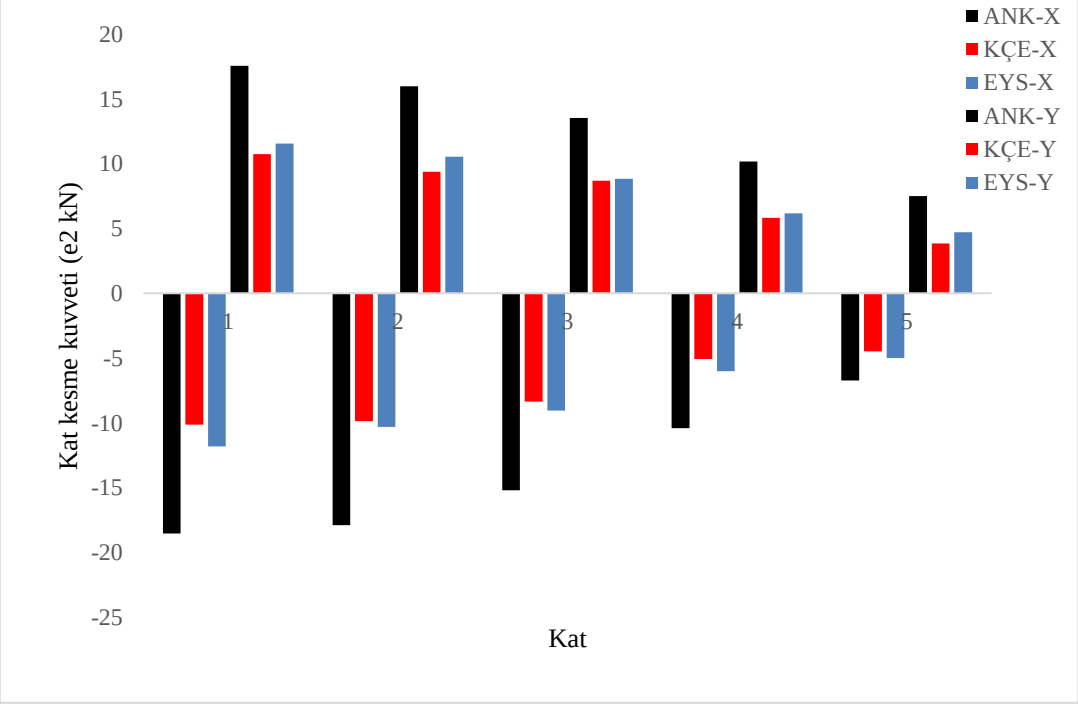

**Şekil 68.** RSN1147Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği



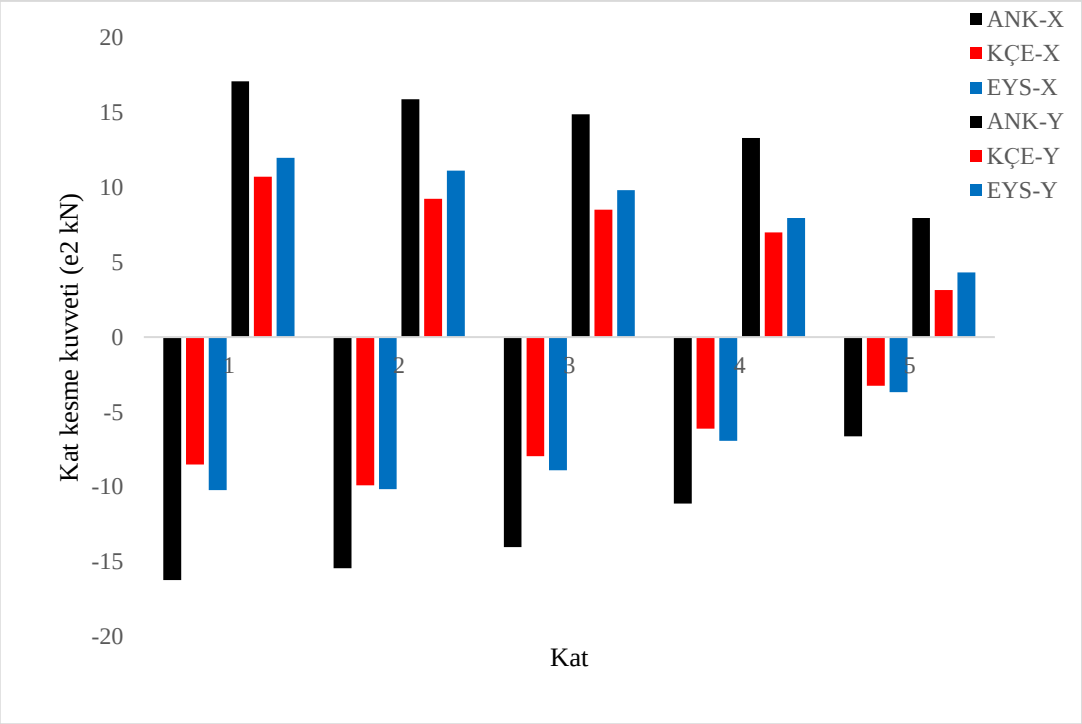

**Şekil 69.** RSN1166 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği




**Şekil 70.** RSN1177 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği



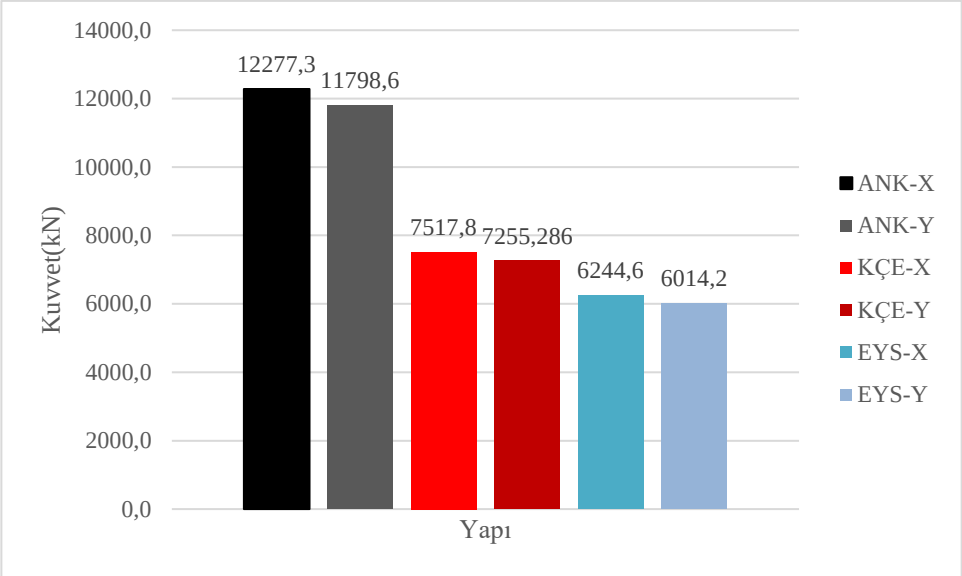

**Şekil 71.** RSN1619 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği



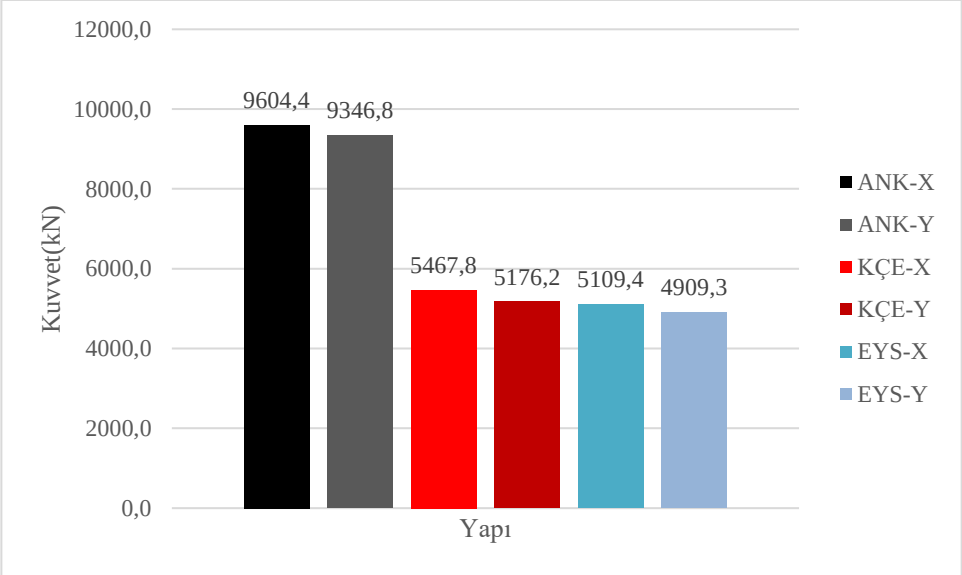

**Şekil 72.** RSN1620 Depremine ait Kat Kesme Kuvveti Grafiği

**Tablo 24.** Yapıların Tabanlarına etkiyen kesme kuvveti değerleri

| | ANK(kN) | | KÇE(kN) | | EYS(kN) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | X | Y | X | Y | X | Y |
| DD1 | 12277,3 | 11798,6 | 7517,8 | 7255,1 | 6244,6 | 6014,2 |
| DD2 | 9604,4 | 9346,8 | 5467,8 | 5176,2 | 5109,4 | 4909,3 |




**Şekil 73.** DD1 için Yapıların Tabanlarına etkiyen kesme kuvveti grafiği




**Şekil 74.** DD2 için Yapıların Tabanlarına etkiyen kesme kuvveti grafiği

# 4. SONUÇ

Ülkemiz depremsellik açısından incelendiğinde son derece yıkıcı depremlerle sarsıldığı bir gerçektir. Sadece birkaç ay önce yaşanan Kahramanmaraş depremleri bu gerçeği bir kez daha gün yüzüne çıkarmıştır. Durum böyleyken sismik kuvvetler karşısından yapıların dayanıklılığının artırılması oluşabilecek maddi ve manevi kayıpların önlenmesi anlamına gelmektedir. Günümüzde oldukça popüler olan sismik izolatörlü depreme dayanıklı yapı tasarımı güncellenen 2018 yönetmeliğiyle de pekiştirilmiştir. Sismik İzolasyon uygulaması özellikle deprem sonrası için oldukça önem taşıyan hastane yapıları için kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. Uygulanan bu sistem sayesinde sismik hareketlilik sonucu yapıya gelen kuvvetler izolatör katında sönümlenir ve izolatör üstünde kalan üst yapı bu kuvvetlerden minimum seviyede etkilenir. Bu sayede yapıda oluşacak hasar seviyesi yönetmeliğin ön gördüğü seviyelere düşürülmüş olur.

Çalışma kapsamında yapılan ankastre mesnetli, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü ve sürtünmeli sarkaç izolatörlü yapıların tasarımı ve zaman tanım alanında dinamik analizleri sonucunda elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde kullanılan izolasyon sisteminin yapı üzerinde oluşturduğu olumlu etkilerin depreme karşı hedeflenen dayanımı sağladığı sonucuna varılmıştır. Her üç durum için 5 katlı ve aynı kat planına uygun olarak modellenen yapılar için periyot değerleri, kat yerdeğiştirme değerleri, kat ivme değerleri, kat kesme kuvvetleri, göreli kat ötelenmeleri ve son olarak taban kesme kuvvetleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Ankastre mesnetli yapının modal analizi sonucunda sahip oldu hakim periyodu 1. ve 2. periyot değerleri için y yönü için 0,7862 ve x yönü için 0,7589 olarak elde edilmiştir. Yapılan sismik izolatörlü tasarımlarda bu değerlerin 2- 4 sn olarak hedeflenen periyot aralığa kadar arttırıldı görüldü. KÇK izolatörlü tasarımda elde edilen periyot değerleri sırasıyla y yönü için 3,35 ve x yönü için 3,33 dür. Benzer şekilde EYS izolatör için elde edilen periyot değerleri sırasıyla y yönü için 3,25 ve x yönü için 3,24 dür. Elde edilen sonuçlara göre artan periyot değerleriyle birlikte modellenen yapılar depremleri etkin periyot değeri olan 0,1s-1s aralığından uzaklaştırılarak depremin yapı üzerinde oluşturacağı talepler azaltılmıştır. Düşük

periyot değeri yüksek frekans anlamına gelir ve deprem esnasında yapının yüksek salınım yaparak hasar alabilir bu olayla bağlantılı olarak yapının rezonansa girip yıkılması oluşacak en kötü senaryodur.

Ankastre mesnetli yapıda 12. Modda elde edilen %98 kütle katılım oranı izolasyonlu yapılarda 1. modda %99 kütle katılım oranını olarak elde edilmiştir. Bu durum yapının dinamik davranışında oluşan iyileşme anlamına gelmektedir. Yapıya eklenen izolasyon katı sayesinde yapıda oluşan dinamik davranışın neredeyse tamamına yakını 1. modda ortaya çıkmaktadır. Özetle yapının zemin katı ve çatı katının aynı oranda deplasman yapması yani rijit bir blok gibi davranması anlamına gelir. Bu sayede üst yapı hasarları ankastre mesnetli yapıya oranla sismik izolasyonlu yapılarda en aza indirgenmiştir.

Önemli ölçüde iyileşmelerden bir diğeri de izolasyon uygulanan her iki yapının üst yapılarında meydana gelen kat yer değiştirmelerindeki ciddi azalmalardır. Artan periyot değerinin bir sonucu olan yerdeğiştirme değerlerinde artma izolasyon katında meydana gelir ve bu durum sisteme olumlu bir katkı sağlamış olur. Ankastre mesnetli modellenen yapının zemin kattan son kata kadar olan yerdeğiştirme değerleri büyük farklılıklar göstermektedir. Bunun tam tersi olarak izolasyonlu her iki yapıda oluşan yerdeğiştirme değerinin büyük kısmı izolatör katında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Zemin kattan son kata kadar oluşan yer değiştirme değerleri çok küçük faklarla değişmiştir yani izolasyonlu yapılar rijit blok gibi davranmıştır.

İvme değerleri incelendiğinde ankastre mesnetli yapıya gelen ivme değeri zemin kattan üst katlara çıkıldıkça önemli derecede artış göstermiştir. Gittikçe artan kat ivmeleri üst katlarda hasarın önemli derecede artmasına sebep olacak değerlere ulaşmıştır. Sismik izolasyon kullanılan her iki yapıda izolasyon katı üzerinde kalan katların ivme değerleri, izolasyon katına gelen ivme değerlerinden daha küçük değerler aldığı ve daha düzenli dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Katlara gelen ivme değerlerinin küçülmesi yapının üst katlarında deprem etkilerinin daha az hissedilmesine ve önemli teçhizatların güvende tutulup yapının kesintisiz hizmet vermesine olanak sağlamaktadır. İvme değerlerindeki bu olumlu değişim artan periyot değeri sayesinde yapının yerdeğiştirme yaparak enerji sönümlemesi sonucunda gerçekleşmiştir. Artan yer değiştirmeler azalan ivmeler anlamını taşımaktadır.

Modellenen yapılara etkiyen kat kesme kuvveti değerleri depreme dayanıklı yapı tasarımı için önemli parametrelerden biridir. Bu bakımdan modellenen her üç yapı için kat kesme kuvvetleri incelenmiştir. Sismik izolasyon uygulanan her iki yapı için elde edilen kat kesme kuvveti değerleri ankastre mesnetli yapıya göre yaklaşık olarak %45 daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Kesit etkilerindeki bu olumlu azalma yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının küçültülebileceği ve yapının daha ekonomik olabileceği anlamına gelir. Aynı zamanda yapılarda deprem karşısında oluşan kesit etkilerinin azalması, yapının depreme dayanıklı olarak tasarımının yapıldığı ve ankastre mesnetli duruma göre daha güvenli olduğu anlamına gelir.

Göreli kat ötelenmeleri incelendiğinde sismik izolasyon uygulanan iki yapının da ankastre mesnetli yapıya göre çok daha küçük değerler aldığı gözlemlenmiş ve grafikler kullanılarak görselleştirilmiştir. Örnek verilecek olursak ankastre mesnetli yapının zeminden çatı katına kadar meydana gelen toplam yerdeğiştirme değeri x yönü için RSN20 depremi altında 6,81 cm olarak elde edilmiştir. KÇK izolatörlü yapının izolasyon katında meydana gelen yer değiştirme hesaba katılmadığı durumda zemin kattan çatı katına kadar olan yer değiştirme değeri 0,59 cm olarak elde edilmiştir. Bu durumda yapıda oluşacak büyük göreli kat ötelenmeleri izolasyon sistemleri sayesinde önemli ölçüde azaltılarak kontrol altına alınır ve göreli kat ötelenmelerinden dolayı meydana gelecek taşıyıcı sistem hasarları sınırlandırılır.

Son olarak modellenen yapıların tabanlarına etkiyen kesme kuvvetleri incelendiğinde sismik izolasyon ile yapılara kazandırılan esneklik sayesinde izolasyon yönteminin uygulandığı iki yapı için önemli derecede azaldığı gözlemlendi. Ankastre mesnetli yapının tabanına etkiyen kesme kuvveti değeri izolasyon sisteminin uygulandığı yapılar için yaklaşık olarak %45 azaldığı sonucuna varılmıştır.

Kullanılan izolatör türüne göre (KÇK ve EYS izolatörler) KÇE tip izolatör uygulanan yapının deprem taleplerine karşı daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm bu bilgiler ışığında 2018 TBDY yönetmeliğinde yer alan depreme dayanıklı yapı tasarımı alanında oldukça popüler olan sismik izolasyon yöntemi uygulandığı yapılarda depreme karşı performansın artmasını sağladığı sonucuna

varıldı. Ülkemizin depremselliği dikkate alındığında sismik izolasyon yönteminin öncellikli yapılar için depreme dayanıklı yapı tasarımın yapılırken tercih edilecek uygulamalardan biri olmalıdır.

## KAYNAKÇA


Aksay, M. (2022). Orta Yükseklikte Betonarme Binada Eğri Yüzeyli Sürtünmeli İzolatör Sisteminin Etkinliğinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Altun, S. (2018). Betonarme Yüksek Yapılarda Sönümleyici Bağ Kirişleri. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü.

Altunışık, A., Ateş, Ş., ve Adanur, S. (2018). *İnşaat Mühendisliğinde SAP2000 Uygulamaları.* Trabzon,Türkiye: Golden Light Publishing.

Ateş, Ş. (1999). Viskoelastik Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Dinamik Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. Trabzon, Türkiye: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Baki, S. (2015). Betonarme Bir Binada Sismik İzolasyonlu ve İzolasyonsuz Çözümlerin Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Trabzon, Türkiye: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Calvi, P., ve Calvi, G. (2018). Historical development of friction-based seismic isolation systems. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, pp. 14-30.

Çavdar, E. (2019). Deprem Etkime Açısının Kütle Dış Merkezliliği Olan Sismik İzolasyonlu Yapı Davranışı Üzerindeki Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Eskişehir, Türkiye: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Çavdar, E., ve Özdemir, G. (2018). Ölçeklendirilen yakın saha deprem kayıtlarının farklı doğrultularda etkimesi durumunda yalıtım birimi maksimum yer değiştirmelerinde gözlenen değişim. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33,2.

Çelik, M. (2019). Sismik Taban Yalıtımlı Binaların Modellenmesi, Tasarımında Karşılaşılan Problemler ve Pratik Mühendislik Çözümleri. *Yüksek Lisans Tezi*. Gebze, Türkiye: Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çetinöz, K. (2018). Bina Tipi Bitişik Yapılarda Sismik Taban İzolatörlerinin Kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*. Uşak, Türkiye: Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çoban, K. (2018). Tarihi Bayburt Yakutiye (Yeni) Camisi'nin Dinamik Performansının Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Bayburt, Türkiye: Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

Doğan, M. (2009). Depreme Dayanıklı Tasarım Ders Notları. Eskişehir, Türkiye: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği .

Ekinci, E. (2021). TBDY 2018'e Göre Sismik Yalıtımlı Yapının Tasarlanması. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Erdoğdu, H., Çavdar, E., & Özdemir, G. (2021). Türk Deprem Yönetmelikleri (DBYBHY ve TBDY). *Teknik Dergi,* pp. 11127-11152.

Erşeker, B. (2017). Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerde Deprem Etkime Açısının Maksimum İzolatör Deplasmanlarına Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Eskişehir, Türkiye: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gökhan, E. (2009). Betonarme Yapılarda İzolatör Kullanımının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri. *Doktora Tezi*. İstanbul, Türkiye: İstenbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güneş, S. (2021). Yoğun Deprem Risk Bölgesindeki Bir Okul Binasının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre Değerlendirilerek Güçlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Gümüşhane, Türkiye: Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Harvey, P., ve Kelly, K. (2016). A review of rolling-type seismic isolation: Historical development and. *Engineering Structures*, pp. 521-533.

Heysami, A. (2015). Types of Dampers and their Seismic Performance During an Earthquake. *Current World Environment*, 10, 1002-1015.

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

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

Keskin, A. (2007). Yapı İzolatörleri. İzmir, Türkiye: Dokuz eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, .

Kurt, Z. (2019). Ankastre ve Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Binaların Dinamik Davranışlarının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018' e göre Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Trabzon, Türkiye: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Matsagar, V., ve Jangid, R. (2008). Base Isolation for Seismic Retrofitting of Structures. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, pp. 175-185.

Naeim, F., ve Kelly, J. (1999). Design of seismic isolated structures: from theory to practice. John Wiley & Sons.

Osman, M. M. (2020). Influence of Equıvalent Lınear Modelıng of Seısmıc Isolatıon Systems on The Seısmıc Response of Buıldıng Contents. *M.Sc. Thesis*. İstanbul, Türkiye: Istanbul University-Cerrahpasa Institute of Graduate Studies.

Özer, E. (2022). Geleneksel Ve Taban İzolatörlü Betonarme Binaların Sismik Davranışlarının Karşılaştırılması. *Doktora Tezi*. Denizli, Türkiye: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

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

PEER. (2014). Retrieved from Pacific Earthquake Engineering Research Center, Ground Motion Database, University of California, Berkeley, USA: https://ngawest2.berkeley.edu/

Purohit, A. (2018). A Review of Semi Active Control Algorithms for Magnetorhelogical (MR) Dampers. *IJRAR-International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR), E-ISSN*, 2348-1269.

SAP 2000 CSI. (2022). Integrated Software for Structural Analysis and Design. Computers and Structures Inc. Berkeley, USA.

*Seismic Isolation Product Line-up - Bridgestone*. (2023). Retrieved from Bridgestone: https://www.bridgestone.com

Seismosoft. (2023, 2). Retrieved from https://seismosoft.com/product/seismomatch

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

Shekhar, S., Shukla, S., ve Zafar, S. (2017, July-September). Seismic Isolation Devices. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, pp. 336-340.

Soyluk, A. (2010). Sismik taban izolatörü kullanımının mimari tasarıma etkisi. *Doktora Tezi*. Ankara, Türkiye: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sütçü, F. (2021). Binaların Kullanım Halindeyken Güçlendirilmesi: Harici Çerçeveler, Enerji Sönümleyiciler ve Sismik İzolasyon Uygulamaları. *İTÜ Vakıf Dergisi*, 21-25, 86.

Symans, M., ve Constantinou, M. (1999). Semi-active control systems for seismic protection of structures: a state-of-the-art review. *Engineering Structures*, pp. 469–487.

Şahin, F. (2008). Sönümün Sismik Taban İzolasyonu ve Sönümleyicilerin Kullanıldığı Binaların Deprem Performansına Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Ankara, Türkiye.

TC. Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). Deprem İzolatör Sistemleri. *İnşaat Teknolojisi*. Ankara.

Toplu, E., ve Kırtel, O. (2021). Sismik Taban Yalıtımlı Yapılarda Zaman Tanım Alanında Analiz ve Artımsal Tek Modlu İtme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Türk Doğa ve Fen Dergisi 10,2*, pp. 123-131.

Torunbalcı, N. (2004). Seısmıc Isolatıon and Energy Dıssıpatıng Systems in Earthquake Resıstant Desıgn. *13th World Conference on Earthquake Engineering* , (p. 3273). Canada.

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. (2023). *Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı*. Retrieved from AFAD: https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml

Urgu, M. İ. (2006). Sismik İzolasyonlu Yapıların Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*. İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

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

Yıldırım, S. (2011). Comparatıve Study of Commercıal Structural Analysıs Programs in Vıew of Seısmıc Assessment Procedures in Turkısh Earthquake Code 2007. *Master Thesis*. Ankara, Turkey: Middle East Technical University.

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

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

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

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