

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



SİSMİK TABAN YALITIMLI YÜKSEK YAPILARIN FARKLI
DEPREMLER ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI

İHSAN TÜRKEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROF. DR. MAHMUT BİLGEHAN

ARALIK - 2024

KASTAMONU

TEZ ONAYI

İHSAN TÜRKEK tarafından hazırlanan “**SİSMİK TABAN YALITIMLI YÜKSEK YAPILARIN FARKLI DEPREMLER ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **20.12.2024** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Mahmut BİLGEHAN Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Gökhan KAPLAN Atatürk Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Uğur YILMAZOĞLU Kastamonu Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü	Doç. Dr. Selçuk MEMİŞ	
----------------	-----------------------	-------

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

İhsan TÜRKEK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİSMİK TABAN YALITIMLI YÜKSEK YAPILARIN FARKLI DEPREMLER ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI

İHSAN TÜRKEK

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: PROF. DR. MAHMUT BİLGEHAN

Depremler, çok katlı ve özellikle yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerinde büyük gerilmeler ve deformasyonlar meydana getirerek hem yapısal güvenliği hem de kullanıcı konforunu tehdit etmektedir. Sismik taban yalıtımı, bu etkileri azaltmak ve deprem sırasında oluşan sismik enerjiyi etkin bir şekilde sönümleyerek yapıların daha güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlamak amacıyla geliştirilen etkili bir mühendislik çözümüdür. Bu çalışmada, rijit mesnetli ve sismik taban yalıtımlı çok katlı ve yüksek betonarme yapıların sismik davranışlarını karşılaştırmak için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Bu analizler için daha önce meydana gelmiş 1999 Kocaeli-Gölcük, 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık ve 1977 Kastamonu depremlerinin ivme kayıtları kullanılmıştır. Dikkate alınan yapılar 6, 12 ve 24 katlı olarak tasarlanmıştır. Bu kapsamda farklı kat sayısı, farklı depremler ve taban yalıtımının yapının sismik davranışına olan etkileri incelenmiştir. Analizlerde izolatör olarak tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler dikkate alınmış olup izolatörlere gelen yükler yönetmeliğe uygun şekilde tanımlanmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlar, yapıda oluşan taban kesme kuvvetleri, tepe noktası deplasmanları, yapı periyotları, kütle katılım oranları, yerdeğştirmeler, rölatif yerdeğştirmeler ve kat ivmeleri bakımından irdelenmiştir. Analizler sonucunda, taban yalıtım sisteminin yerdeğştirmeleri, ivmeleri, tepe noktası deplasmanlarını, yapı frekansını ve taban kesme kuvvetlerini önemli ölçüde azalttığı ve yapıyı sismik etkilerden daha iyi koruduğu görülmüştür. Yüksek yapılarda, izolatörler alt katlardaki sismik etkileri etkin bir şekilde azaltırken üst katlardaki etkisinin sınırlı kaldığı görülmüştür. Buna karşılık, rijit mesnetli yapılar sismik etkilere daha fazla maruz kalarak, daha yüksek hasar oluşturma riski taşımaktadır. Çalışma sonucunda, taban yalıtımı sisteminin yapının tepe noktasındaki deplasman genliklerini, kat ivmelerini ve taban kesme kuvvetlerini etkin bir şekilde kontrol ederek, daha dengeli ve güvenli bir performans sağladığı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELEK: Deprem, Sismik taban yalıtımı, Sürtünmeli sarkaç izolatör, Yüksek yapı, Zaman tanım alanında dinamik analiz

Aralık 2024, 172 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

BEHAVIOR OF SEISMIC BASE ISOLATED HIGH-RISE BUILDINGS UNDER THE EFFECT OF DIFFERENT EARTHQUAKES

İHSAN TÜRKEK

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
SUPERVISOR: PROF. DR. MAHMUT BİLGEHAN**

Earthquakes induce significant stresses and deformations in the structural systems of multi-story and especially high-rise buildings, posing substantial threats to both structural safety and occupant comfort. Seismic base isolation is an effective engineering solution developed to mitigate these effects by damping the seismic energy efficiently, thereby enabling structures to respond more safely during seismic events. In this study, nonlinear time history analyses were conducted to compare the seismic behavior of multi-story and high-rise reinforced concrete structures with rigid supports and seismic base isolation systems. Ground motion acceleration records were utilized in these time history analyses for the 1999 Kocaeli-Gölcük, 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık, and 1977 Kastamonu earthquakes that occurred previously. For these analyses, the structures were designed as 6, 12, and 24-story buildings. In this context, the effects of different numbers of stories, different earthquakes, and seismic base isolation on the seismic behavior of the structure were investigated. In the analyses, single-curvature friction pendulum-type isolators were taken into account as isolators, and the loads on the isolators were defined in accordance with the regulation. The base shear forces, top of buildings' peak displacements, structural periods, mass participation ratios, absolute displacements, relative displacements, and story accelerations occurring in the structure were examined by obtaining the results of structural analyses. As a result of the analysis, it was seen that the base isolation system significantly reduced the displacements, accelerations, peak displacements, structure frequency and base shear forces and better protected the structure from seismic effects. In high-rise buildings, isolators have been shown to effectively reduce seismic effects on lower floors, while their effects on upper floors remain limited. In contrast, rigid-supported structures are more exposed to seismic effects and have a higher risk of damage. As a result of the study, it was observed that the base isolation system effectively controls the displacement amplitudes at the top of the structure, story accelerations, and base shear forces, providing a more balanced and safe performance.

KEYWORDS: Earthquake, Structural analysis, Seismic base isolation, Friction pendulum isolator, High-rise building, Time history dynamic analysis

December 2024, 172 Page

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması boyunca yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini ve tecrübelerini paylaşarak beni yönlendiren, katkılarıyla tezin şekillenmesini ve tamamlanmasını sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Mahmut BİLGEHAN'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, bana her konuda destek çıkan çok değerli anneme ve babama, bu çalışmada manevi yardımını esirgemeyen kıymetli ablam Gülnur TÜRKEK ŞAHİN'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmam süresince desteğini ve sevgisini esirgemeyen, sürekli her anımı paylaşarak bana her zaman yardımcı olan, beni sürekli çalışmaya teşvik eden çok değerli eşim Selen Gülser TÜRKEK'e ve bu sene dünyaya gelen ve hayatıma anlam katarak motivasyon sağlayan canım oğlum Ilgaz TÜRKEK'e bana şans getirdiği için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma görevlisi olarak çalıştığım Kastamonu Üniversitesi'nde tezimin tamamlanmasında bana desteğini esirgemeyen değerli hocalarıma ve iş arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

İHSAN TÜRKEK

Kastamonu, 2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. SİSMİK TABAN YALITIMI.....	10
3.1 Temel Mekanizma	10
3.2 Sismik Taban Yalıtımı Tekniklerinin Türleri.....	13
3.2.1 Sürtünmeli Sarkaç Sismik Taban Yalıtımı Sistemi (FPS).....	13
3.2.2 Electricite-de-France (EDF) Sismik Taban Yalıtımı Sistemi	18
3.2.3 Esnek Sürtünmeli Sismik Taban Yalıtımı (R-FBI) Sistemi.....	18
3.2.4 Kaymalı Esnek Sürtünmeli Sismik Taban Yalıtımı Sistemi.....	19
3.2.5 Elastomerik Mesnetler	20
3.2.6 Kayar Sismik Taban Yalıtımı Sistemleri	26
3.3 Ölçeklendirme ve Modelleme	27
3.3.1 Sayısal Simülasyon ve Teknikler.....	30
3.4 Sismik Taban Yalıtımı Sistemlerinde Optimizasyon Yöntemleri	30
3.5 Sismik Taban Yalıtımı Sisteminin Uygulamaları	33
3.5.1 Tarihi Binaların Güçlendirilmesi ve Onarılması	33
3.5.2 Sıvı Tutucu Yapıların Sismik Taban Yalıtımına Etkisi	35
3.5.3 Yapı-Zemin Davranışının Etkisi	36
3.5.4 Üç Boyutlu Sismik Taban Yalıtımı Sistemi	37
3.5.5 Sismik Taban Yalıtımına Tasarım Ötesi Olayların Etkisi	41
3.6 Ekonomik Fayda.....	45
3.7 Yenilikçi Sismik Taban Yalıtımı Teknikleri	47
4. YAPI MODELLENMESİ.....	50
4.1 Yapı Deprem Raporu.....	50
4.2 Uygulamada Kullanılacak Depremler	52
4.3 Sürtünmeli Sarkaç Sismik Taban Yalıtımı Sistemi Modellenmesi	54
4.4 Yapının Sonlu Eleman Esaslı Yapı Analiz Programında Modellenmesi	56
4.4.1 Yapı Modelinin Oluşturulması	59
4.4.2 Zaman Tanım Alanında Analiz (Time History Analizi).....	66
4.4.3 Sismik Taban Yalıtımının Tasarlanması.....	67
5. ANALİZ	72
5.1 6 Katlı Betonarme Çerçevesi Yapı Analizi.....	72
5.1.1 Kocaeli-Gölcük Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	73

5.1.1.1	Rijit mesnetli yapı analizi	74
5.1.1.2	İzolatörlü yapı analizi.....	76
5.1.1.3	Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	78
5.1.2	Kahramanmaraş-Pazarcık Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	81
5.1.2.1	Rijit mesnetli yapı analizi	81
5.1.2.2	İzolatörlü yapı analizi.....	83
5.1.2.3	Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	85
5.1.3	Kastamonu Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	89
5.1.3.1	Rijit mesnetli yapı analizi	90
5.1.3.2	İzolatörlü yapı analizi.....	92
5.1.3.3	Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	94
5.2	12 Katlı Betonarme Çerçeve Yapı Analizi.....	97
5.2.1	Kocaeli-Gölcük Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	98
5.2.1.1	Rijit mesnetli yapı analizi	98
5.2.1.2	İzolatörlü yapı analizi.....	101
5.2.1.3	Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	103
5.2.2	Kahramanmaraş-Pazarcık Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	107
5.2.2.1	Rijit mesnetli yapı analizi	107
5.2.2.2	İzolatörlü yapı analizi.....	109
5.2.2.3	Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	112
5.2.3	Kastamonu Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	115
5.2.3.1	Rijit mesnetli yapı analizi	116
5.2.3.2	İzolatörlü yapı analizi.....	118
5.2.3.3	Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	120
5.3	24 Katlı Betonarme Çerçeve Yapı Analizi.....	124
5.3.1	Kocaeli-Gölcük Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	125
5.3.1.1	Rijit mesnetli yapı analizi	126
5.3.1.2	İzolatörlü yapı analizi.....	129
5.3.1.3	Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	132
5.3.2	Kahramanmaraş-Pazarcık Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	136
5.3.2.1	Rijit mesnetli yapı analizi	136
5.3.2.2	İzolatörlü yapı analizi.....	139
5.3.2.3	Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	142
5.3.3	Kastamonu Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	146
5.3.3.1	Rijit mesnetli yapı analizi	146
5.3.3.2	İzolatörlü yapı analizi.....	149
5.3.3.3	Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	152
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	157
	KAYNAKLAR	160
	ÖZGEÇMİŞ.....	172

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Sismik taban yalıtımı sistemi	10
Şekil 3.2 Periyot kayması.....	11
Şekil 3.3 Yerdeğiştirme tasarım tepki spektrumu	11
Şekil 3.4 Sürtünmeli sarkaç taban yalıtımı sistemi	14
Şekil 3.5 Deprem kuvvetlerini azaltmak için kullanılan deprem tepki kontrol sistemleri	14
Şekil 3.6 Electricite-de-France sismik taban yalıtımı sistemi.....	18
Şekil 3.7 Esnek sürtünmeli sismik taban yalıtımı sistemi.....	19
Şekil 3.8 Kurşun kauçuk mesnet.....	22
Şekil 3.9 Çoklu yay izolasyon modelinin şematik gösterimi	23
Şekil 3.10 LRB için kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi.....	24
Şekil 3.11 Yanal yerdeğiştirme ve kesme kuvveti ilişkisi	24
Şekil 3.12 Düşey deformasyon ve düşey kuvvet ilişkisi.....	25
Şekil 3.13 Deneysel tepkinin matematiksel modelle karşılaştırılması.....	25
Şekil 3.14 Fiber takviyeli elastomerik izolatör	26
Şekil 3.15 Sismik taban yalıtımı ile tarihi binaları güçlendirme prosedürü.....	34
Şekil 3.16 Yeni üç boyutlu sismik yalıtım mesnetinin tasarımı.....	35
Şekil 3.17 GERB sismik taban yalıtımı sistemi	38
Şekil 3.18 Kalın kauçuk katmanlı mesnet.....	38
Şekil 3.19 Yuvarlanan sızdırmazlık tipi pnömatik yaylar.....	39
Şekil 3.20 Hidrolik üç boyutlu sistemleri	39
Şekil 3.21 Kablo takviyeli pnömatik yaylar.....	40
Şekil 3.22 Ankestre mesnetli ve sismik taban yalıtımlı yapı modelinin şematik gösterimi	43
Şekil 3.23 Patlama yükleri altında sismik taban yalıtımının taban kesme kuvveti performansı	43
Şekil 3.24 Önerilen sismik taban yalıtımı sisteminin şematik gösterimi	47
Şekil 4.1 AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması raporu.....	50
Şekil 4.2 DD-1 düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumu	51
Şekil 4.3 DD-1 düzeyi için düşey elastik tasarım spektrumu	51
Şekil 4.4 DD-2 düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumu	52
Şekil 4.5 DD-2 düzeyi için düşey elastik tasarım spektrumu	52
Şekil 4.6 1977 yılında meydana gelen Kastamonu depremi ivme-zaman grafiği.....	53
Şekil 4.7 6 Şubat 2023 yılında meydana gelen Kahramanmaraş depremi ivme-zaman grafiği	53
Şekil 4.8 Tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı.....	54
Şekil 4.9 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri Gösterimi	54
Şekil 4.10 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi.....	55
Şekil 4.11 Tercih edilen tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatör	55
Şekil 4.12 Tasarımı yapılan yapının kat kalıp planı.....	57
Şekil 4.13 5-5 aksına ait kesit	58

Şekil 4.14 D-D aksına ait kesit.....	58
Şekil 4.15 Üç boyutlu çerçevenin sisteme tanımlanması.....	60
Şekil 4.16 Malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	60
Şekil 4.17 Kolon donatı detayı.....	61
Şekil 4.18 Kiriş donatı detayı.....	61
Şekil 4.19 Kirişlere etki ettirilen duvar yükleri.....	62
Şekil 4.20 Döşemelere etki ettirilen ölü ve hareketli yükler.....	62
Şekil 4.21 Radye temelın düğüm noktalarına atanan mesnet özellikleri	62
Şekil 4.22 Yapıda sonlu elemanlara bölünmüş döşemeler.....	63
Şekil 4.23 Yapının 3D görünümü	63
Şekil 4.24 Kütle kaynağının (mass source) tanımlanması	64
Şekil 4.25 Rijit diyafram tanımlanması	64
Şekil 4.26 Yapının x-z perspektif görünümü	65
Şekil 4.27 Yapının y-z perspektif görünümü	65
Şekil 4.28 Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz bilgileri.....	66
Şekil 4.29 İzolatörün tanımlanması	69
Şekil 4.30 İzolatörün U2 ve U3 verileri	70
Şekil 4.31 İzolatörlü yapının y-z perspektif görünümü	71
Şekil 4.32 İzolatörlü yapının x-z perspektif görünümü	71
Şekil 5.1 Analiz için tanımlanan Kocaeli-Gölcük depremi ivme zaman grafiği	73
Şekil 5.2 Rijit mesnetli yapının 8,94 sn anındaki yerdeğiştirme durumu	74
Şekil 5.3 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	75
Şekil 5.4 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	75
Şekil 5.5 İzolatörlü yapının 9,025 sn anında yerdeğiştirmesi	76
Şekil 5.6 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları	77
Şekil 5.7 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri.....	77
Şekil 5.8 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri.....	78
Şekil 5.9 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri.....	79
Şekil 5.10 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri.....	79
Şekil 5.11 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	80
Şekil 5.12 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	80
Şekil 5.13 Analiz için tanımlanan Kahramanmaraş-Pazarcık depremi ivme zaman grafiği.....	81
Şekil 5.14 Rijit mesnetli yapının 50,22 sn anındaki yerdeğiştirme durumu	82
Şekil 5.15 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	83
Şekil 5.16 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	83
Şekil 5.17 İzolatörlü yapının 50,29 sn anında yerdeğiştirmesi	84
Şekil 5.18 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları	85
Şekil 5.19 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri.....	85
Şekil 5.20 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri.....	86
Şekil 5.21 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri.....	87
Şekil 5.22 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri.....	87
Şekil 5.23 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	88
Şekil 5.24 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	89
Şekil 5.25 Analiz için tanımlanan Kastamonu depremi ivme zaman grafiği.....	89
Şekil 5.26 Rijit mesnetli yapının 2,56 sn anındaki yerdeğiştirmesi	90
Şekil 5.27 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	91
Şekil 5.28 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	91
Şekil 5.29 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları	92

Şekil 5.30 İzolatörlü yapının 1,67 sn anındaki yerdeğiştirmesi	93
Şekil 5.31 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri	93
Şekil 5.32 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri	94
Şekil 5.33 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri	95
Şekil 5.34 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri	95
Şekil 5.35 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri	96
Şekil 5.36 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	96
Şekil 5.37 Rijit mesnetli yapının 13,92 sn anındaki yerdeğiştirmesi	99
Şekil 5.38 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	100
Şekil 5.39 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri	100
Şekil 5.40 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları	102
Şekil 5.41 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri	102
Şekil 5.42 İzolatörlü yapının 14,35 sn anındaki yerdeğiştirmesi	103
Şekil 5.43 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri	104
Şekil 5.44 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri	104
Şekil 5.45 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri	105
Şekil 5.46 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri	106
Şekil 5.47 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	106
Şekil 5.48 Rijit mesnetli yapının 42,01 sn anındaki yerdeğiştirmesi	107
Şekil 5.49 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	109
Şekil 5.50 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri	109
Şekil 5.51 İzolatörlü yapının 43,33 sn anında yerdeğiştirmesi	110
Şekil 5.52 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları	111
Şekil 5.53 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri	111
Şekil 5.54 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri	112
Şekil 5.55 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri	113
Şekil 5.56 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri	113
Şekil 5.57 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri	114
Şekil 5.58 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	115
Şekil 5.59 Rijit mesnetli yapının 1,97 sn anındaki yerdeğiştirmesi	117
Şekil 5.60 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	117
Şekil 5.61 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri	118
Şekil 5.62 İzolatörlü yapının 2,08 sn anında yerdeğiştirmesi	119
Şekil 5.63 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları	119
Şekil 5.64 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri	120
Şekil 5.65 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri	121
Şekil 5.66 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri	121
Şekil 5.67 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri	122
Şekil 5.68 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri	123
Şekil 5.69 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	124
Şekil 5.70 Rijit Mesnetli yapının 17,26 sn anında yerdeğiştirmesi	126
Şekil 5.71 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	128
Şekil 5.72 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri	128
Şekil 5.73 İzolatörlü yapının 17,35 sn anında yerdeğiştirmesi	130
Şekil 5.74 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanı	131
Şekil 5.75 İzolatörlü yapının taban kesme kuvveti	131
Şekil 5.76 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri	132
Şekil 5.77 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri	133
Şekil 5.78 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri	134

Şekil 5.79 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	135
Şekil 5.80 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	136
Şekil 5.81 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	137
Şekil 5.82 Rijit mesnetli yapının 54,62 sn anındaki yerdeğiştirmesi	138
Şekil 5.83 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	139
Şekil 5.84 İzolatörlü yapının 57,18 sn anında yerdeğiştirmesi	140
Şekil 5.85 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları	141
Şekil 5.86 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri.....	141
Şekil 5.87 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri.....	142
Şekil 5.88 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri.....	143
Şekil 5.89 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri.....	144
Şekil 5.90 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	144
Şekil 5.91 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	145
Şekil 5.92 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	147
Şekil 5.93 Rijit mesnetli yapının 7,78 sn anındaki yerdeğiştirmesi.....	148
Şekil 5.94 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	149
Şekil 5.95 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları	150
Şekil 5.96 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri.....	151
Şekil 5.97 İzolatörlü yapının 5,98 sn anında yerdeğiştirmesi	151
Şekil 5.98 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri.....	152
Şekil 5.99 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri.....	153
Şekil 5.100 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri.....	154
Şekil 5.101 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri.....	155
Şekil 5.102 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları	155
Şekil 5.103 Yapıların periyot değerleri.....	156

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1 Sismik yalıtım sistemlerinin avantajları ve dezavantajları	46
Tablo 4.1 DD-1 düzeyi için AFAD rapor çıktıları	51
Tablo 4.2 DD-2 düzeyi için AFAD rapor çıktıları	52
Tablo 4.3 Analizde kullanılacak deprem kayıtları	53
Tablo 4.4 Yapı bilgileri	59
Tablo 4.5 Etkin kesit rijitliği çarpanları	61
Tablo 4.6 İzolatör için seçilen parametreler	67
Tablo 4.7 İzolatör için düzeltilmiş parametreler	68
Tablo 4.8 Tek izolatör için düzeltilmiş parametreler	69
Tablo 5.1 Modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları	72
Tablo 5.2 İzolatörlü yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları	73
Tablo 5.3 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri	74
Tablo 5.4 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri	76
Tablo 5.5 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri	82
Tablo 5.6 İzolatörlü Yapı Deplasman ve İvme Değerleri	84
Tablo 5.9 Modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları	97
Tablo 5.10 İzolatörlü yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları	98
Tablo 5.11 Rijit Mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri	99
Tablo 5.12 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri	101
Tablo 5.13 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri	108
Tablo 5.14 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri	110
Tablo 5.15 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri	116
Tablo 5.16 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri	118
Tablo 5.17 Modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları	124
Tablo 5.18 İzolatörlü yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları	125
Tablo 5.19 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri	127
Tablo 5.20 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri	129
Tablo 5.21 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri	137
Tablo 5.22 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri	139
Tablo 5.23 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri	146
Tablo 5.24 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri	149

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

T_{eff}	: Etkin Titreşim Periyodu
K_{eff}	: Etkin Rijitlik
ξ_{eff}	: Etkin Sönümleme Katsayısı
R	: Eşdeğer Yarıçap
g	: Yerçekimi İvmesi
μ	: Sürtünme Katsayısı
A	: Alan
d_{max}	: Maksimum Yerdeğiştirme
d_m	: Maksimum Kalıcı Yerdeğiştirme
T_L	: Sıcaklık Artışı
t	: Boyutsuz Zaman
σ_{YLo}	: Etkin Akma Gerilimi
ρ_L	: Kurşunun Yoğunluğu
c_L	: Kurşunun Özgül Isısı
a	: Kurşun Çekirdeğin Yarıçapı
k_s	: Çeliğin Isıl İletkenliği
α_s	: Çeliğin Isıl Yayılmı
t_s	: Çelik Plakalarının Toplam Kalınlığı
h_L	: Kurşun Çekirdeğin Yüksekliği
Hz	: Hertz
S_{DS}	: Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı
S_{D1}	: 1,0 Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı
S_1	: 1,0 Saniye Periyot için Harita Spektral İvme Katsayısı
S_s	: Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı
F_y	: Etkin Akma Dayanımı
k_1	: Başlangıç Rijitliği
k_2	: İkincil Rijitlik
k_e	: Etkin Rijitlik
D_y	: Etkin Akma Yerdeğiştirmesi
μ_e	: Etkin Sürtünme Katsayısı
R_c	: Etkin Eğrilik Yarıçapı
D	: Yerdeğiştirme
β_e	: Etkin Sönüm Oranı

Kısaltmalar

TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
FPS	: Sürtünmeli Sarkaç Sismik Taban Yalıtımı Sistemi
LDRB	: Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnet
HDRB	: Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet
LRB	: Kurşun Çekirdekli Mesnet
FREB	: Fiber Takviyeli Elastomerik Mesnet
GSI	: Geoteknik Sismik Yalıtım

STRP	: Lastik Kauçuk Pedler
EEW	: Deprem Erken Uyarı
PTFE	: Politetrafloroetilen
UHMWPE	: Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen
DCFP	: Çift İçbükey Sürtünmeli Sarkaç Sismik Taban Yalıtımı Sistemi
TFPB	: Üçlü Sürtünmeli Sarkaç Mesneti
RIS	: Yuvarlanmalı Sismik Yalıtım Sistemi
VFPB	: Viskoz Akışkan Tapalı Mesnet
EDF	: Electricite-De-France Sismik Taban Yalıtımı Sistemi
R-FBI	: Esnek Sürtünmeli Sismik Taban Yalıtımı Sistemi
SR-F	: Kaymalı Esnek Sürtünmeli Sismik Taban Yalıtımı Sistemi
EPB	: Elastomerik Polimer Mesnet
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
LCRB	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet
PGA	: En Büyük Yer İvmesi
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Polimer
ASCE	: Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği Standartları
GERB	: GERB Sismik Taban Yalıtımı Sistemi
ASCE/SEI	: ASCE Yapısal Mühendislik Enstitüsü Standartları
VFPS	: Değişken Sürtünmeli Sarkaç Sismik Taban Yalıtımı Sistemi
FEMA	: Amerika Federal Acil Durum Yönetim Ajansı Standartları
NTC	: Meksika Deprem Yönetmeliği Standartları
AASHTO	: Amerikan Eyalet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Birliği
UBC	: Amerika Bina Yönetmeliği
PGV	: En Büyük Yer Hızı

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve artan nüfus ile birlikte yüksek yapılar gelişme imkânı bulmuştur. Bu yüksek yapılar ne yazık ki deprem kuvvetlerine karşı daha hassas tepkiler vermektedir. Bu nedenle, sismik etkilere karşı performansının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu binaların artan deprem kuvvetlerine karşı koyacak şekilde tasarlanması ve inşa edilmesi gerekmektedir. Bu tasarımlardan biri olan ve yapıya ek deprem yalıtımı sağlayan sönümleyici sistemlerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Özellikle deprem riski altındaki bölgelerdeki yüksek yapıların tasarımında yüksek rijitlik ve yüksek deprem kuvveti sönümlenmesinin sağlanması anlamında yaygın olarak sönümleyici ve sismik yalıtımlı sistemlerin kullanılması konusu güncel araştırma konuları arasındadır. Günümüzde yaygın olarak deprem kuvvetlerine karşı çeşitli sismik yalıtım sistemleri kullanılmakta ve geliştirilmektedir. En yaygın kullanılan sismik yalıtım sistemlerinden biri de sismik taban yalıtımları (izolatörler) olarak karşımıza çıkmaktadır.

Deprem neticesinde artan endişeler, inşaat mühendislerini deprem yer hareketinin yapı üzerindeki tehlikeli etkilerini dikkate alarak tasarım yapmaya zorlamaktadır. Bu durumu ele almak amacıyla, farklı sismik taban yalıtım teknikleri geliştirilmiştir. Sismik taban yalıtım sistem türlerini, tekniklerini ve uygulamalarını kapsamlı bir şekilde ele alınması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre Bina Yükseklik Sınıfı 1 olan binalar yüksek bina olarak geçmektedir (TBDY, 2018). Bu binaların tasarımlarında deprem yalıtımı yapmak zaruri bir hal almaktadır. Bu sebeple farklı depremlerin etkisinde yüksek binaların vereceği tepkileri belirlemek suretiyle yapı davranışını analiz etmek gerekmektedir. Bu davranışlar dikkate alınarak deprem etkilerini minimuma indirecek sismik taban yalıtımı uygulanarak statik analizi yapılması önemlidir. Bu sayede deprem etkileri minimuma indirilerek bina performansı artırılabilir.

Geçmişte bina tipleri sınırlı sayıdayken, günümüzde yüksek katlı yapıların yaygınlaşması ve tasarım özgürlüğünün artmasıyla birlikte, yapı tiplerindeki çeşitlilik önemli ölçüde artış göstermiştir. Günümüzde, gelişmiş bilgisayar teknolojileri

kullanılarak inşa edilen yüksek yapılar, önceki dönem yapılarda nadiren görülen cesur mimari ve yapısal tasarım yaklaşımlarını içermektedir (Ali ve Moon, 2018).

Çeşitli doğal afetler ve istenmeyen sarsıntılar arasında en zararlı ve tehlikeli olay olarak öne çıkan depremler, ciddi can kayıplarına ve altyapının geniş çapta tahrip olmasına neden olmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek, yapısal tasarımcılar ve mühendisler için önemli bir engel teşkil etmektedir. Kapsamlı araştırma, analiz ve deneyler, zemin hareketinin yapılar üzerindeki etkilerini azaltmayı ve böylece yapıların sismik kapasitesini güçlendirmeyi amaçlayan çeşitli stratejilerin geliştirilmesine yol açmıştır. Mevcut sismik koruma yöntemleri arasında sismik taban yalıtımı dayanıklılığı, uygulanabilirliği ve güvenilirliği nedeniyle baskın depremden korunma teknolojisi olmaktadır.(Spencer ve Nagarajaiah, 2003)

Sismik taban yalıtımı tekniği yeni bir yöntem olmayıp, tarihsel kökenlere dayanmaktadır. Antik Çin'de, manastırlar, köprüler, tapınaklar ve surlar dâhil birçok yapıda sismik yalıtım teknikleri uygulanmış, temel ile zemin arasındaki göreceli harekete izin veren kül ve kömürle karıştırılmış kil tabakaları kullanılmıştır (De Luca ve Guidi, 2019).

Sismik taban yalıtımı uygulanan yapıların deprem performansı rijit temelli yapılara göre çok daha iyi olmakta ve deprem yalıtımı uygulaması hem yapısal bütünlüğü hem de yapılarda bulunan elemanların korunmasını sağlamaktadır. Sismik taban yalıtımı sistemi, yapının temel titreşim periyodunu uzatmak ve sismik taban yalıtımlı yapılardan rijit temelli yapıya göre daha yüksek değer elde etmek için kullanılmaktadır. Sismik taban yalıtımı sisteminin kullanılması, tarihi yapının periyodunun artmasına, yapıya uygulanan yerdeğiştirmelerin, ivmenin ve kuvvetin azalmasına ve bunun sonucunda meydana gelen yapısal deformasyona neden olmuştur. Analiz sonuçları sismik davranışta önemli bir iyileşme olduğunu göstermektedir (Usta, 2021).

Sismik taban yalıtımı sistemleri, enerji sönmülmesi, yeniden merkezlenme yeteneği, yanal hareketin sınırlandırılması, sismik olmayan yanal yükler altında yeterli süneklik ve düşey yük taşıma kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu sistemlerin,

yapının kullanım ömrü boyunca dayanıklılığını muhafaza ederek, binanın kullanım ömrüyle eşit veya daha uzun süre hizmet verecek şekilde üretilmesi gerekmektedir.

Dünyada ve ülkemizde yüksek yapıların sayısı giderek artmaktadır. Yüksek yapıların inşa edilmesiyle birlikte hem narin bir mukavemete hem de farklı geometrik planlara sahip yapılar ortaya çıkmaktadır. Tasarım sürecinde karşılaşılan zorlukların aşılmasına yönelik olarak, son yıllarda bilimsel çalışmaların sayısında önemli bir artış gözlenmektedir. Ülkemizde yüksek yapıların taşıyıcı sistemleri genellikle betonarme çekirdek perde ve çerçeve elemanları kullanılarak inşa edilmektedir. Büyük şehirlerde giderek artan yüksek yapı ihtiyacına yanıt vermek amacıyla, ulusal ve uluslararası ölçekte çeşitli yönetmelikler ve özel şartnameler hazırlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikler, yüksek yapıların tasarımında performansa dayalı hesap ilkelerinin uygulanmasını zorunlu kılmakta ve doğrusal hesap yöntemleriyle gerçekleştirilen tasarımların, doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz edilerek doğrulanmasını talep etmektedir. Ülkemizdeki mevcut yapı stoku incelendiğinde, yüksek bina taşıyıcı sistemlerinin ağırlıklı olarak betonarme çekirdek perde ve çerçevelerden oluştuğu görülmektedir. Yüksek ve narin yapıların yatay yüklere maruz kalması durumunda, geleneksel taşıyıcı sistemlerin ötesinde geliştirilen başlıca çözümlerden biri sismik taban yalıtımı uygulamasıdır.

Bu çalışma kapsamında, çok katlı ve yüksek binaların çeşitli deprem etkileri altında rijit mesnetli ve sismik taban yalıtımı sistemi uygulanan yapıyla karşılaştırılması yapılacaktır. Yapıların deprem performansının değerlendirilmesi, TBDY 2018’de belirtilen performansa dayalı tasarım prensipleri doğrultusunda, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleri ve kabul edilen varsayımlar temel alınarak gerçekleştirilecektir. Aynı yapı üzerinde kıyas yapabilmek adına farklı deprem kuvvetleri kullanılarak hesaplar yapılacaktır. Binanın doğrusal ve doğrusal olmayan hesap modelleri oluşturulmadan önce, yüksek yapıların farklı deprem kuvvetlerine ve sismik taban yalıtımına hangi esaslara göre tabi olacağı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan modelleme yöntemlerine ilişkin gerekli tüm veriler, ulusal ve uluslararası yönetmelikler ile şartnameler göz önünde bulundurularak yapılan literatür araştırmaları sonucunda elde edilmiştir.

Yapı elemanlarının tasarımında, TBDY 2018 ve uluslararası alanda kabul gören yönetmelik ve şartnamelerin hesap ilkeleri esas alınmıştır. TBDY 2018 kapsamında, yapıların önce doğrusal hesap yöntemleri kullanılarak boyutlandırılması, ardından ise deprem performansını modellemek ve yapı davranışını en gerçekçi şekilde değerlendirebilmek amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılacaktır. Ardından kıyaslanmak istenilen doğrusal olmayan hesap sonucunda yapı davranışı irdelenerek deprem performansı etkisi ile birlikte karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Bununla birlikte deprem kuvvetleri etkisinde yüksek yapıların davranışı net bir şekilde incelenecek, sismik taban yalıtımı sistemlerinin tasarıma ve davranışa olan etkileri belirlenerek yüksek yapının deprem performansında önemli iyileştirmeler yapılabilecektir.

Bu tez çalışmasında, 6 ve 12 katlı yapılar ile 24 katlı bir yüksek yapı hem rijit temelli hem de sismik taban yalıtımlı durumları dikkate alınarak, üç farklı farklı deprem ivmesi etkisindeki yapıların deprem davranışları irdelenmiştir. Kocaeli Gölçük (1999), Kahramanmaraş Pazarcık (2023) ve Kastamonu (1977) depremlerine göre Zaman Tanım Alanında (Time History) doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Sismik taban yalıtım sistemi olarak tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç tipi izolatör dikkate alınmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Sismik taban yalıtımı sistemlerinin, geleneksel yapılarla kıyaslandığında deprem etkilerini hafifletmedeki avantajları ele alınmaktadır. Sismik taban yalıtımlı yapılar ile ankastre mesnetli yapılar arasında karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiş ve bu yapılar arasındaki performans farkı çeşitli yaklaşımlar kullanılarak sistematik bir şekilde ortaya konulmuştur (Ryan vd., 2019).

Farklı yapı tiplerinin deprem yükleri altındaki performansları analiz edilerek, sismik taban yalıtımının sağladığı avantajlar, yapıların dinamik tepkileri, enerji sönmleme kapasitesi ve yapısal deformasyonlar açısından değerlendirilmiştir. Karşılaştırma, çeşitli literatür kaynaklarında belgelenmiş birkaç sismik taban yalıtımı sistemi ve ankastre mesnetli yapıları içermektedir (Fan vd., 1991).

Sismik taban yalıtımlı yapının davranışı, sünek ve rijit üst yapılarla karşılaştırılarak zaman tanım alanında analiz yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sismik taban yalıtımına sahip yapılarda rijit ve esnek üst yapı modelleri arasında temel yerdeğiştirme sonuçları genelde benzerdir, bu nedenle rijit üst yapı modeli mesnet yerdeğiştirmesi tahminlerinde kullanılabilir. Ancak, kayma sistemleriyle sismik yalıtım yapılan yapılarda üst yapı ivmeleri rijit modelle sünek model arasında ciddi farklar göstermektedir. Üst yapının sünekliği, kat sayısı, yapı periyodu, sönmleme oranı ve sürtünme katsayısı arttıkça, sismik taban yalıtımlı yapı ile rijit yapılar arasındaki davranış farkı büyümektedir. Sonuç olarak, sünekliğin yapı performansı üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerekmektedir. (Kulkarni ve Jangid, 2002).

Elastomerik mesnet ve kayma sismik taban yalıtımı sistemi üzerinde bir inceleme yapılmıştır. Bu çalışmada, binanın kuvvet-yerdeğiştirme tepkisinin doğrusal olduğu, her katın rijit kabul edildiği, yapının eğilme veya devrilmesinin kısıtlandığı ve kayma izolatörünün sürtünme katsayısının ara yüzeydeki göreceli hızdan bağımsız olduğu varsayılmıştır. Analiz sonucunda, kat ivmesi analizinde üst yapının sünekliğinin göz ardı edilemeyeceği sonucuna varılmıştır. Sismik taban yalıtımına sahip yapı ve ankastre mesnetli iki binanın modal analizi, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Sayed, 2012).

Üç katlı sismik taban yalıtımı kullanılan rijit yapı ile ankastre mesnetli yapının yerdeğiştirme talepleri incelendiğinde, üst kattaki yerdeğiştirme oranının, ankastre mesnetli yapılara kıyasla sismik taban yalıtımına sahip yapılarda yaklaşık olarak 0,07 kat azaldığı gözlemlenmiştir. Çalışmaya göre yapı yüksekliği arttıkça, yerdeğiştirme oranındaki azalma daha küçük olmuştur. Sonuç olarak, sismik taban yalıtımına sahip yapılar için sönüm oranı ve doğal periyodun yaklaşık olarak aynı olduğu sonucuna varılmıştır. Katlar arası yerdeğiştirme ve yatay deplasmanları kontrol etmek için Kanada Ulusal Bina Kodu 2010'u kullanılmıştır (Chimamphant ve Kasai, 2016).

OpenSees yazılımını kullanarak, bir sarsma tablası üzerinde üçlü sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı içeren bir yapı modelinin tepkisini değerlendirmek için üç boyutlu bir model geliştirilmiştir. Ayrıca çalışmada, bu tepkiyi ankastre mesnetli sistemin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Beton ve çeliğin doğrusal olmayan davranışları dikkate alınmasına rağmen, hesaplamalı ve deneysel bulgular, sismik taban yalıtımına sahip yapıların doğrusal olmayan tepkisinin en düşük seviyede olduğunu göstermektedir (Dao vd., 2019).

Sismik taban yalıtımı sisteminin, ankastre mesnetli sisteme göre üç kat daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Pasif ve yarı aktif kontrol yöntemlerinin doğrusal sistemlerde başarılı olduğunu, ancak doğrusal olmayan sistemlerde kontrolü zorlaştırdığını göstermektedir. Taban yalıtımında oluşan doğrusal olmayan davranışlar, temel yerdeğiştirmelerini azaltırken üst yapı ivmelerini aynı anda düşük seviyede tutmayı zorlaştırmaktadır (Narasimhan ve Nagarajaiah, 2010).

Ankastre mesnetli geleneksel bir yapı ile sismik taban yalıtımına sahip bir yapının ivme tepkilerini, sırasıyla zaman periyodu ve frekans ile karşılaştırmalı olarak göstermektedir (Wei vd., 2021).

Deprem riski yüksek bir bölgede inşa edilmiş ve sismik taban yalıtımı ile donatılmış bir yapının, 0,7g büyüklüğündeki en büyük yer ivmesine (PGA) dayanabildiği belirlenmiştir. Buna karşılık, aynı zemin koşullarına sahip düşük sismik tehlikeli bir bölgede bulunan ankastre mesnetli bir yapının, yalnızca 0,15g büyüklüğünde en büyük yer ivmesine (PGA) dayanabildiği tespit edilmiştir (Parsi vd., 2022).

Sismik taban yalıtımı cihazlarının, geleneksel yapılara kıyasla depremlerin tepkisini azaltmadaki faydaları tanımlanmaktadır. Düşük rijitlikli düşey sismik yalıtım sisteminin sınırlamaları belirtilmiştir. İzolasyonlu yapıların ölü yükü, erken oturmalara neden olabilir ve şiddetli yer hareketleri sırasında veya çok sayıda düşük frekanslı bileşen olduğunda önemli izolatör kaymaları meydana gelebilir. Bu zorluklar, düşey sismik taban yalıtımına sahip yapıların inşasında ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca, sismik taban yalıtımı sistemi, çok küçük depremler altında, ankastre mesnetli geleneksel yapılar gibi etkisiz kalabilmektedir (Araki vd., 2009).

Yüksek sönümlü izolatörlerin az, orta ve yüksek katlı yapıların sismik davranışlarına etkileri incelenmiştir. İzolatörler, yapı periyotlarını artırarak sismik etkileri azaltmakla birlikte rijitlik düzeyine bağlı olarak performansı farklılık göstermektedir. İzolatör rijitliği arttıkça periyot artışı azalırken, düşük rijitlikli izolatörlerin yüksek yapılarda üç saniye sınırını aşabildiği gözlenmiştir. Ayrıca, izolatörler kat yerdeğiştirmelerini artırsa da rölatif yerdeğiştirmeleri ve taban kesme kuvvetlerini önemli ölçüde düşürmektedir. Ancak rijitliğin artışı, mutlak ivmeler ve taban kuvvetlerinde yeniden artışa yol açmaktadır. İzolatörlerin yumuşak kat indeksi üzerindeki etkisi genellikle olumlu olup, bazı durumlarda izolatörsüz duruma kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir (Kılınç, 2011).

Bir otel binasında sismik taban yalıtımı sistemi ile betonarme perdelerle güçlendirme yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sismik taban yalıtımı, taban kesme kuvvetlerini ve kat ivmelerini azaltırken, yapı periyodunu 1,98 sn'ye çıkarmış; güçlendirme yöntemi ise 0,16 sn periyot artışı sağlamıştır. Maliyet analizinde, sismik taban yalıtımının %28 daha ekonomik olduğu belirlenmiş ve güçlendirme sırasında faaliyet durmasının ek maliyet getireceği vurgulanmıştır. Hem yapısal performans hem de ekonomi açısından sismik taban yalıtımının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Hoşbaş, 2006).

Beş katlı bir yapıda sürtünmeli sarkaç izolatörlerin sismik etkileri incelenmiştir. Üç eğrilikli izolatörler, diğer türlere göre daha iyi performans göstermiş; sürtünme katsayısı artışı tepkileri artırırken, eğrilik yarıçapının artışı ise tepkileri azaltmıştır. İzolatörlü yapılar, ankastre mesnetli yapıya kıyasla daha düşük yerdeğiştirme, ivme ve kesme kuvveti değerleri göstermiştir (Zulfakar, 2021).

TBDY 2018 ilkelerine göre tasarlanan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerle sismik yalıtımın yapıya etkileri incelenmiştir. İzolasyonlu yapının periyodu, sabit temelli yapıya göre belirgin şekilde artmış, kat yerdeğiştirmeleri sismik taban yalıtımı seviyesinde yoğunlaşmıştır. Sismik yalıtımlı modellerde kat ivmeleri ve kesme kuvvetleri sabit temelli modellere kıyasla sırasıyla yaklaşık %78 ve yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Ayrıca, taşıyıcı eleman momentlerinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, sismik taban yalıtımının yapısal performansı artırarak depreme dayanıklı tasarımda etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir (Albaş, 2021).

Sismik yalıtımlar için düşük maliyetli ve sürdürülebilir malzemelerin kullanımı, özellikle parçalanmış kauçuk-toprak karışımları içeren geoteknik sismik yalıtım sistemi (GSI) gibi yenilikçi yöntemler, deprem kaynaklı yapısal tepkileri azaltmada maliyet etkin bir alternatif sunmaktadır. Bu sistem, az gelişmiş bölgelerde yapısal güvenliği artırmanın yanı sıra, küresel atık lastik sorununu ele alarak sismik risklerin azaltılmasında önemli bir potansiyele sahiptir (Xiong ve Li, 2013).

Çevre dostu hurda lastik kauçuk pedler (STRP), kesme rijitliğini kolayca ayarlanabilir bir şekilde sağlayan ve geri dönüşüm çabalarına katkıda bulunan düşük maliyetli bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. STRP'nin özellikleri, kauçuk pedlerin arasına yerleştirilen ince çelik plakalarla oluşturulmuş ve vulkanizasyon işlemi uygulanmış olarak, eksenel basınç ve yatay kesme testlerine tabi tutulmuştur. Radyal lastiklerden üretilen STRP izolatörü, %18,48 değerinde bir sönümleme oranına sahiptir. Bu oran, doğal kauçuk mesnetlerde bulunan %3,5 değerindeki sönümleme oranını aşmaktadır (Madhekar ve Vairagade, 2019).

Yapılan deneysel bir çalışmada, beton kolonun temeli altında sıkıştırılabilir kireç taşı kumundan oluşan kalın bir tabakanın sismik bir taban izolatörü olarak işlev görebileceğini bulunmuştur (Banović vd., 2018). Deprem erken uyarı (EEW) sinyali tarafından tetiklendiğinde özelliklerini ayarlayabilen başka bir akıllı sismik taban yalıtım sistemi Japonya'da geliştirilmiştir. Normal koşullar altında, sistem kesme anahtarlarıyla kilitlenir ve bir deprem algılandığında, mekanik bir mekanizma onu serbest bırakmaktadır (Casablanca vd., 2018). Bu yeniliklerin yanı sıra, geri dönüştürülmüş kauçuklar da izolatör malzemesi olarak kullanılmaktadır (Losanno vd.,

2022). Bileşik temel, sismik meta maddeleri yapı temeline kusursuz bir şekilde entegre ederek, ilk titreşim moduyla ilişkili frekans aralığındaki sismik dalgalardan gelen enerji aktarımını azaltmayı hedeflemektedir (Casablanca vd., 2018). Bu yenilikçi yaklaşım, sismik koruma tasarımında bir model değişikliğini temsil etmekte olup, özellikle S-dalgaları ve bunlara bağlı yüksek genlikler üzerinde durulmaktadır. Isı yalıtım panolarının maliyet etkin bir şekilde kayma önleme amacıyla uygulanması incelenmiştir (Harvey ve Kelly, 2016).

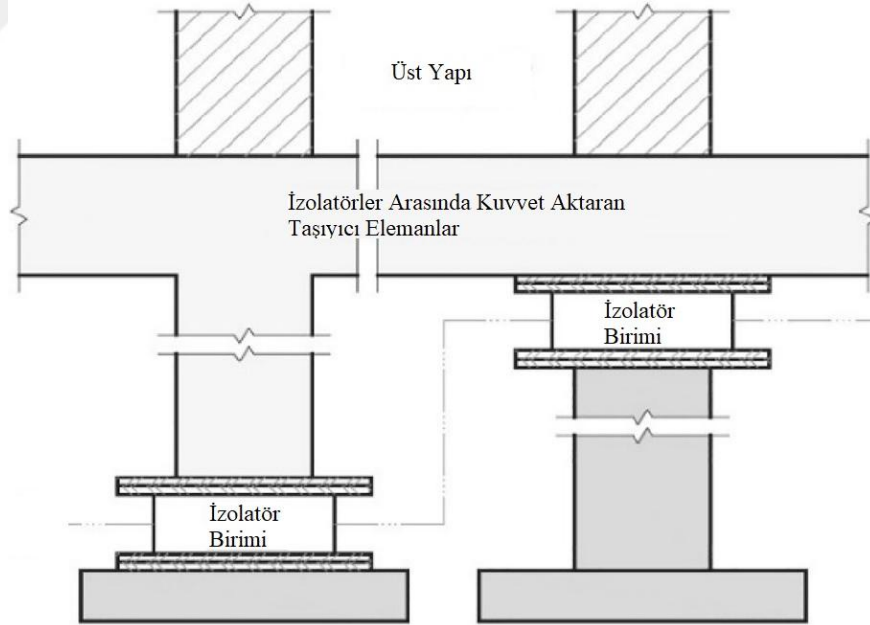
Sismik taban yalıtımı, deprem kuvvetlerini azaltmak amacıyla tasarlanmış bir teknik olup, çeşitli zorluklar barındırmaktadır. Bu zorluklar arasında yüksek maliyetler, karmaşık tasarım gereksinimleri, sürekli bakım ihtiyacı, belirli yapılara sınırlı uygulanabilirlik, sismik girdilerdeki belirsizlikler, inşaat kalitesine duyarlılık, mevcut yapılarla uyum sorunları ve halkın kabulü ile ilgili endişeler yer almaktadır. Bu engellere rağmen, sismik taban yalıtımını, özellikle yüksek riskli bölgelerde sismik dayanımı artırmak için çok değerli bir yöntem olarak kalmaya devam etmektedir. Süregelen araştırmalar, bu tekniğin etkinliğini sürekli olarak iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Patel vd., 2024).

Sismik yalıtım sisteminde eğilme ve kesme hasarları yaşanmıştır. 50 mm, 65 mm ve 75 mm kalınlıklarında değişen sismik yalıtım tabakalarına sahip küçük prototip blokları içeren bu çalışmada çatlaklar, hasar türleri ve sismik yalıtım tabakasının kayma davranışları hakkında önemli bulgular sağlanmıştır. FPS, yaygın olarak kullanılan bir sismik taban yalıtımı sistemi olmasına rağmen, yüksek deprem riski taşıyan bölgeler, kayalık zeminler ve yüksek yapılar gibi zorlu ortamlar için tam uyumu sağlamak amacıyla geliştirilmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, şişme ve devrilme riskini ortadan kaldırarak etkili yeniden merkezlenme kapasitesini güvence altına almak esastır. Mühendislik uygulamalarında, yeniden merkezlenme yeteneği, kesme dayanımı ve uygun rijitlik sunan, aynı zamanda maliyet etkin ve kolay uygulanabilir sistemleri tercih etmektedir. Sürtünme temelli sistemler verimlilik açısından öne çıkmasına rağmen, sürtünme katsayısı, sıcaklık, kayma hızı, eksenel basınç ve farklı zemin hareketlerine maruz kalma gibi parametrelerin çeşitli açılardan değerlendirilmesi için daha fazla deneysel doğrulamaya ihtiyaç duyulmaktadır. (Bibi vd., 2024)

3. SİSMİK TABAN YALITIMI

3.1 Temel Mekanizma

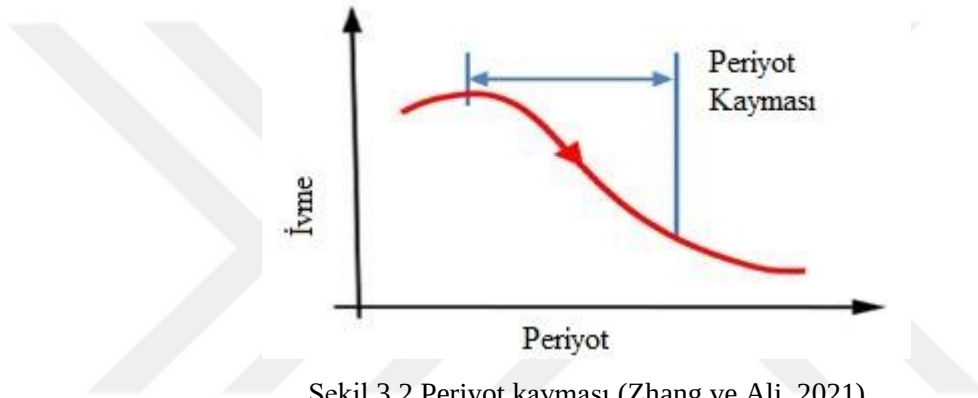
Sismik taban yalıtımı, sismik risklerin azaltılmasında temel bir rol oynamakta ve yapısal güvenliği artırmaktadır. Çeşitli yaklaşımlar arasında, sismik taban yalıtımı tekniklerinin geliştirilmesi öne çıkmaktadır. Bu tekniklerde, yapılar sünek temeller üzerine yerleştirilerek deprem kuvvetlerinin ve hareket iletiminin en aza indirilmesi hedeflenmektedir (Calvi ve Calvi, 2018). Yapıların dinamik davranışlarına ilişkin detaylı çalışma (Chopra, 2007), rezonansın şiddetli göçme olasılığını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır. Bu durum, yapının doğal titreşim frekansının sismik uyarının baskın frekansına yaklaştığı durumlarda meydana gelmektedir. Sismik taban yalıtımının temel felsefesi, üst yapıyı zemin hareketlerinin zararlı etkilerinden izolatörler kullanarak ayırmayı içerir. Bu izolatörler Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, üst yapı ile temel arasına yerleştirilmektedir (Constantinou, 2007; Showalter, 2007).



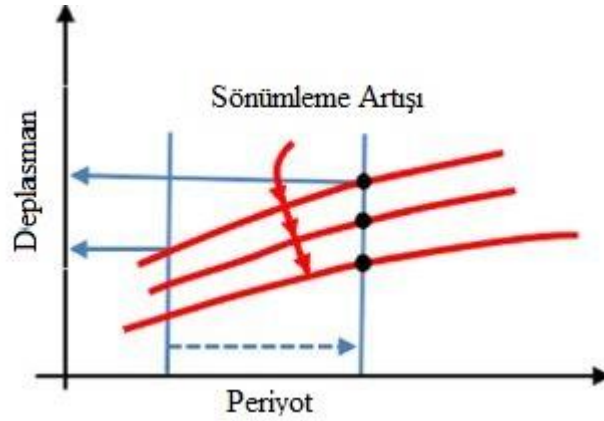
Şekil 3.1 Sismik taban yalıtımı sistemi

Sismik taban yalıtımı, yapının periyodunu artırmayı amaçlayarak Şekil 3.2'de gösterildiği gibi istenmeyen titreşimleri veya depremlerin frekansları ile rezonansa girmesini önlemektedir (Zhang ve Ali, 2021).

Yapının periyodunun arttırılması, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi daha büyük görelî yerdeğıştirmelere yol açmaktadır. Sonuç olarak, sismik taban yalıtımı sayesinde ivme ve yatay kuvvetler azaltılarak yapının sismik tepkisi kontrol altına alınmaktadır. Yapıya gelen deprem yükünün azalması, üst yapının sünekliğini koruyarak hasar görme riskini düşürmektedir. Etkili sismik yalıtım cihazları, üst yapı yüküne dayanabilme kapasitesi, yeterli yatay süneklik, yerdeğıştirmelere göre uyum sağlama ve enerji sönümleme mekanizmalarının doğru şekilde entegre edilmesi gibi temel özelliklere sahip olmalıdır. Ayrıca, düşük şiddetli sismik hareketlere dayanabilmeli ve yüksek şiddetli depremler sırasında enerji sönümleme yeteneği göstermelidir.



Şekil 3.2 Periyot kayması (Zhang ve Ali, 2021)



Şekil 3.3 Yerdeğıştirme tasarım tepki spektrumu (Zhang ve Ali, 2021)

MÖ 530 civarında Persler tarafından, Kral Cyrus'un mezarı için harç kullanmaksızın taş blokların kaymasına izin veren basit bir kayma sistemi kullanılmıştır. Korint ve Efes'te, sırasıyla MÖ 540 ve MS 120 yıllarında, Apollo Tapınağı ve Celsus Kütüphanesi'nin inşasında kaya üzerine yerleştirilen yekpare sütunlar kullanılmıştır. MÖ 1450'de Mısır'da inşa edilen Theodosius Dikilitaşı, İstanbul'a taşınarak

hipodromda, mafsallı destekler ve hareketli bir temele sahip mermer kaide üzerine yerleştirilmiştir (Whittaker vd., 2018). Modern sismik taban yalıtımı sisteminin kökenleri, 1870 yılında San Francisco, ABD'de patentlenen ve günümüzdeki sürtünmeli sarkaç taban yalıtım sistemi ile benzer özellikler taşıyan çift konkav küresel kayar sismik taban yalıtımı sistemine kadar uzanmaktadır (Touaillon, 1870). Sismik taban yalıtımı tekniği ilk olarak 1894'te Japonya'da önerilmiştir. 1934'te iki bankanın yapımında, sütunların altına yerleştirilen Diz Ekleme (Knee-Joint) sismik yalıtım mekanizması kullanılarak uygulanmıştır (Nakamura ve Okada, 2019). 1909 yılında talk veya mika katmanları kullanan bir kayar izolatör olarak bir sismik yalıtım tekniği önerilmiştir. Slovenya'nın Ljubljana kentinde 1933'te inşa edilen bir bina, metal ve asfalt katmanları kullanarak erken bir sismik yalıtım örneği sunulmuştur. Pestalozzi okulunda 1969'da Yugoslavya'nın Üsküp şehrinde, güçlendirilmemiş kauçuk bloklar kullanarak sismik taban yalıtımı yöntemi uygulanmıştır. Ancak, bu bloklar yeterli düşey rijitliğe sahip olmadığından, istenmeyen düşey ivme ve düşey deplasmanlara yol açarak kullanılamaz hale gelmiştir (Avinash vd., 2022).

Son kırk yılda, yapıların dinamik tepkisini kontrol etmek amacıyla makaralı mesnetler, elastomerik mesnetler, kauçuk mesnetler, kaymalı mesnetler ve sürtünmeli mesnetler gibi çeşitli sismik yalıtım sistemleri geliştirilmiştir. Makaralı tip izolatörler, iç içe geçebilen küreler veya makaralı çubuklar kullanarak konkav yüzeyler üzerinde hareket etmektedirler. Bu makaralı yüzeylerin düzeni ise yerdeğiştirmeye bağlı kuvveti belirlemektedir (Harvey ve Kelly, 2016).

Modern sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı sistemi, düşük sürtünmeli malzemeler, ısınma etkileri, temas basıncı ve hızla ilgili sorunları ele almaktadır. Bunu takiben, sonraki araştırmalar çift konkav sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı sistemi ve üçlü sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı sistemi mesnetleri tanıtılmıştır (Calvi ve Calvi, 2018). Elastomerik mesnetler, sönümlenme özelliklerine göre farklılık gösteren çelik takviyeler içeren kauçuk katmanlardan oluşmaktadır (Robinson, 1982). Bu tip mesnetler, düşük sönümlenmeli elastomer mesnetler (LDRB) (Carsalade vd., 2020), yüksek sönümlenmeli elastomer mesnetler (HDRB) (Braga ve Laterza, 2004), sönümlenmeyi artırmak için kurşun çekirdekli mesnetler (LRB) ve sert lif takviyeli olanlar (FREB) mesnetler olarak sınıflandırılmaktadır. (Khan vd., 2019).

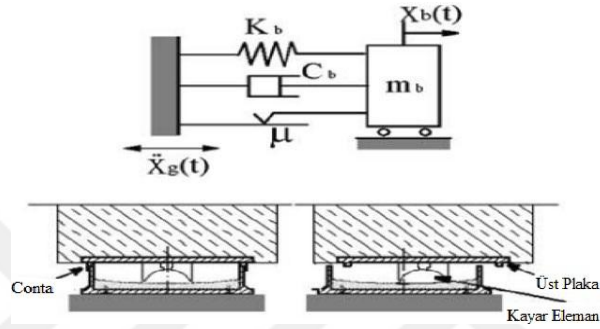
3.2 Sismik Taban Yalıtımı Tekniklerinin Türleri

Sismik taban yalıtımı, yapıların şiddetli zemin hareketlerinin etkilerine karşı korunmasında önemli bir ileri strateji olarak öne çıkmaktadır. Sismik taban yalıtımı üzerine yapılan kapsamlı araştırmalar, aktif, yarı aktif ve pasif sistemler olmak üzere üç ana sismik yalıtım kategorisini ortaya çıkarmıştır. Aktif sistemler üstün sismik kontrol sağlamasına rağmen oldukça karmaşık olması, yüksek maliyet, geri bildirim ve harici güç kaynaklarına bağımlı olması bu sistemlerin kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Buna karşılık, pasif sistemler basit olması, tutarlı olması, dayanıklılık ve ekonomik olması nedeniyle kullanımı daha yaygın olmaktadır. Yaygın olarak kullanılan çeşitli sismik yalıtım teknikleri Şekil 3.5'te şematik olarak gösterilmiştir.

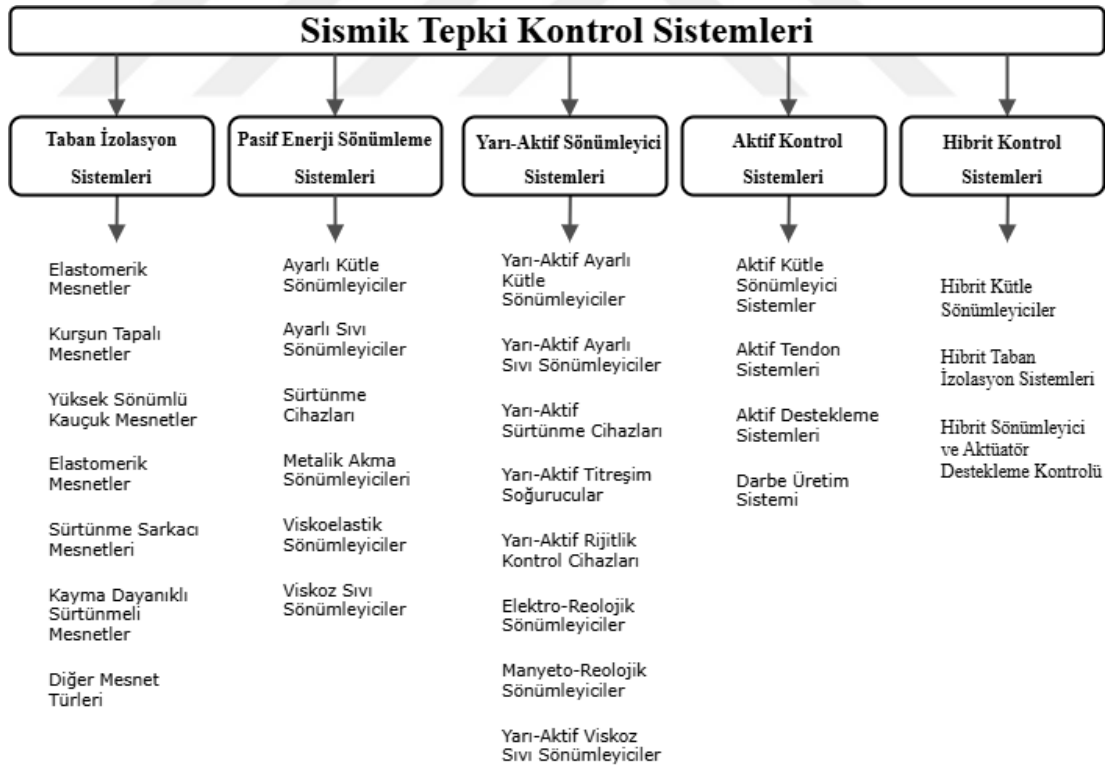
3.2.1 Sürtünmeli Sarkaç Sismik Taban Yalıtımı Sistemi (FPS)

1909 yılında Mario Viscardini tarafından, Messina depremine yanıt olarak sürtünme temelli bir sismik taban yalıtımı cihazı tanıtılmıştır. 1909 yılında Calanterioris tarafından önerilen sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı sisteminin başlangıçta sadece kayma şeklinde çalıştığı varsayılmaktadır. Sürtünme izolatörlerindeki eksikliklerin giderilmesi amacıyla tasarlanan bu sistem, ivme tepkisinin azaltılması için sismik yalıtım amacıyla bir talk tabakası uygulanmıştır. Bu izolatörler, üst yapının kütlesi ile doğru orantılı olarak sürtünme kuvveti sağlayarak eksantrisite ve burulma problemlerini azaltarak önemli avantajlar sunmaktadır (Naeim ve Kelly, 1999). Spesifik deprem kayıtlarına göre tasarlanmış kauçuk mesnetlerin aksine, sürtünme temelli izolatörler, geniş bir frekans spektrumu boyunca enerjiyi etkin bir şekilde dağıtarak rezonansı en aza indirmektedir. FPS mesnetler, destekledikleri yapıların kütlesinden etkilenmeyen bir sismik taban yalıtımı sunmaları, mükemmel enerji sönümleme ve kendini merkezlenme yeteneklerine sahip olmaları, ayrıca uzun ömürlü ve dayanıklı özellikler sergilemeleri nedeniyle alternatif mesnet türlerine göre sıklıkla tercih edilmektedir. Ayrıca, maksimum ivme iletimini, sürtünmeli sönümleyiciler ile dengeye getirerek izolatörlerin etkinliği artırılmaktadır (Su vd., 1989). Sürtünme katsayısı, hem çevresel sıcaklık koşullarından hem de yüksek hızda gerçekleşen kayma esnasında oluşan ısınmadan etkilenmektedir. Küçük ölçekli deney tasarımı veya

sonuçların prototiplere aktarılmasında dikkatli bir değerlendirme gerekmektedir. FPS mesnetlerde kullanılan malzemeler arasında ince bir PoliTetraFloroEtilen (PTFE) tabakası, sünek demir parçaları ve paslanmaz çelik gibi bileşenler yer aldığı için, yüksek şekil değiştirme faktörüne sahip elastomerik mesnetlere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek düşey rijitlik sergilemektedir. Şekil 3.4'te verilen FPS izolasyon sisteminin özellikleri, etkin titreşim periyodu T_{eff} , etkin rijitlik K_{eff} ve etkin sönümleme katsayısı ξ_{eff} ile temsil edilmektedir.



Şekil 3.4 Sürtünmeli sarkaç taban yalıtımı sistemi (Zhang ve Ali, 2021)



Şekil 3.5 Deprem kuvvetlerini azaltmak için kullanılan deprem tepki kontrol sistemleri

FPS taban yalıtımı sistemi için Denklem 3.1-3.3 dikkate alınmıştır. Burada N , düşey yükü, A yerdeğiştirme, R yarıçap ve sürtünme katsayısı μ olarak temsil etmektedir.

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{N}{K_{eff} \cdot g}} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\frac{\mu \cdot R}{A}} \cdot \frac{R}{g}} \quad (3.1)$$

$$K_{eff} = \left(1 + \frac{\mu \cdot R}{A}\right) \cdot \frac{N}{R} \quad (3.2)$$

$$\xi_{eff} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\mu}{\mu + \frac{A}{R}} \quad (3.3)$$

İzolatör malzemesinin dayanıklılığını sağlamak amacıyla, çeşitli kendinden yağlayıcı malzemeler kullanılmaktadır. Örneğin, ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE), PoliTetraFloroEtilen (PTFE) ve diğer termoplastikler önerilmiştir (Mokha, 1990; Sheikh vd., 2022). Yağlayıcılar, izolatörlerin kritik yükler ve yüksek hızlara dayanma kapasitesini bozulmadan artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Geçmiş çalışmalar ağırlıklı olarak coulomb yasasına dayanarak dinamik ve statik sürtünme katsayılarının eşit olduğu varsayılmıştır. Ancak, yapılan deneysel çalışmalar bu varsayımı doğrulamamıştır (Clarke vd., 2005).

Daha büyük yerdeğiştirmeleri sönümlemek için, daha büyük sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı mesnetlerinin kullanımı gereklidir. Bu durum inşaat maliyetlerini artırabilmektedir. Bu sorunu çözmek amacıyla, mesnet boyutunu minimize etmek için çoklu küresel bileşenlere sahip FPS türevleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerden biri, çift içbükey küresel yüzeyler içeren ve çoklu-FPS olarak adlandırılan sistemdir (Tsai vd., 2010).

Çift içbükey sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı sisteminin (DCFP) mesneti derinlemesine incelenmiştir. DCFP mesneti, içbükey yüzlere sahip iki çelik yüzeyden oluşur ve alt ile üst yüzeyler farklı eğrilik yarıçaplarına sahip olabilmektedir. Ayrıca, temas yüzeylerindeki sürtünme katsayısı da iki yüzey arasında değişiklik gösterebilmektedir (Fenz ve Constantinou, 2006).

Depreme dayanıklı tasarımlara odaklanan, hem süneklik hem de rijitlik özellikleri sergileyen ve DCFP mesnetleriyle donatılmış yapıların tepki faktörleri ile yerdeğiştirmelerini ele almaktadır. DCFP sisteminin merkezlenme kapasitesi, sistemin

bakımına dair endişeler ve deprem sonrası izolatörün kalan yerdeğiştirme kapasitesinin hizmet ömrü üzerindeki etkisi önem arz etmektedir (Castaldo ve Alfano, 2020).

Sürtünme katsayısını değiştirmek için üç farklı yüzey yağlama türü mevcuttur. Düşük sürtünme için yüzeye silikon bazlı yağlayıcılar uygulanırken, orta sürtünme yüzeyin yalnızca temizlenmesiyle sağlanır. Yüksek sürtünme ise yüzeyin herhangi bir yağlayıcı kullanılmadan muhafaza edilmesiyle elde edilmektedir (Ponzo vd., 2017).

FPS'nin merkezlenme kapasitesi, teorik incelemeler yoluyla iki doğrusal histeretik modeller ve tek serbestlik dereceli sistemler kullanılarak değerlendirilmiştir (Katsaras vd., 2008). İzolasyon sisteminin yenilenme kapasitesini etkileyen önemli parametre, d_{max}/d_{rm} oranıdır; burada d_{max} maksimum yerdeğiştirme, d_{rm} ise maksimum statik kalıcı yerdeğiştirmeyi ifade etmektedir. Bu oran ne kadar yüksekse, merkezlenme kapasitesinin o kadar arttığını ve d_{max}/d_{rm} oranı 0,5'in üzerinde olan sismik taban yalıtımı sistemlerinin olağanüstü bir merkezlenme kapasitesine sahip olduğunu söylemek mümkündür. Böylece, ihmal edilebilir seviyede kalıcı yerdeğiştirme meydana gelir. Düz kayar mesnetlere sahip, sıvı damper veya kauçuk mesnetler içeren sismik taban yalıtımı sistemi, d_{max}/d_{rm} oranı 0,33'ün üzerinde olduğunda yeterli merkezlenme kapasitesine sahiptir. Ayrıca, büyük deprem afetlerinde sismik taban yalıtımı sisteminin en büyük kalıcı yerdeğiştirmesinin hassas bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir (Tsopelas ve Constantinou, 1994).

Köprülerde süper plastik sürtünme izolatörlerinin optimum tasarımına yönelik olarak, doğal titreşim periyodu, akma yerdeğiştirmesi ve sürtünme katsayısı gibi kritik parametreleri belirlemek amacıyla bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir (Kim ve Yun, 2007; Ozbulut ve Hurlebaus, 2011).

Çoklu küresel sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı sistemi mesnet varyantı olarak sınıflandırılan üçlü FPS, ayarlı sismik taban yalıtımı sistemlerinin yeteneklerini arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. Tamamen pasif olmasına rağmen, TFPB (üçlü sürtünmeli sarkaç mesnet) ayarlanabilir rijitlik ve ayarlanabilir sönümleme özellikleri sergilemektedir (Fenz ve Constantinou, 2008).

Yuvarlanmalı sismik taban yalıtımı (RIS) sisteminin temel amacı, şiddetli zemin hareketleri esnasında izolatörde oluşacak yerdeğiştirme en aza indirilerek, sismik taban yalıtımı sisteminin yerdeğiştirme kapasitesini artırmaktır (Harvey ve Kelly, 2016).

RIS, yatay ivmeyi etkili bir şekilde azaltırken, düşey ivmeyi üst yapıya iletmektedir. Bu iletim, izolatörlerin tolerans sınırını aşabilir ve ciddi yapı hasarına yol açarak yatay sismik yalıtımın hedefini zayıflatabilmektedir. Bu sorunu aşmak için, altı farklı kayma yüzeyine sahip, çoklu küresel beşli sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı önerilmiştir. Bu izolatör, farklı performans hedefleri için ayrı ayrı optimizasyon yapılmasına olanak tanımaktadır. Ancak, bu izolatörün karmaşık mekanizmaları, pratik mühendislik uygulamalarını zorlaştırmakta ve geleneksel FPS'ye alternatiflerin araştırılmasına yol açmaktadır (Lee ve Constantinou, 2016).

Değişken genlikleri için farklı histeretik özellikler sergilemek üzere tasarlanmış yenilikçi bir değişken sürtünmeli sarkaç mesneti (VFPB)'nin analitik ve deneysel çalışmaları yürütülmüştür. Deneysel verilerle doğrulanan verimli bir analitik model önerilmiştir (Shang vd., 2021) .

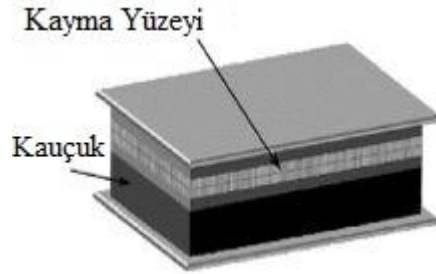
VFPB, belirli yerdeğiştirme aralıklarında öngörülebilir ve kontrol edilebilir rijitlik ve sönümleme varyasyonları sağlayarak, sistemin performansını optimize etme imkânı sunmaktadır. Son dönemde yapılan bir çalışma, gelişmekte olan ülkelerdeki düşük katlı yığma yapılar için düşük maliyetli bir sismik yalıtım sistemi önermektedir. Yığma yapılar, ekonomik avantajları, inşa kolaylığı ve basit onarımı nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, düşük depreme dayanımları, bu yapıları deprem riski yüksek bölgeler için uygun olmaktan çıkarmaktadır. Yığma yapılar için depreme dayanıklılığı artırmayı hedefleyen düşük maliyetli, sürtünme tabanlı bir sismik yalıtım sistemi tasarlanmıştır (Zhang vd., 2021).

Bu sistem, düşük yatay rijitliğe sahip 50 mm kalınlığında bir sismik yalıtım tabakasının, iki adet 4 mm kalınlığında teflon levha arasına yerleştirilmesi ve dikey donatılarla güçlendirilmesi ile oluşturulmuş ve çeşitli malzemelerle test edilmiştir. Ayrıca sismik taban yalıtımı tabakası için beş adet düşük maliyetli ve yerel olarak

erişilebilir malzeme analitik, deneysel ve sayısal analizler yoluyla değerlendirilmiştir. Önerilen malzemeler üzerinde, boşluklu beton bloklar arasında gerçekleştirilen döngüsel yükleme testleri, kauçuk katkılı harcın uygulanabilir bir seçenek olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan sayısal çalışmalar, sabit mesnetli modellerle karşılaştırıldığında sismik taban yalıtımlı modelin ivme tepkisinde yaklaşık %50 oranında bir azalma sağlandığını göstermiştir (Ali vd., 2022).

3.2.2 Electricite-de-France (EDF) Sismik Taban Yalıtımı Sistemi

EDF izolatörü, bir kurşun-bronz plaka ile çevrelenmiş neopren pedlerden oluşmaktadır. Bu plaka, yapının temel plakasına güvenli bir şekilde sabitlenmiş bir çelik plaka ile sürtünmeli temas halindedir (Jangid ve Datta, 1995). Bu sismik taban yalıtımı sisteminin inşası, özellikle güçlü yer hareketlerine maruz kalabilecek bölgelerdeki nükleer reaktörler için tasarlanmış olan "Electricité de France" tarafından belirlenen standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Gueraud vd., 1985). Şekil 3.6'da verilen bir EDF izolatörde, sürtünme plakası ve elastomerik mesnet seri olarak tasarlanmıştır.

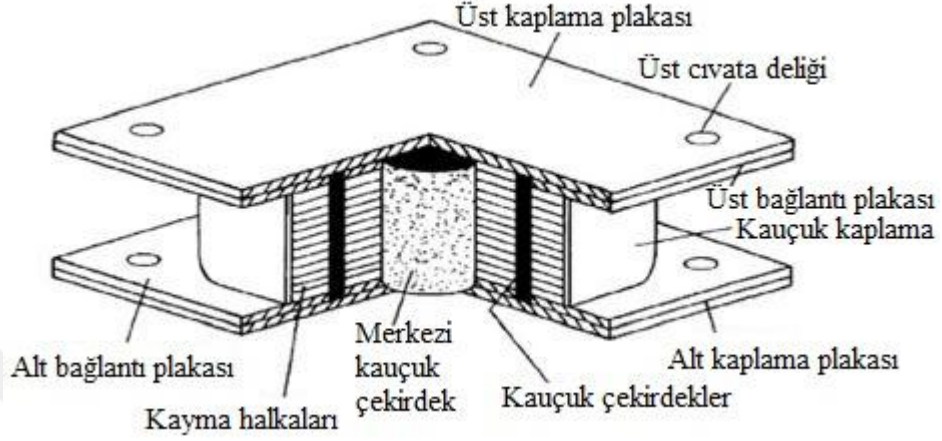


Şekil 3.6 Electricite-de-France sismik taban yalıtımı sistemi (Su vd., 1989)

3.2.3 Esnek Sürtünmeli Sismik Taban Yalıtımı (R-FBI) Sistemi

1984 yılında, merkezi bir kauçuk çekirdeği çevreleyen, düz Teflon kaplamalı plakaların eş merkezli katmanlarını içeren bu sismik taban yalıtımı sistemi tanıtılmıştır (Mostaghel ve Khodaverdian, 1987). Bu katmanlar, sürtünme yoluyla temas ederek R-FBI sisteminde enerjinin sönümlenmesinde önemli bir rol oynar (Fan vd., 1991). Şekil 3.7'de verilen bu sismik yalıtım sistemi sürtünmeye dayalı sönümlemenin yapıcı etkisini kauçuğun esnekliği ile birleştirerek düz bir kaydırıcı kullanmak suretiyle yapının temel titreşim frekansını zemin hareketlerinin frekansının ötesine

taşımaktadır. Kauçuk çekirdek, sismik taban yalıtımı yapılmış bir yapı için bir yeniden merkezlenme mekanizması olarak görev yapar. Sürtünme, sönümleme ve merkezlenme kuvvetlerinin birlikte çalışması, R-FBI sisteminin temel özellikleri olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.7 Esnek sürtünmeli sismik taban yalıtımı sistemi (Jangid ve Datta, 1995)

3.2.4 Kaymalı Esnek Sürtünmeli Sismik Taban Yalıtımı Sistemi

Enerji sönümlenmesi için sürtünmeden yararlanan sürtünme temelli sismik taban yalıtımı sistemlerinin kullanılmasını önerilmektedir. Bu pasif sistem, dış bir enerji kaynağına veya bakıma ihtiyaç duymaması sebebiyle en ekonomik ve sismik olarak güvenli seçenektir. Bu sistem, üst yapı ile temel arasında göreceli hareketi mümkün kılan kayma ara yüzleri sunmaktadır. Bunun yanı sıra hem yeni inşa edilen yapılar hem de eski yapıları güçlendirme projeleri için uygulanabilmektedir. Güncel sismik taban yalıtım sistemi araştırmaları, depreme bağlı yapısal tepkiyi azaltmak ve sönümleme kapasitesini artırmak amacıyla ekonomik ve verimli sürtünme bileşenlerine odaklanmaktadır.

Kaymalı esnek sürtünmeli (SR-F) sismik taban yalıtımı sistemi olarak adlandırılan bir sismik yalıtım sistemi tanıtılmıştır. Bu sistem, iki EDF taban izolatörünün ve R-FBI taban yalıtım sisteminin özelliklerini birleştirmektedir. Çeşitli deprem yükleri altında ivmeler ve yerdeğiştirmeler incelenmiştir. Bu sistem, bina deprem salınımlarını ve tepe noktası ivmesini önemli yerdeğiştirmelere neden olmadan azaltmada son derece verimli olduğu ifade edilmiştir. İzolatör, enerji sönümleme ve yatay esneklik açısından

EDF ve R-FBI sistemlerinde bulunan yeteneklerle benzer özellikler sergilemektedir. SR-F sismik taban yalıtımı sisteminde, teflon kaplamalı plakaların eş merkezli katmanları, lamine kauçuk mesnet veya kauçuk çekirdek üzerine yerleştirilmiştir. El Centro depremi, Pacoima Barajı depremi ve Mexico City depremi kullanılarak SR-F sismik taban yalıtımı sistemi diğer sismik taban yalıtımı sistemleriyle karşılaştırılmıştır (Su vd., 1991).

3.2.5 Elastomerik Mesnetler

Elastomerik izolatörler, enine yerdeğiştirmeyi sınırlandırmak amacıyla çelik veya liflerden yapılmış takviyelerle vulkanize edilmiş kauçuk levhalar kullanılarak yapılmaktadır. Bu izolatörler, düşük sönümlü elastomerler, yüksek sönümlü elastomerler ve kurşun çekirdekli mesnetler (LRB) olarak ayrılmaktadır. Elastomerik mesnetler, yükleme plakası, sabitleme plakası, kauçuk tabakaları ve çelik levha dönüşümlü katmanlarından oluşmaktadır. LRB ise, yükleme plakası, sabitleme plakası, kauçuk ve çelik tabakaların yanı sıra, merkeze yerleştirilmiş bir kurşun çekirdek içermektedir (Weisman ve Warn, 2012).

Kritik sönümlenme oranı en yüksek, LRB için %3, HDRB (Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet) için %20 ve LDRB (Düşük Sönümlü Kauçuk Mesnet) için %35 oranında olmaktadır. Kauçuk, taban izolatörlerinde sistemin davranışını yatay yükler altında önemli ölçüde etkilemektedir. Kauçuğun kesme modülü genellikle 0,4-1,0 MPa arasında değişmektedir (Carsalade vd., 2020).

Yerdeğiştirmeleri kontrol etmek amacıyla, doğal kauçuk mesnetlerle birlikte genellikle esnek çelik elemanlar, plakalar veya sönümleyiciler gibi harici sismik yalıtım sistemleri kullanılmaktadır. Yüksek sönümlü kauçuk mesnetler, üretim sürecinde karbon siyahı ve diğer dolgu maddelerinin eklenmesiyle elde edilmektedir (Naeim ve Kelly, 1999).

Yaygın olarak kullanılan LRB (Kurşun Çekirdekli Mesnet) sismik taban yalıtımı sisteminin dinamik tepkisinin analizi incelenmiştir (Kelly ve Marsico, 2013). Sismik yalıtım sistemindeki, yapı davranışını etkileyen parametreler ayrıntılı bir şekilde

incelenerek yatay yöndeki yerdeşiftirmelerin en küçük olduğu durumlarda, mesnette kurşun çekirdeğin zorunlu olmadığı belirtilmiştir (Ounis ve Ounis, 2013).

Ayrıca, sismik yer hareketi altında LRB'de meydana gelebilecek mukavemet kaybını tahmin etmek için sayısal ve deneysel bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Önerilen model, sıcaklığın kurşun çekirdek üzerindeki anlık etkisini ve bunun LRB'nin mukavemeti üzerindeki ani etkisini tahmin etmekte yeterli olduğu ifade edilmiştir (Kalpakidis ve Constantinou, 2010).

Duyarlılık analizi, kare şeklindeki kurşun kauçuk mesnetler üzerinde gerçekleştirilmiş ve bu mesnetlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Sonuçlar, kurşun çekirdek yarıçapının izolatörlerin üzerinde en önemli etkiye sahipken kauçuk malzeme miktarının ise en az etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Ahmadipour ve Alam, 2017).

Lamine kauçuk izolatörlerin yatay kesme kuvvetlerine maruz kaldığında düşey rijitliğindeki azalması incelenmiştir. Düşey rijitlik ile yatay deformasyonun eylemsizlik yarıçapına oranı arasındaki ilişkinin, kesit şekli, yükleme yönü ve izolatör boyutu gibi faktörlerden etkilenmediğini ortaya koyulmuştur (Yang vd., 2017).

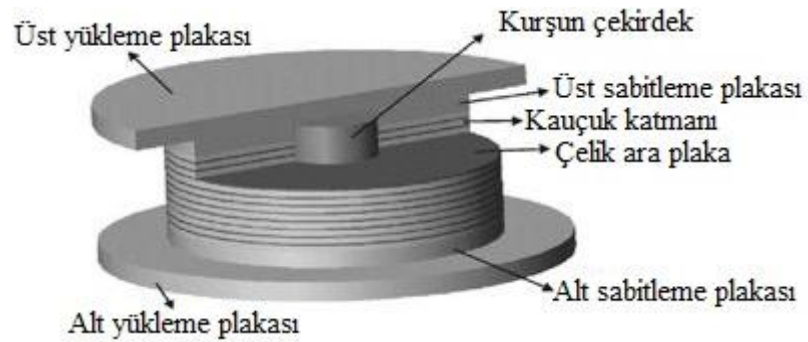
LRB ile sismik taban yalıtımının etkilerini anlamak amacıyla zemin kat üzerinde 7 katlı simetrik bir konut binasının deprem performansı kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Salic vd., 2008). El Centro depremine maruz kaldığında, zaman periyodu 0,46 saniyeden 2,38 saniyeye uzamış, taban kesme kuvveti x yönünde 4,6 kat, y yönünde ise 3,5 kat artırarak sismik taban yalıtımı sisteminin geleneksel binalara kıyasla etkinliğini doğrulanmıştır. Nükleer santraller için özel olarak kurşun çekirdekli mesnet tasarlanmıştır. Hem elastomerik mesnet hem de kurşun kauçuk mesnet için kritik yük kapasitesini tahmin edilmiştir (Lee vd., 2011).

Döngüsel yükleme altında kurşun çekirdeğin sıcaklık artışı yapıların üst yapı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, 20 katlı bir betonarme yapı ve 3 katlı bir çelik yapı, izolatör özelliklerinin üst yapı tepkisi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla deprem testlerine tabi tutulmuştur. Bulgular, üst yapı tepkisi için güvenli bir

sınır oluşturulmasında kullanılan sınır analizlerinin etkinliğinin, sismik taban yalıtımı mesnetlerinin özelliklerine bağlı olduğunu göstermiştir (Arguc vd., 2017).

Şekil 3.8’de verilen LRB’nin analitik modellemesi için sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır (Doudoumis vd., 2005). Kurşun kauçuk mesnetlerin doğrusal ve doğrusal olmayan tepkileri, SAP2000, OpenSees ve 3D-BASIS gibi yapısal analiz programları kullanılarak incelenmiştir (Kanbir vd., 2018). Kocaeli ve Chi-Chi depremleri altındaki zaman tanım alanında analizlerinden elde edilen tepe noktası kat ivmelenmesi ve taban yerdeğiştirme davranışları karşılaştırılmıştır. OpenSees’de yapılan doğrusal olmayan analizler, yalnızca LRB’lerin sıcaklığa bağlı davranışını modelleyerek, özellikle deprem yoğunluğuna bağlı olarak yapısal tepkide önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. (Lu vd., 2007).

Ayrıca, kauçuk mesnetler için bina ön tasarım modelleri üzerinde sarsma tablası testlerinde birçok test gerçekleştirmiştir. Manyetorheolojik sönümleyici ve elastomerik kauçuk mesnet içeren bir sismik taban yalıtımı sistemi üzerinde sayısal modelleme ve sarsma tablası testleri yapılmıştır. Tek adımlı bir algoritma ve kurşun kauçuk mesnetler kullanarak bu modeli deneysel olarak bir sarsma tablası testinde doğrulamışlardır (Fu vd., 2017).



Şekil 3.8 Kurşun kauçuk mesnet (Doudoumis vd., 2005)

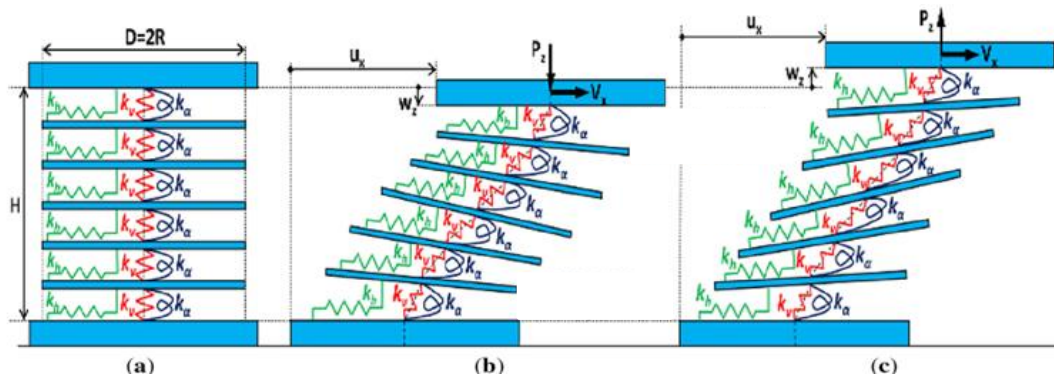
Elastomerik Polimer Mesnet (EPB) prototipi, merkezi delikte pimli çelik çekirdek bulunan elastomerik polimer kompozitten oluşan silindirik bir tasarıma sahiptir. Dikey kuvvetler çelik çekirdek tarafından desteklenirken, kesme kuvvetleri elastomerik polimer kompozit tarafından karşılanmaktadır (Suhara vd., 2002).

Çok katlı binalarda sismik taban yalıtımı sisteminin tepkisini derinlemesine incelenmiştir. HDRB'nin, taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirme açısından LRB'den daha iyi olduğu ifade edilmiştir (Islam vd., 2011).

İki mikro model geliştirilmiş ve kurşun çekirdeğin sınırlanmasının mesnet davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, önce düşey statik yükleme, ardından yatay döngüsel yükleme altında test edilmiştir. Analiz, mesnet içerisindeki gerilme, plastik bölge dağılımının incelenmesini ve yanal kuvvet yerdeğiştirme eğrilerinin önerilen eğriyle karşılaştırılmasını içermektedir (Neethu ve Das, 2019).

Köprülerdeki zemin-yapı etkileşiminin tepkisini, güçlü yer hareketlerinin etkilerini karşılamak amacıyla elastomerik mesnetler ekleyerek derinlemesine incelenmiştir (Neethu ve Das, 2019). Lamine kauçuk mesnetlerin deformasyonunu belirlemek için bir model geliştirilmiştir. Bu modelin yapısı, Koh-Kelly modelini yansıtmakta olup, denklemin doğrusal olmayan yayları ve sonlu deformasyonu içerecek şekilde genişletilmesini kapsamaktadır (Iizuka, 2000).

Kauçuk malzeme için gerinim enerjisi fonksiyonunun katsayılarının tepkisini karşılaştırmışlardır. Döngüsel yükleme altında, sayısal modelleme ile kuvvet yerdeğiştirme eğrisi bulunmuştur (Saedniya ve Talaeitaba, 2019).

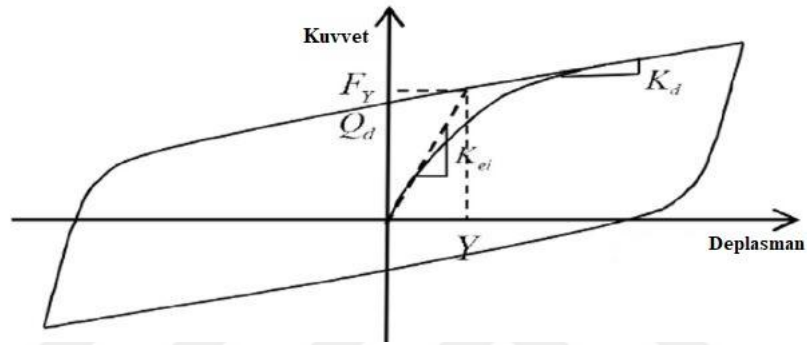


Şekil 3.9 Çoklu yay izolasyon modelinin şematik gösterimi (Maureira vd., 2017)

Şekil 3.9'a göre (a) deforme olmamış, (b) basınç altında deforme olmuş ve (c) kesme ve çekme altında deforme olmuş durumu göstermektedir. (Maureira vd., 2017)

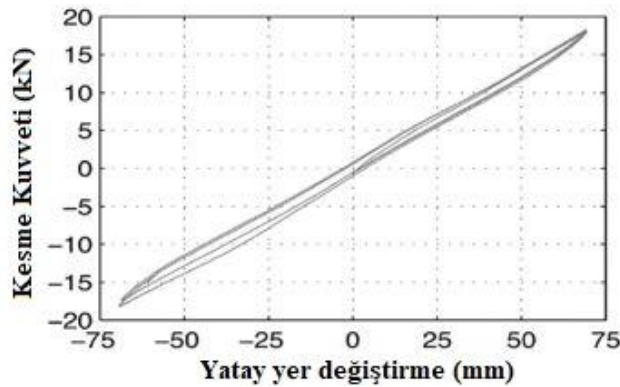
El Centro, Northridge ve Kobe gibi farklı güçlü deprem hareketleri altında LRB ve lamine kauçuk mesnetlerin davranışını incelenmiştir. Bu analizleri ABAQUS yazılımında üç boyutlu olarak gerçekleştirmişlerdir (Karimi ve Kordachi, 2020).

Elastomerik mesnetlerin doğrusal olmayan mekanik performansını tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Modelin şematik diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Model, kauçuğun doğrusal olmayan davranışını kullanmak amacıyla, kauçuğun inelastikliği ve sertleşmesini dikkate almaktadır (Maureira vd., 2017).

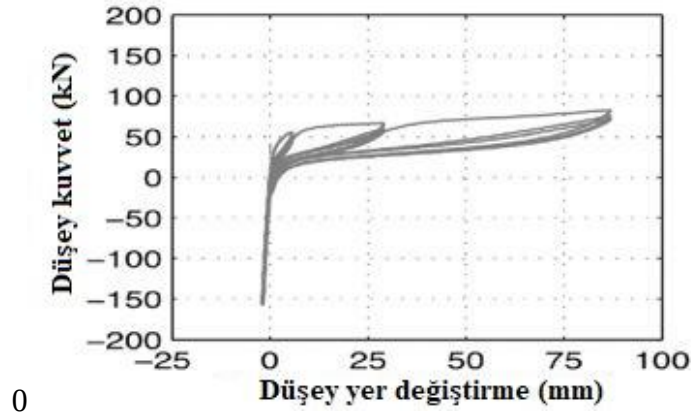


Şekil 3.10 LRB için kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi (Kumar ve Whittaker, 2013)

Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12, sırasıyla LRB için düşey ve yatay yerdeğiştirmeleri, kuvvet-yerdeğiştirme eğrisini, kesme kuvveti-yatay yerdeğiştirme ve düşey kuvvet-düşey deformasyon eğrilerini göstermektedir. Düşey kuvvet ve deformasyon eğrisi rijitlik kaybından kaynaklanan çekme kuvveti altında doğrusal olmayan bir davranış sergilemektedir. Matematiksel model, elastomerik mesnetlerin tepkisini hesaplamak amacıyla OpenSees yazılımında kullanılmıştır (Kumar ve Whittaker, 2013).

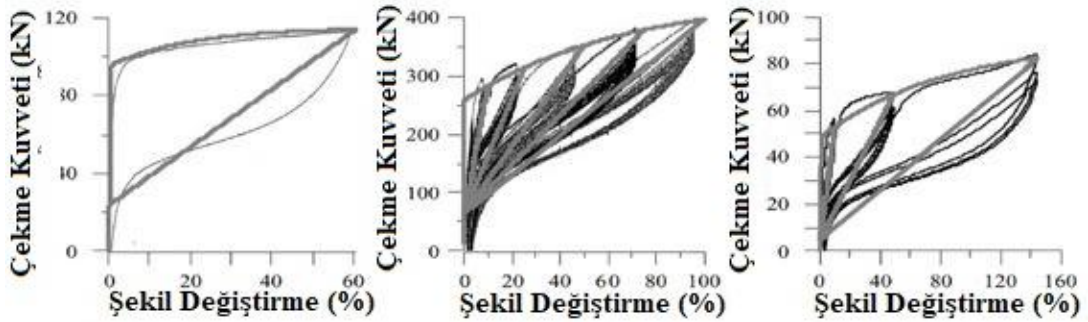


Şekil 3.11 Yanal yerdeğiştirme ve kesme kuvveti ilişkisi (Warn ve Ryan, 2012)



Şekil 3.12 Düşey deformasyon ve düşey kuvvet ilişkisi (Warn ve Ryan, 2012)

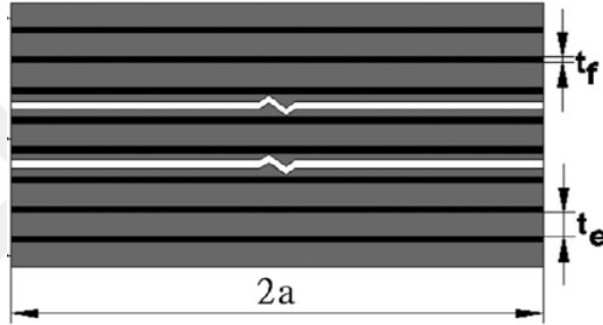
İlgili çalışmada, mesnetin üç boyutlu geometri modellemesini, 2 düğümlü ve 12 serbestlik dereceli ayrık elemanlar kullanarak gerçekleştirmiştir. Önerilen matematiksel modelin döngüsel çekme yüklemesi altındaki mesnet tepkisini simüle etme yeteneğini değerlendirmek amacıyla, deneysel veriler kullanılarak üç analiz yapılmıştır ve Şekil 3.13’de gösterilmiştir (Kumar ve Whittaker, 2013).



Şekil 3.13 Deneysel tepkinin matematiksel modelle karşılaştırılması (Kumar ve Whittaker, 2013)

LRB izolatörünün avantajı, sistemde yüksek ivmelere yol açabilecek yüksek başlangıç sürtünmesinden kaçınmasıdır. Ayrıca, yüksek hızlarda değişken sürtünme katsayısı sorununu ortadan kaldırarak, kabul edilen histeretik davranışın gerçek davranışla yakından uyumlu olmasını sağlamaktadır. Buna ek olarak, kurşun çekirdek, küçük genlikli depremler veya rüzgâr olayları sırasında sisteme süneklik kazandırmaktadır. Nadir görülen güçlü yer hareketlerine maruz kalan sismik taban yalıtımı sistemlerinde karşılaşılan sorunlar arasında, elastomerik mesnetlerde burkulma veya kesme hasarı ve FPS sistemlerinde yerdeğiştirme kapasitesinin yorulması bulunmaktadır (Patel vd., 2024).

İlgili çalışma, fiber takviyeli elastomerik mesnetlerin (FREB) sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ve deneysel bulgularla analizini içermektedir. Yapıştırılmamış FREB'lerin yatay rijitliği, yapıştırılmış FREB'lere göre daha düşük bulunmuş ve sismik taban yalıtımı açısından daha etkin olduğu gözlemlenmiştir. 45° yükleme açısında başlangıç rijitliği, 0° yükleme açısına göre daha yüksek ölçülmüştür. Yapıştırılmamış FREB'lerde daha düşük çekme ve soyulma gerilmeleri olduğu tespit edilmiş, FEM ve deneysel bulgular arasında güçlü bir uyum sağlanmıştır. Şekil 3.14'de gösterilen FREB'ler hafif ve ekonomik tasarımı sayesinde, düşük maliyetli konutların sismik taban yalıtımı için uygun bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Das vd., 2015).



Şekil 3.14 Fiber takviyeli elastomerik izolatör (Das vd., 2015)

3.2.6 Kayar Sismik Taban Yalıtımı Sistemleri

Kayma katmanları tekniği, ilk olarak 1970'lerde yığma binalar için kum katmanı içerecek şekilde tanıtılmıştır. Kayar sismik taban yalıtımı sisteminin tek eksenli ve iki eksenli tepkisi incelenmiştir (Crandall vd., 1974). Kayar sismik taban yalıtımına sahip binanın tepkisi, kayma mekanizmasının güçlü yer hareketlerini karşılama konusunda etkili olduğu belirlenmiştir (Calvi ve Calvi, 2018; Calvi vd., 2016; Calvi ve Ruggiero, 2016). Sürtünme kuvveti yapının kütlesiyle orantılı olduğundan, kayma desteğinin kütle merkezi ile direnç merkezi çakışmakta ve bu sayede asimetrik yapılardan kaynaklanan burulma etkileri azaltılmaktadır (Sachdeva vd., 2018). Kayar mesnetli sismik taban yalıtımı sisteminin dinamik kontrol tepkisini deneysel olarak değerlendirmiştir (Kumar vd., 2015). Kayar sismik taban yalıtımı sistemleri yüzeyindeki sıcaklık ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki incelenmiştir (Quaglini vd., 2014).

Tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnetlerine sahip köprü açıklık modeli için kayar sismik taban yalıtımı sisteminin deneysel ve sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Testlerde ve analizlerde dikey hareket etkileri de dâhil edilmiş ve üç farklı sürtünme katsayısı ile iki tür eksenel yük kullanılmıştır (Tsopelas vd., 1996). Özel bir akıllı kayar sismik taban yalıtımı sistemi önerilmiştir. Çelik-PTFE düz kayar mesnetleri ve süper elastik şekil hafızalı alaşımdan oluşan bu sistem, sarsma tablası analizinde kullanılmıştır. Sayısal analizlerle elde edilen doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinin sonuçları, sarsma tablası test sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur. Sonuç olarak, akıllı kayar sismik taban yalıtımı sisteminin, FPS ve HDRB gibi yaygın olarak kullanılan izolatörlere kıyasla üstün performans sergilediği görülmüştür (Cardone vd., 2011).

3.3 Ölçeklendirme ve Modelleme

Ölçeklendirme, ön tasarım yapıların gerçekçi bir şekilde anlaşılabilmesi için kritik öneme sahiptir. Bu yöntem, ekonomik ve pratik olması sebebiyle karmaşık yapıların dinamik davranışlarını incelemek için etkili bir yol sunmaktadır. Ön tasarım yapıların performanslarını değerlendirmek amacıyla, kurşun kauçuk mesnetlerle donatılmış binaların modelleri için sarsma tablası testleri yapılmıştır (Hwang ve Hsu, 2000; Kelly, 1986).

Sarsma tablası deneyleri, bina yüksekliği boyunca sismik kuvvet dağılımı, hasar desenleri ve hasar mekanizmaları yoluyla tam sismik kapasitenin değerlendirilmesi, binalardaki en zayıf noktaların tespiti ve yapısal sistem için yeni sismik modellerin doğrulanmasında önemli bilgiler sağlamaktadır. Sismik taban yalıtımı modeli sarsma tablalarında test edilmek üzere ölçeklendirilmektedir (Sato vd., 2002). Önceki deneyler, ölçekli mesnetler ile gerçek mesnetler arasındaki tepki farkını dayanım açısından önemli ölçüde ortaya koymuştur. Bu farklılık, kurşun çekirdeğin ısınmasına bağlanmaktadır. Daha büyük mesnetler, tekrarlanan yatay döngüsel hareketler sırasında kurşun çekirdeğin ısınmasına karşı daha büyük bir hassasiyet gösterir, bu da dayanım ardından gelen bir deformasyona yol açmaktadır (Constantinou, 2007). Kurşun çekirdekteki ısı üretimini ve ardından gelen dayanım azalmasını tahmin etmek için matematiksel ifadeler ve denklemler de geliştirilmiştir (Kalpakidis, 2008).

Benzer sonuçlar, sürtünme kaynaklı ısınmaya bağlı olarak kayma mesnetlerinde de gözlemlenmiştir. Ölçekli mesnet, hem üst yapı hem de sismik taban yalıtımı sistemleri için dinamik benzerlik ilkesi kullanılarak modellenmiştir (Constantinou, 2007).

Döngüsel hareketin artmasıyla birlikte kurşun çekirdekte meydana gelen akma dayanımı azalması ve enerji sönümlemesi teorik olarak ifade edilmiştir. Teorinin öngörülere, deneysel doğrulama yoluyla test edilmiştir. ABAQUS yazılımında, ısı transfer tepkisini analiz etmek için bir sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir (Kalpakidis ve Constantinou, 2009).

Kurşun kauçuk mesnetin ölçeklendirilmesi numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tekrarlanan döngüsel hareket nedeniyle kurşun çekirdekte meydana gelen sıcaklık artışını dikkate alan bir model önerilmiştir. Bu model denklem 3.4 ile açıklanmaktadır (Ounis ve Ounis, 2013).

$$\frac{dT_L}{dt} = \frac{\sigma_{YL0} \exp(-E_2 T_L) \cdot v(t)}{\rho_L c_L h_L} - \frac{k_S T_L}{a \cdot \rho_L c_L h_L} \left(\frac{1}{F} + 1.274 \cdot \left(\frac{t_s}{a} \right) \cdot (\bar{t})^{-\frac{1}{3}} \right) \quad (3.4)$$

$$F = \begin{cases} 2 \cdot \left(\frac{\bar{t}}{\pi} \right) \frac{1}{2} - \frac{\bar{t}}{\pi} \cdot \left[2 - \left(\frac{\bar{t}}{4} \right) - \left(\frac{\bar{t}}{\pi} \right)^2 - \frac{15}{4} \left(\frac{\bar{t}}{\pi} \right)^3 \right], & \bar{t} < 0.6 \\ \frac{8}{3\pi} - \frac{15}{2(\pi \cdot \bar{t})^{\frac{1}{2}}} \cdot \left[1 - \frac{1}{3 \cdot (4\bar{t})} + \frac{1}{6 \cdot (4\bar{t})^2} - \frac{1}{12 \cdot (4\bar{t})^3} \right], & \bar{t} \geq 0.6 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\bar{t} = \frac{\alpha_S t}{a^2} \quad (3.6)$$

Denklem 3.5 kurşunun etkin akma gerilimini sıcaklığıyla ilişkilendirmiştir ve kurşun test örneklerinden deneysel olarak türetilmiştir (Kalpakidis, 2008).

Denklem 3.6, mesnetin üst kısmının alt kısmına göre anlık sonuç hızının mutlak değeri giriş olarak alınan sıradan bir diferansiyel denklemdir. Çelik plakalar ve çelik şimler içindeki ısı iletimi göz ardı edildiğinde, denklem kesin olarak çözülebilmektedir. Bu analiz, köprülere monte edilmiş LRB'lerdeki kurşun çekirdek üzerinde ısınma etkisini incelemektedir. Dinamik doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinde, mesnet

prototipinin ölçeklendirilmiş boyutuyla uyum sağlamak için sismik uyarımın ölçeklendirilmesi önemlidir (Ozdemir vd., 2011).

Japonya'da, gerçek deprem hasarını değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir sarsma tablası testi gerçekleştirilmiştir. Daha önce, kayar sismik taban yalıtımı sistemi kullanılarak tek katlı bir sarsma tablası deneyi yapılmıştır (Tsai vd., 2003). Kayar elastomerik mesnetler eklenmiş çok katlı bina modellerinin sarsma tablası deneyleri gerçekleştirilmiştir (Chalhoub ve Kelly, 1990). FPS mesnetleri kullanılarak ayrıca test edilmiştir (A. Mokha, 1990). Sarsma tablasını kullanarak tam ölçekli beş katlı bir betonarme bina üzerinde deneyler yapılmıştır. Beş katlı çelik çerçeve yapıya yerleştirilmiş lamine kauçuk mesnetler ile yapılan sarsma tablası analiziyle, sayısal sonuçların doğrulanması için yapısal tepki ve dinamik etkileşimler incelenmiştir (Astroza vd., 2013).

2007 yılında Çin'de, 30 katlı bir yüksek yapı modellemesi yapılmıştır (Lu vd., 2007). Laboratuvar deneyinde ölçeklendirilmiş bir bina yapısında uyarlanabilir sismik taban yalıtımı sisteminin uygulanmasını incelemiştir (Brewick vd., 2020). Beyaz gürültü uyarımı altında, zemin ivmeleri ile dinamik özellikler, otoresif dışsal terimli yöntem ve frekans tepki fonksiyonu eğri uydurma yöntemi kullanılarak frekans tepkisi ile elde edilmiştir (Ji vd., 2011). Deney, tam ölçekli bir sarsma tablası testi yoluyla, yüksek katlı çelik yapılar üzerinde gerçek zemin koşulları altında oluşabilecek hasarları değerlendirmeyi amaçlamıştır. Sismik taban yalıtımı sisteminin üç boyutlu sarsma tablası testi gerçekleştirilmiştir (Tagliafierro vd., 2021). Beş katlı bir çelik çerçeve yapı, sarsma testlerine tabi tutulmuştur. Yapı, yapısal olmayan elemanları da içerecek şekilde, üçlü sürtünme sarkacı izolatörleri (TFPS) ile ve izolatörsüz olarak sarsma testlerine tabi tutulmuştur. İzole bir yapı üzerinde yapılan mevcut sarsma tablası deneyi, kurşun kauçuk mesnetlerin performansı ve üst yapının gerçek tepkisi hakkında, taban kesme kuvveti, kat ivmeleri, maksimum kat deplasmanı gibi faktörler dikkate alınmıştır. (Dao vd., 2011). Kayar implant-manyetik mesnetler ve hidromanyetik mesnetler, Taipei'deki bir ofis binasında sarsma tablası testine tabi tutulmuştur. Kullanılan yapı modeli, altı katlı ve iki açıklıklı moment dirençli çerçeve yapısının dörtte bir uzunluğunda ölçeklendirilmiş halidir. (Tagliafierro vd., 2021).

3.3.1 Sayısal Simülasyon ve Teknikler

Yapıların tepkilerini incelemek amacıyla ABAQUS, SAP2000, LS-DYNA, OpenSees, MATLAB gibi yazılımlar kullanılmamaktadır (Lu vd., 2007). HDRB, LDRB ve LCRB gibi üç pasif taban izolatörünün karşılaştırmalı bir çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için MATLAB programında sekiz katlı bir yapı analiz edilmiştir (Khan vd., 2019).

Sismik taban yalıtımı cihazları, küçük yatay yükler için yüksek rijitlik ve enerji sönmüleme yetenekleriyle doğrusal olmayan hareket sergilemektedir. Taban izole edilmiş binalarda, dinamik ve doğrusal olmayan davranışlar, izolatör mesnetlerinde yoğunlaşmaktadır. (Barbat vd., 1995)

Tasarımlarda sismik yalıtım sistemleri ve elastik üst yapılar öncelikli olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde, rijit üst yapı davranışını analiz etmek için yaygın olarak kullanılan yöntemler, doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz ve doğrusal olmayan statik analiz yöntemleridir (Ferraioli ve Mandara, 2016).

Sayısal yöntemler, sismik taban yalıtımı ile donatılmış yapıların analizinde önemli bir rol oynamaktadır. Sismik performans değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında artımlı dinamik analiz ve çok katmanlı dinamik analiz bulunmaktadır. Farklı maksimum yer ivmesi değerlerine ölçeklendirilmiş kayıtları analiz ederek yapıların çeşitli performans seviyeleri değerlendirilmiştir (Vamvatsikos ve Cornell, 2002).

3.4 Sismik Taban Yalıtımı Sistemlerinde Optimizasyon Yöntemleri

Sismik taban yalıtımı cihazının optimize edilmesi, yapıların üst yapısının deprem tepkisini önemli ölçüde iyileştirebilmektedir. Optimizasyon amacı, kat ivmesi tepkilerini en aza indirmek ve yerdeğiştirmeleri sınırlandırarak en uygun ve ekonomik çözümü elde etmektir.

Sismik taban yalıtımı cihazlarının optimizasyonunu incelemek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Sürü zekâsı algoritma yöntemi, üst yapının tepkisini optimize etmek

ve karşılaştırmak amacıyla tek sürtünmeli sarkaç ve üçlü sürtünmeli sarkaç kurulumuyla iki tip izolatör kullanılmıştır. Çelik tanklar için izolatörlerin sürtünme katsayısı ile eğrilik yarıçapını optimize ederek taban ivmelerini azaltma hedeflenmiştir. Özellikle ince uzun tanklarda, taban ivmelerinde önemli azalmalar gözlemlenmiştir (Tsipianitis ve Tsompanakis, 2021).

Harmoni Arama Algoritması (HSA) diğer algoritmalarla benzer tasarım faktörlerine sahip bir meta-sezgisel optimizasyon yöntemidir. Bu faktörler, doğal davranışlardan esinlenmiştir (Geem, 2008). Bu çalışmada, sismik taban yalıtımı sistemi parametrelerinin HSA yöntemiyle optimize edilmesi önerilmiştir. MATLAB programı kullanılarak geliştirilen HSA tabanlı optimizasyon programı, yakın ve uzak saha depremleri altında sismik taban yalıtımı sisteminin ivme tepkisini azaltırken, yerdeğiştirme sınırlarını aşmayacak parametreler belirlenmiştir. Farklı sönüm oranları ve yerdeğiştirme sınırlamalarını içeren durumları analiz ederek, HSA'nın tanımlı tasarım kısıtları altında optimum parametreleri başarıyla belirleyebildiğini göstermiştir. Optimum parametreler, yalnızca kullanılan depremler için değil, farklı deprem koşulları altında da etkili bulunmuştur (Nigdeli vd., 2014).

Yakın saha deprem hareketlerine maruz kalan izole edilmiş yapılar için üçlü sürtünmeli sarkaç (TFPB) mesnetlerin tasarım değişkenlerini optimize etmek amacıyla bir yöntem önermektedir. TFPB'nin mekanik davranışı modellenmiş, MATLAB ile zaman tanım alanında analiz yapılmış ve sonuçlar doğrulanmıştır. Sonuçlar, eğrilik yarıçapı gibi değişkenlerin yapı tepkileri üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu amaçla optimum sürtünme Genetik Algoritma (GA) optimizasyonu ile TFPB için yakın saha deprem yükleri altında kullanılmıştır (Moeindarbari ve Taghikhany, 2014).

GA, doğal evrimden ilham alan bir optimizasyon aracıdır. Diferansiyel Evrim Algoritması ve Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO) yöntemleri sismik taban yalıtımı sisteminin parametrik çalışmasında uygulanmıştır (Quaranta vd., 2014).

Tek katlı bir sismik taban yalıtımı sahip binanın optimum tasarımı ve çok katlı binalar için incelenmiştir. İzolatörleri düşey olarak dağıtarak yapının maksimum kat ivmesi tepkisini minimize edilmiştir (Charnpis vd., 2012).

Kayma çerçevesine sahip bir sismik taban yalıtımı sisteminin optimum tasarımı için meta-sezgisel arama yöntemi, yerdeğiştirme sınırlarını aşmadan minimum kat ivmesi hedeflenmiştir. Bu süreçte Gri Kurt Optimizasyonu (GWO), Karga Arama Algoritması (CSA) ve Balina Optimizasyonu Algoritması (WOA) kullanılmıştır. GWO, yapısal optimizasyonda uygulanmıştır, ancak WOA ve CSA'nın kullanımı sınırlıdır (Çerçevik vd., 2020).

GWO, gri kurtların avlanma ve hiyerarşik sosyal düzeninden esinlenen bir optimizasyon algoritmasıdır. Kurt sürüsündeki liderler alfa olarak adlandırılır ve karar verme sürecini yönetmektedir. Beta kurtlar liderlere yardımcı olurken, omega kurtlar en düşük seviyede yer almaktadır. Diğer kurtlar ise delta olarak sınıflandırılır. Bu yapı, algoritmanın çözüm arama sürecini ifade etmektedir (Mirjalili vd., 2014).

CSA, kargaların doğadaki zeki davranışlarından esinlenerek geliştirilen bir optimizasyon algoritmasıdır. Algoritma, kargaların daha iyi yiyecek kaynakları bulmak için birbirlerini takip etme, yiyeceklerini saklama ve diğer kargaları kandırma davranışlarını temel almaktadır. Kargaların çevresi arama alanını, saklanan yiyecek yerleri olası çözümleri, yiyeceğin kalitesi hedef fonksiyonunu ve en iyi yiyecek ise en iyi çözümü temsil etmektedir (Askarzadeh, 2016).

WOA, kambur balinaların avlanma sırasında kullandığı hava kabarcığı davranışından esinlenen bir optimizasyon yöntemidir. Balinalar avlarını rastgele aramaktadır ve hedeflerine göre konumlarını güncelleyerek avın etrafında daireler çizerek avı yakalamaktadır. Algoritma, bu davranışı matematiksel bir modele dönüştürerek ifade edilmiştir (Mirjalili ve Lewis, 2016).

Bulanık Diferansiyel Evrim ile Destek Sanal Mutant (FDEVIM) yöntemi kullanılmıştır. FDEVIM, sismik taban yalıtımı sistemlerinde dinamik parametreler için optimum değerleri etkili bir şekilde belirleyen, kendi kendine uyarlanabilen ve parametresi olamayan bir algoritmadır. Bu yöntem, algoritmanın arama davranışını

bulanık bir karar verme mekanizması kullanarak dinamik olarak ayarlamakta ve hem kendi kendine uyarlanabilir hem de parametresiz bir yaklaşım olarak hizmet etmektedir. Sonuçlar, sismik taban yalıtımı sistemlerinde sismik parametrelerin ayarlanması için uygulanabilir bir aralık sunar ve FDEVİM optimizasyon yönteminin yapısal dinamik analizdeki etkinliğini göstermektedir (Kandemir ve Mortazavi, 2022).

3.5 Sismik Taban Yalıtımı Sisteminin Uygulamaları

3.5.1 Tarihi Binaların Güçlendirilmesi ve Onarılması

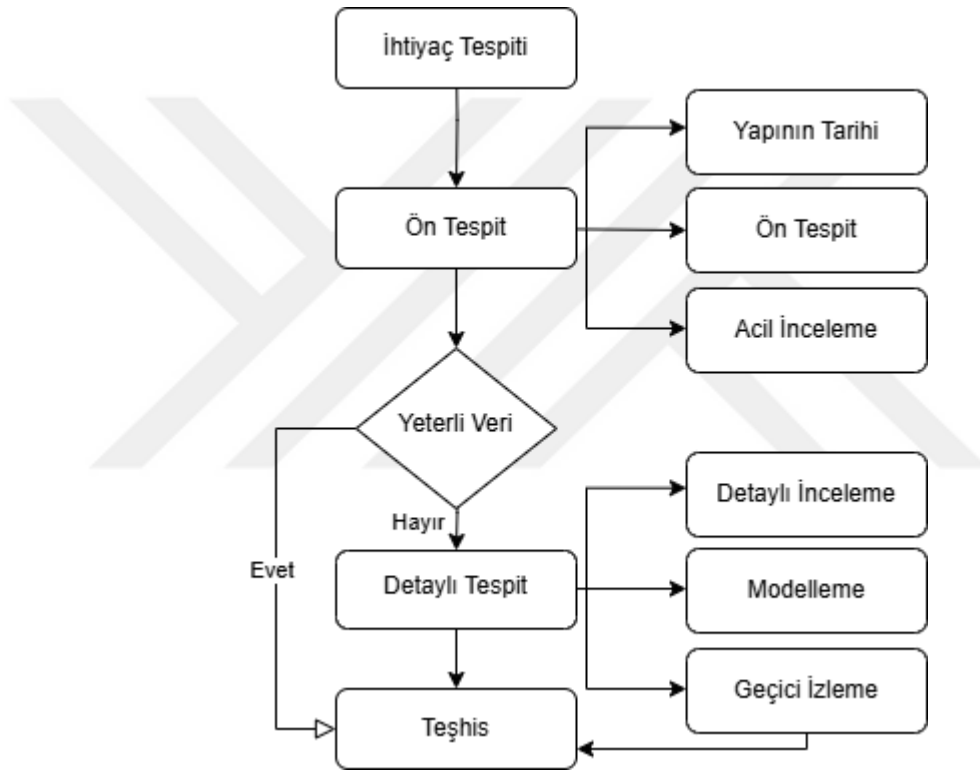
Sismik taban yalıtımı sistemi, mevcut tarihi binaların güçlendirilmesi ve onarılmasında yaygın olarak kullanılmakta olup, bu yapıların kültürel değerlerini korumayı amaçlamaktadır. Beton gömlek, çelik kaplama, betonarme perde duvarlar ve çelik çaprazlar gibi geleneksel güçlendirme yöntemleri güçlü yer hareketlerine karşı etkili bir yanıt vermemektedir. Modern yöntemler, enerji sönümleme, karbon fiber takviyeli polimerler (CFRP) ve sismik taban yalıtımı gibi teknikler, deprem etkilerine karşı daha iyi yanıt vermektedir. Karbon fiber takviyeli polimer (CFRP), sismik taban yalıtımı tekniği ile birlikte depreme dayanıklı güçlendirmede kullanılmaktadır. (Mazza ve Pucci, 2016).

CFRP ve sismik taban yalıtımının birleşimi güçlendirilmede kullanılarak, üst yapının sismik tepkisini önemli ölçüde azaltmaktadır. Elastomerik ve kayma mesnetleri, binalar, köprüler, tanklar ve önemli tarihi yapılar gibi çeşitli yapıların güçlendirilmesinde etkili olduğunu kanıtlamıştır (Matsagar ve Jangid, 2008).

Mevcut yapıların orijinalliğini korurken, dinamik tepkileri önemli ölçüde azaltmayı hedefleyen yeni bir sismik güçlendirme yöntemi önerilmiştir. Elastik kayma mesnetleri, lamine kauçuk mesnetler, viskoz sönümleyiciler ve krikon reaksiyon eklemlerinden oluşan birleşik bir sismik yalıtım sistemi ile tarihi yapıların güçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Olumsuz zemin koşullarına sahip tarihi yapılarda dinamik tepkileri azaltarak sismik performansı artırmaktadır (Zhang vd., 2021).

Sismik yalıtım sistemi ve ankastre mesnetli olarak güçlendirilmiş dolgu duvarların doğrusal olmayan deprem davranışlarının değerlendirilmesi, faya yakın deprem hareketi verilerine dayanmaktadır (Mokha vd., 1996).

Yüksek riskli deprem bölgesinde yer alan yapıların performansı ilgili çalışmada analiz edilmiştir. Altı katlı bir yapının dolgu duvarlarını, çerçevelerin köşelerine dağıtılmış yapısal olmayan bileşenler olarak kabul edilmiştir. Sismik taban yalıtımı ile tarihi binaları güçlendirme prosedürü, Şekil 3.15'de gösterilmektedir (Santos vd., 2010).



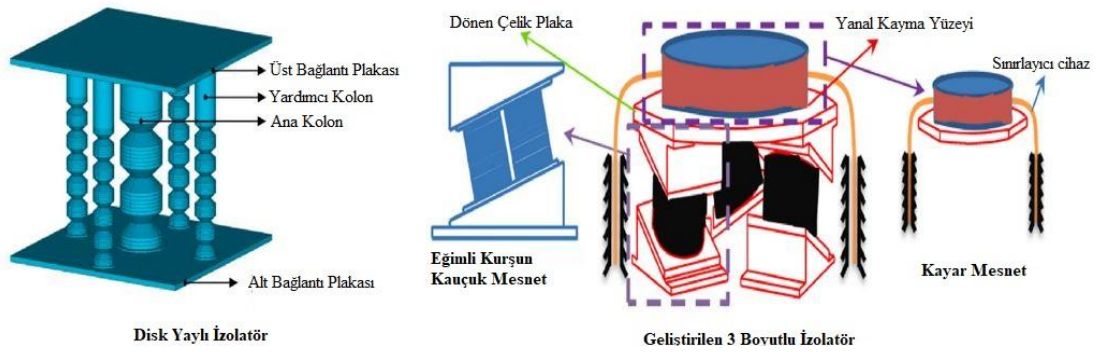
Şekil 3.15 Sismik taban yalıtımı ile tarihi binaları güçlendirme prosedürü (Santos vd., 2010)

Tarihi yapıların güçlendirilmesinde, sismik taban yalıtımı tekniği, yapının estetik değerlerini, mimari özelliklerini bozmadan yapı güvenliğini sağlamak için son derece etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Mevcut bir yapının güçlendirilmesi sırasında, izolatörlerin yerleştirilmesi, kullanılan sismik taban yalıtımı sistemlerinin türleri, dinamik özellikler ve titreşim testlerinin uygulanması gibi faktörlerin değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bunun sonucunda, güçlendirme güvenliği artırarak aynı zamanda yapının karakterini ve tarihi önemini de korumasını sağlamaktadır (Patel vd., 2024).

3.5.2 Sıvı Tutucu Yapıların Sismik Taban Yalıtımına Etkisi

Su tankları, deprem hareketleri esnasında dinamik davranış sergilemekte ve hidrodinamik basınç ile atalet yüklerine maruz kalmaktadırlar (Housner, 1957). Yüksek sıvı tanklarının performansı bir sonlu elemanlar analiziyle değerlendirildiği çalışma, modal analiz ve zaman tanım alanında analiz ile incelenmiştir (Moslemi vd., 2011). Zemin etkileşimi etkilerini göz önünde bulundurarak sismik taban yalıtımı uygulanmış sıvı depolama tankının sismik davranışını derinlemesine incelenmiştir. Bu çalışmada, frekans bağımsız bileşenlere sahip homojen yarı uzay yay sismik yalıtım modeli kullanılmıştır. Elastik homojen zemin ortamındaki silindirik sıvı depolama tankının yer hareketi tepkisi incelenmiştir (Cho vd., 2004).

Zemin-yapı etkileşimi etkilerinin tankın frekanslarını azalttığını ve toprak sertliğinin, tankın konvektif bileşenleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi, toprak sertliğinin maksimum yerdeğiştirmeyi azalttığını, taban kesme kuvvetini ve devrilme momentini azaltmasıdır (Meng vd., 2019).



Şekil 3.16 Yeni üç boyutlu sismik yalıtım mesnetinin tasarımı (Jing vd., 2023)

Sıvı depolama tankları için hem ankastre mesnetli hem de Şekil 3.16'da gösterildiği gibi tasarlanmış üç boyutlu sismik taban yalıtımı mesnetlerinin sismik kırılabilirliğini incelenmiştir. Dokuz derece bir depremin etkisiyle ankastre mesnetli sıvı depolama tankının, dalga yüksekliğinde tam hasar olasılığının %72,0 ve eksenel gerilme hatası olasılığının %49,6 olduğu ilgili çalışmada tespit edilmiştir. Buna karşılık, taban yalıtımlı sıvı depolama tankı, eksenel basınç gerilmesi, çevresel gerilme ve sıvı dalga yüksekliği için az başarısızlık olasılıkları sergilemektedir (Jing vd., 2023).

3.5.3 Yapı-Zemin Davranışının Etkisi

Genellikle, izolatör tasarımında yapı-zemin etkileşimi etkisi göz ardı edilmekte ve rijit bir temel varsayılmaktadır (Mahmoud vd., 2012). Ancak, yapı-zemin etkileşiminin ihmal edilmesi, yapısal tepkilerin değerlendirilmesinde yanlışlıklara yol açmaktadır. Çalışma, elastomerik mesnetlerle donatılmış köprülerin sismik tepki performansını, yapı-zemin etkileşimi etkisini dikkate alarak sunmaktadır (Neethu ve Das, 2019).

1978 yılında, viskoelastik bir yarı uzay üzerine oturan çift doğrusal histeretik yapılarının salınım tepkisini analiz etmek için eşdeğer doğrusallaştırma yöntemi kullanılmıştır (Bielak, 1978). Bielak'ın modeli, basit elastik yapılar için sismik taban yalıtımı sisteminin doğrusal olmayan dinamik davranışı üzerindeki yapı-zemin etkileşimi etkisini incelemek amacıyla genişletilmiştir. Sonuç olarak, yapı-zemin etkileşimi etkileri yok sayıldığında ve sönümlemenin olmadığı durumlarda, izolatörün kararlı tepkisinin ötesinde harmonik bir hareket meydana gelmektedir (Luco, 2014). Sismik taban yalıtımı sisteminin rijit olarak kabul edilmesinin, elastik 1 serbestlik dereceli sistem ile uyumlu olduğunu belirlemiştir (Jennings ve Bielak, 1973).

Yapı-zemin etkileşiminin darbeli bileşenlerin tepkisini azalttığını, ancak konvektif bileşenler üzerinde önemsiz bir etkisi olduğu ortaya çıkmıştır (Veletsos ve Tang, 1990). Bununla birlikte, son çalışmalar, şiddetli yer hareketleri sırasında yapı-zemin etkileşimine yakın bölgelerde boşluk oluşumu, şişme ve kayma gibi doğrusal olmayan etkilerin yaygın olduğunu göstermektedir (Bolisetti vd., 2018). Yapı-zemin etkileşimi, kinematik etkileşim ve atalet etkileşimi olarak ikiye ayrılmaktadır (Tubaldi vd., 2018).

Kaya zeminlerle karşılaştırıldığında yumuşak zemin, rezonansa girerek sallanmayı şiddetlendirmektedir. Maksimum tepkide doğal periyodu artırarak, izole edilmiş yapıların doğal titreşim periyotlarına daha yakın hale getirmektedir (Charleson ve Guisasola, 2016).

Nükleer santrallerde kullanılan sismik taban yalıtımı sistemlerinin sayısal simülasyonu için, zemin-yapı etkileşiminin karşılıklı etkisini dikkate alarak iteratif bir yaklaşım kullanılmıştır. İzolatörün doğrusal olmayacağını dikkate alarak zemin-yapı etkileşimi analizinin tepkisi, izole edilmiş nükleer santrallerde yatay hareketin önemli ölçüde

azaldığı gösterilmiştir (Han ve Artieda, 2015). İzole edilmiş nükleer yapılar için rijit taban plakalarıyla doğrusal ve doğrusal olmayan yapı zemin etkileşimi analizi etkileşimi analizi yapılmıştır (Zhou ve Wei, 2016). ASCE 4-16 standardı doğrusal olmayan analiz için ele alınmıştır. Zemin-yapı etkileşimi etkilerini ve sismik taban yalıtımı cihazının doğrusal olmayan davranışını içeren eşdeğer doğrusal yöntemler ve zaman tanım alanı teknikleri birleştirilmiştir (Lee vd., 2021).

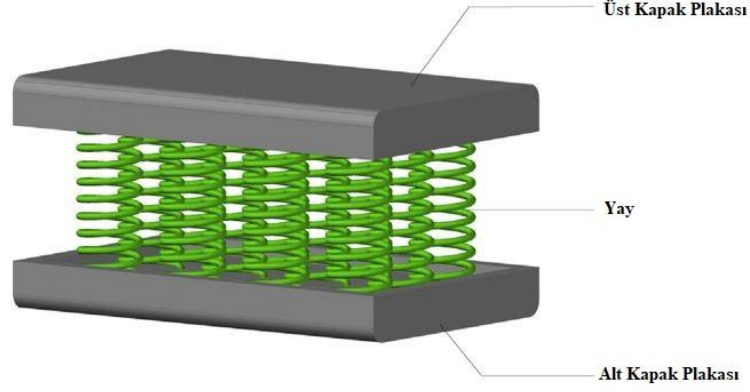
Literatürdeki çeşitli çalışmalar, zemin-yapı etkileşimi ve sismik taban yalıtımı sistemlerinin sayısal simülasyonlarını deprem hareketlerinin yatay bileşenini dikkate alarak ele alınmaktadır. İzolatörlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılması ve saha tepkisinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için enine bileşenin etkileri de dikkate alınmalıdır (Patel vd., 2024).

3.5.4 Üç Boyutlu Sismik Taban Yalıtımı Sistemi

Önemli yapılar için üç boyutlu sismik taban yalıtımı sistemleri giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bunun sebebi uygulanabilir, ekonomik ve performans avantajları olarak ifade edilmektedir. Geleneksel sismik taban yalıtımı, binaların yatay yönde tepkilerini etkili bir şekilde azaltırken, düşey sismik etkilerin doğrudan üst yapıya iletilmesi dikkate alınmamaktadır. Bu durum, araştırmacıların üç boyutlu sismik taban yalıtımı sistemlerine ve düşey yer hareketi bileşenlerine odaklanmasına yol açmıştır (Patel vd., 2024). 1986 yılında Kajima Corporation, Japonya'da iki katlı bir betonarme yapı inşa etmek için üç boyutlu lamine kauçuk mesnetli bir sismik taban yalıtımı sistemi geliştirme çalışmalarına öncülük etmiştir (Kelly, 1988).

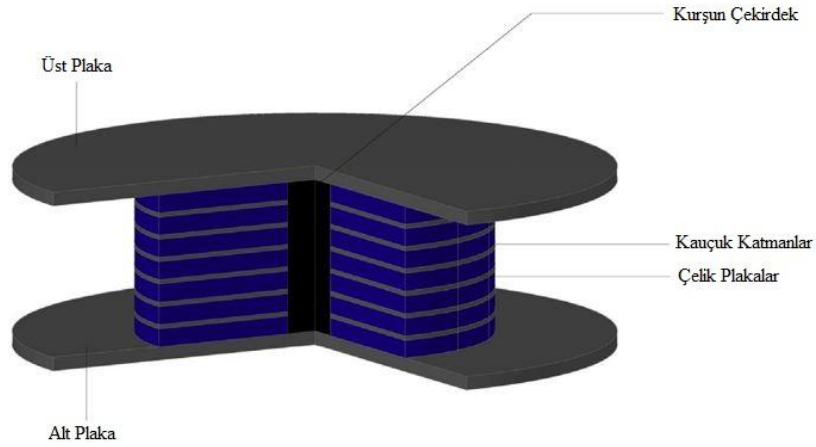
GERB Vibration Control Systems adlı şirket tarafından geliştirilen GERB sismik yalıtım sistemi Şekil 3.17'de verildiği gibi hem yatay hem de düşey yönlerde esnek olan yaylar içermektedir. Bu sistem, değişken yatay yükler, hareketli yükler ve rüzgâr yükleri nedeniyle düşey yönlerde deplasmanı önlemek amacıyla tasarlanmıştır. Düşey sismik taban yalıtımı sistemleri, yaylar ve tamamlayıcı sönümleme cihazlarının birleşimi aracılığıyla düşey yönde destek sağlamaktadır. Diğer üç boyutlu sismik taban yalıtımı sistemleri arasında, yuvarlanan sızdırmazlık tipi pnömatik yaylar, kablo

takviyeli pnömatik yaylar, hidrolik üç boyutlu ve konik disk yay sistemleri yer almaktadır (Zhou vd., 2016).



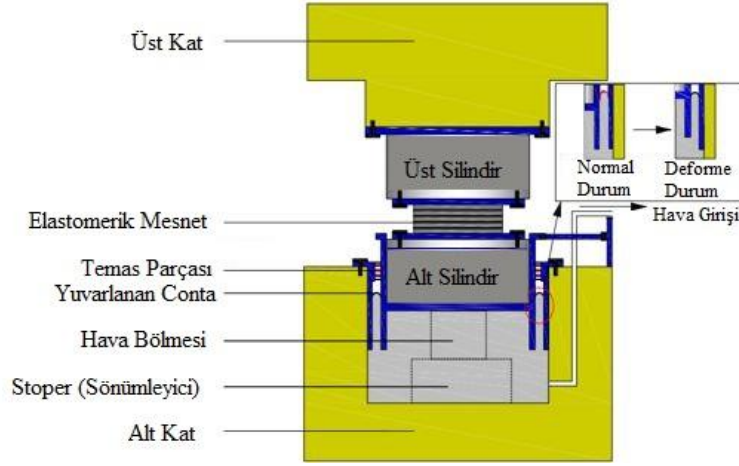
Şekil 3.17 GERB sismik taban yalıtımı sistemi (Zhou vd., 2016)

Şekil 3.18’de gösterilen kalın kauçuk mesnetler, en önemli düşey sismik taban yalıtımı türlerinden biri haline gelmiştir. Normal kauçuk mesnetlere kıyasla, HDRB'nin kalınlığında altı kata kadar belirgin bir artış bulunmaktadır (Gu vd., 2021).



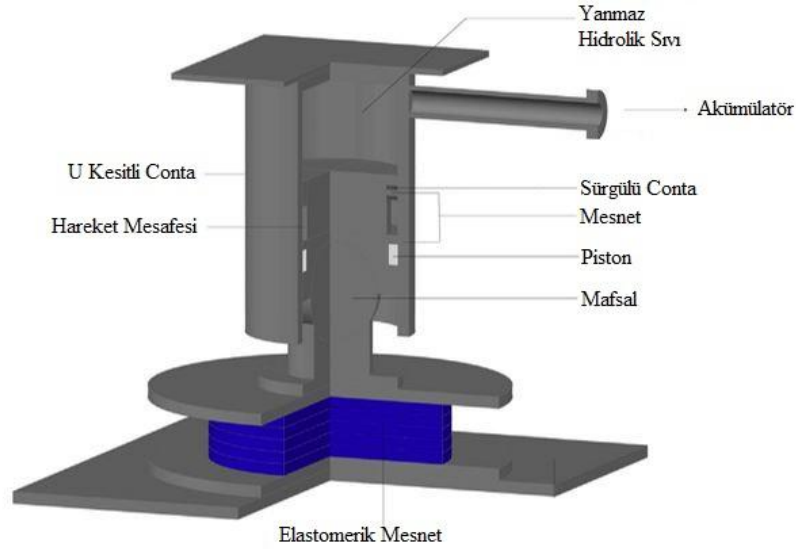
Şekil 3.18 Kalın kauçuk katmanlı mesnet (Zhou vd., 2016)

Yatay sismik yalıtım cihazı olarak lamine kauçuk mesnet ve düşey sismik yalıtım cihazı olarak yuvarlanan sızdırmazlık tipi pnömatik yaylar kullanan Şekil 3.19'da verilen üç boyutlu sismik yalıtım cihazı geliştirilmiştir (Suhara vd., 2003).



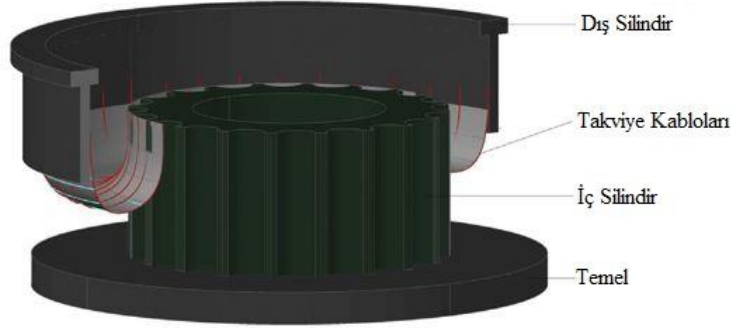
Şekil 3.19 Yuvarlanan sızdırmazlık tipi pnömatik yaylar (Suhara vd., 2003)

Şekil 3.20’de gösterilen hidrolik üç boyutlu sismik taban yalıtımı sistemi, kauçuk mesnet üzerine yerleştirilen düşey bir hidrolik silindir ve basınçlı nitrojen gazı içeren akümülatörden oluşmaktadır. Deprem sırasında gazın sıkışmasıyla bu sistem pnömatik yay gibi davranarak viskoz sönümlemeyi sağlamaktadır (Kashiwazaki vd., 2003).



Şekil 3.20 Hidrolik üç boyutlu sistemleri (Kashiwazaki vd., 2003)

Şekil 3.21’de verilen kablo takviyeli pnömatik yay, hem yatay hem de düşey sismik yalıtım sağlayan, farklı çaplara sahip iki silindirden oluşmaktadır. Silindir, polyester ve tel kablolarla güçlendirilmiş kauçuk tabaka ile birleştirilmiştir. Düşey ve yatay sismik yalıtım frekansları sırasıyla 0,35 Hz ve 0,27 Hz’dir. Contanın dayanımı, geri yükleme kuvveti doğruluğu ve 3D hareket altında öngörülebilir davranış dikkat edilmesi gereken hususlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Kageyama vd., 2003).



Şekil 3.21 Kablo takviyeli pnömatik yaylar (Kageyama vd., 2003)

Nükleer tesislerde üç boyutlu sismik taban yalıtımı sistemlerinin, yatay izolatörlerle karşılaştırıldığında, sağladığı faydalar ve karşılaşılan zorluklar tartışılmıştır. Nükleer santrallerde üç boyutlu izolatörlerin faydasını ortaya koymak için doğrusal analiz yapılmıştır. Kauçuk gibi geleneksel malzemeler ile bileşenler güvenilir performansları ve ekonomik olmaları nedeniyle kullanılmaktadır. Tek serbestlik dereceli bir model üzerinde odaklanarak sismik taban yalıtımına sahip yapılar için üç boyutlu bir model geliştirilmiştir. İzolasyon katmanının yapı tepkisi üzerindeki sönümleme etkisini değerlendirmek için zaman tanım alanında analizi yapılmıştır. Özellikle, kauçuk katmanının kalınlığını ayarlamanın, düşey frekansı önemli ölçüde azaltmada etkili olduğu kanıtlanmıştır (Wang ve Wang, 2012).

Bu analizde, beş katlı ölçeklendirilmiş çelik çerçeveli bir bina kullanılmış ve bu bina Northridge, El Centro ve Kobe depremlerine maruz bırakılmıştır. Sismik taban yalıtımı sistemi ile zemin-yapı etkileşimi etkilerinin bina düzenlemeleri üzerindeki birleşik rolünü incelemek için Opensees üç boyutlu analiz modeli geliştirilmiştir. Bu analizde, ankastre mesnetli, doğrusal sismik taban yalıtımı modeli ve doğrusal olmayan sismik taban yalıtımı modeli olmak üzere üç model dikkate alınmıştır. Spektral ivmelerin tahminindeki ilişkiyi doğrulamak ve etkinliği ortaya koymak için 240 adet doğrusal olmayan üç boyutlu model sayısal analiz için kullanılmıştır. Üç boyutlu sismik taban yalıtımı sisteminin zemin-yapı etkileşimi etkisi ile birlikte sayısal simülasyonları ve deprem etkisinin yatay bileşenleri dikkate alınarak elde edilmiş olmasına rağmen yapı davranışı simülasyonları için depremin yatay ve dikey bileşenlerinin eşzamanlı etkisi dikkate alınarak yapılması gerekmektedir (Forcellini, 2022).

Üç boyutlu izolatörlerin kullanımı, sismik taban yalıtımı periyotları ve güçlü destek kapasitesi gereksinimleri nedeniyle sınırlı kalmıştır. Çalışma negatif rijitlik cihazı ve önceden şekil verilmiş eğimli kauçuk mesnet içeren yüksek statik-düşük dinamik rijitliğe (HSLDS) sahip bir üç boyutlu sismik taban yalıtımı sistemini tanıtmaktadır. Hem negatif hem de pozitif rijitliği içeren bir mekanik model geliştirilmiştir. Düşey ivmelerin ve izolatör davranışının karşılaştırılması, HSLDS izolatörünün ivmeyi ve düşey yerdeğiştirmeyi azaltmadaki etkinliğini göstermektedir (He vd., 2023).

Yenilikçi üç boyutlu sismik taban yalıtımı sistemi, yatay ve düşey sismik taban yalıtımı disk yay teorisi prensiplerini kullanmaktadır. Bu, yapısal rijitliğin ve düşey taşıma kapasitesinin esnek bir şekilde değiştirilmesine olanak tanımaktadır. Sonuçlar, sistemin titreşimleri izole etme konusundaki olağanüstü yeteneğini göstererek, yüksek sismik aktiviteye sahip karmaşık katmanlı sahalarda bulunan nükleer tesislerde pratik kullanım için uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Üç yönlü birleştirmeyi içeren sismik çalışma, hem yatay hem de düşey sismik yalıtımda önemli etki göstermektedir. Nükleer enerji santralleri için üç boyutlu sismik taban yalıtımı tasarlarken, dikey temel frekansın hassas bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Karmaşık koşullar dikkate alınarak, üç boyutlu sismik taban yalıtımı nükleer enerji santralleri için bir salınım önleme sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir (Liu vd., 2023).

Uzun periyot düşey sismik taban yalıtımı sistemini içeren yatay mesnetle birleşen benzersiz bir üç boyutlu sismik taban yalıtımı geliştirilmiştir. Normal koşullar altında düşey rijitlik, uzun süreli sismik taban yalıtımı için düşük rijitlik ve aşırı durumlarda artan bir rijitlik sunmaktadır. Ön gerilmeli yaylar, dengeyi artıran ve uzun bir sismik yalıtım süresi sağlayan merkezlenme özelliğine sahip olmaktadır (Dong vd., 2023).

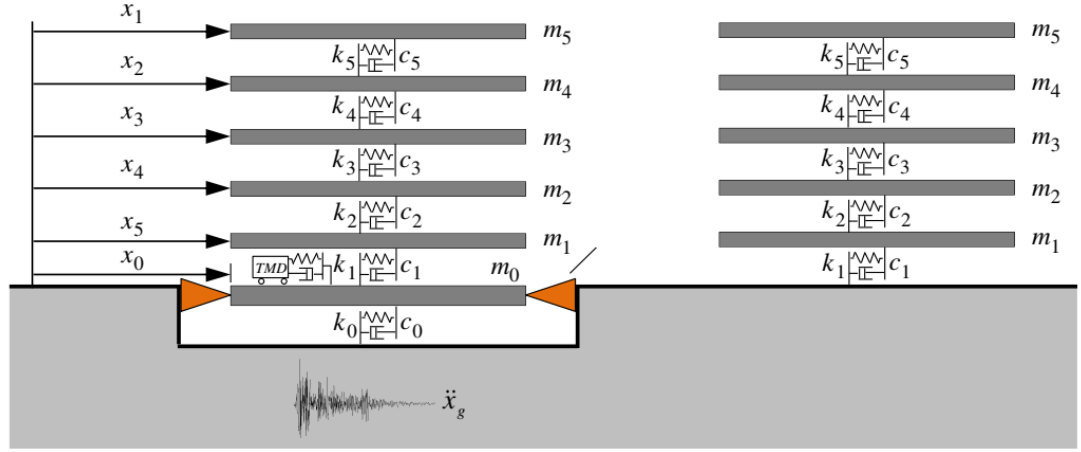
3.5.5 Sismik Taban Yalıtımına Tasarım Ötesi Olayların Etkisi

Tasarım ötesi olaylar, bir sismik taban yalıtımı sisteminin tasarımı sırasında belirlenen beklenen koşulları veya parametreleri aşan olayları ifade etmektedir. Tasarım olayları sismik kuvvetler ve yer hareketlerini içermektedir. Yapıların beklenmedik durumlara karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla, başlangıçta öngörülen tasarım parametrelerinin ötesine geçen olayların yarattığı zorlukları dikkate almak ve bu

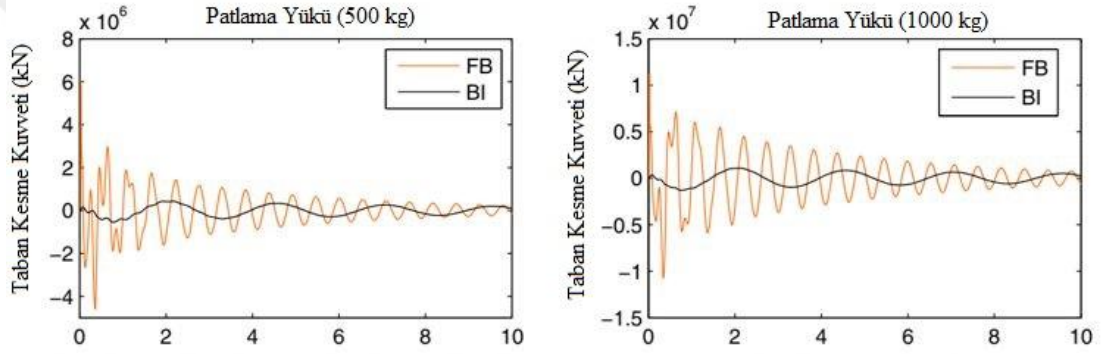
zorluklara çözüm bulmak oldukça önem arz etmektedir. Tasarım ötesi olaylar sadece sismik olmayan durumları değil, aynı zamanda patlama yüklerini de içermektedir. Patlamalar, binalara çok kısa sürede büyük miktarda enerji salınımı yaratmaktadır. Yapılar, patlama yüklerinin etkilerini çeşitli aşamalarda gerçekleştirmektedir. Başlangıçta, şok dalgaları yapıların cephesine zarar vermektedir. Ardından şok dalgaları bina bileşenlerine basınç uygulamaktadır. Son aşamada, yapı çerçevesi tümüyle yüklenir ve kısa süreli yükler ile güçlü yer hareketleri oluşmaktadır. Hasar, başlıca patlayıcı yükünün ağırlığı ve patlamanın hedefe olan mesafesiyle belirlenir.. Daha uzun mesafelerdeki daha büyük patlayıcılar, hem yerel hem de genel hasara neden olan daha düzgün yayılı yüklemelere yol açmaktadır (Patel vd., 2024).

Çalışma, 2000 kg TNT patlayıcısının bina yüzeyine 10 metre uzaklıkta patlatılması senaryosu için bir reaktör yapısının direncinin değerlendirilmesi, hava ve zemin şok dalgalarının analizini içermektedir. Sonuçlar, sismik taban yalıtımı sistemlerinin hava patlama yüküne karşı muhafaza kabının savunmasızlığını artırmadığını ve zemin şok tepkisini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir (Huang ve Whittaker, 2009).

Önerilen bir sismik kontrol cihazı ile yapıların patlama ve sismik yüklere karşı korunmasını hedeflenmiştir. Patlama altında sismik taban yalıtımına sahip yapılarının değerlendirilmesi için, Trinitrotoluen (TNT) kullanılarak 5 katlı ankastre mesnetli ve taban yalıtımlı yapı için teorik ve ampirik denklemler kullanılmıştır. 500 ve 1000 kg TNT patlayıcı yükleri, otomotiv ve kamyonet teslimat yöntemlerini simüle etmek için kullanılmıştır. Ankastre mesnetli yapı 0,54 sn'lik periyoda ve %2'lik sönüm oranına sahipken, sismik taban yalıtımlı yapı 2,5 sn'lik bir periyoda ve %4'lük bir sönüm oranına ayarlanmıştır. Patlama yükleri, yapının genişliği 12 m, her katın yüksekliği 3 m ve patlama noktasının tabanın merkezine 15 m mesafede yer aldığı varsayılarak hesaplanmıştır. Bu durum, Şekil 3.22'de gösterilmiştir. Patlama yüklerine maruz kalındığında, sismik taban yalıtımı uygulanan yapıların, ankastre mesnetli yapılara kıyasla üstün performans sergilediğini göstermektedir. Bu durum taban kesme kuvveti ve katlar arası ötelenmenin azalmasına sebep olmuştur. Taban kesme kuvveti performansları Şekil 3.23'de görülmektedir. Ancak üst yapının maksimum mutlak ivmesini azaltamamaktadır (Zhang ve Phillips, 2016).



Şekil 3.22 Ankestre mesnetli ve sismik taban yalıtımlı yapı modelinin şematik gösterimi (Zhang ve Phillips, 2016)



Şekil 3.23 Patlama yükleri altında sismik taban yalıtımının taban kesme kuvveti performansı (Zhang ve Phillips, 2016)

Nükleer santraller üzerinde uçak çarpma etkisinin incelenmesi tasarım açısından önem arz etmektedir. Yer hareketi olaylarının aksine uçak çarpma etkisi, üst yapının doğrudan tepkisine sebep olmaktadır. Uçak yükleri ile birlikte çalışan bir sismik yalıtım sistemi, önemli yatay deformasyonlara neden olabilmektedir. Bu durum, temel ve üst yapı için risk oluşturarak yapısal istikrarsızlığa yol açmaktadır. Üç boyutlu bir model, çeşitli uçak yüklerinin etkisi altında taban izole edilmiş reaktör muhafazasının dinamik özelliklerini incelemek için geliştirilmiştir (Mei vd., 2018).

Çarpma hızı, uçağın açısı ve uçak türü gibi etkenler uçak çarpması ile oluşan yapısal hasara katkıda bulunmaktadır. Farklı uçak çarpmaları, farklı özelliklere ve hızlara sahip çeşitli çarpma yükleri ve enerjiler üretmektedir. Yeterli rijitlik, uçak çarpma yüklerinin etkisi altında ciddi yapısal hasarı önleyebilmektedir. Uçak çarpması, kısa bir zaman diliminde doğrudan üst yapıya etki ederek sismik taban yalıtımı sistemi muhafazanın plastik deformasyon dağılımını etkilemesini engellemektedir. Çalışma,

sismik taban yalıtımı mesnetlerinde sönümlemenin uçak çarpması enerjisinin dağılımını hızlandırabileceği sonucuna varmıştır (Mei vd., 2018).

Patlama yalıtımı ve sismik taban yalıtımı sistemi ile donatılmış bir binada patlama sonrası, mutlak ivme, maksimum kat yerdeğiştirmesi ve katlar arası ötelenmede azalma görülmektedir. Çalışmada ayrıca, sistemin patlama yükleri altında histeretik enerji dağılımını değerlendirmek amacıyla enerji tabanlı denklemler incelenmiştir. Sonuçlar, artan patlama sönümlemesinin yapısal performansı iyileştirdiğini ve daha yüksek sönümlemeye sahip izolatörlerin, patlama yüklerine maruz kaldıklarında, daha düşük sönümlemeye sahip olanlara kıyasla üstün tepkiler sergilediğini göstermektedir (Kangda ve Bakre, 2019).

Sismik taban yalıtımı yapısının etkinliğini incelemek için bir duyarlılık analizi yapılmış ve patlama yükü altında optimum tasarım yöntemi önerilmiştir. Sekiz katlı doğrusal olmayan kayma tipi izolatöre sahip yapı, patlama yüklerine maruz bırakılmıştır. Patlama yüklerine maruz kalan sekiz katlı doğrusal olmayan kayma tipi izolatöre sahip yapı kullanılarak, taban kütlelerinin sismik taban yalıtımı sisteminin tepkisi üzerindeki önemli etkisi vurgulanmıştır (Mohebbi ve Dadkhah, 2020).

Üçüncü nesil nükleer enerji santrallerinin sismik taban yalıtımı sistemleri ile donatılmış haliyle büyük bir ticari uçak olan Airbus A340-300'ün etkisi altında sismik tepkisi incelenmiştir. Nükleer santrallerin titreşim yoğunluğunu önemli ölçüde etkileyen uçak yönü ve çarpma kuvveti gibi kilit parametreleri tanımlanmıştır. Sismik taban yalıtımı mesnetlerinin yatay sönümlemesi, enerji dağılımında kritik bir rol oynamıştır (Mei vd., 2020).

ABAQUS yazılımında sayısal simülasyon ve sonlu elemanlar analizi yoluyla dinamik ve statik bağlantının kapsamlı bir analizini gerçekleştirilmiştir. Kolonların üstüne veya altına izolatör yerleştirilerek performans değerlendirmesi sunulmuş ve patlama yükleri altındaki yerdeğiştirmeler değerlendirilmiştir. Kolonların birden fazla patlama yüküne maruz kaldıklarında daha iyi patlama direnci kapasitesi gösterdiğini ortaya koymuştur. Sismik yalıtımlı kolonların göreceli yerdeğiştirme ve kesme kuvvetlerinin, yalıtımsız kolonlara göre daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır (Wang vd., 2022).

3.6 Ekonomik Fayda

Sismik taban yalıtımlı ve ankastre mesnetli yapılar için karşılaştırılabilir performans ve maliyet verilerinin eksikliği, analiz edilen sismik taban yalıtımı sistemlerinin kullanımını engellemiştir (Buckle ve Mayes, 1990). Sismik taban yalıtımı sistemlerinin ekonomik olması ile ilgili birçok çalışma yayınlanmıştır. Maliyet karşılaştırmaları genellikle ön tasarım sürecinde hesaplanmamış fakat belirli maliyet değerlendirmeleri önerilmiştir (Luco, 2014).

Sismik taban yalıtımının maliyeti ve üst yapı ve diğer bileşenlerin hasar gören yapısal güçlendirme maliyeti ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, küçük şiddetli sismik uyarımlar için sismik taban yalıtımının ekonomik olmadığını, ancak orta ila büyük şiddetli depremler için büyük bir fayda sağlayacağını göstermiştir. Analiz sonuçları, uygun bir sismik yalıtım sistemi kullanmanın, yaşam döngüsü maliyetini ankastre mesnetli bir yapıya kıyasla %20'ye kadar azaltabileceğini göstermektedir. Analizlerden, sismik yalıtımlı yapıların başlangıç maliyetinin ankastre mesnetli yapılarla benzer olduğu, ancak yaşam döngüsü maliyeti dikkate alındığında, sismik yalıtımlı yapıların daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır (Kilar vd., 2013).

Kurşun kauçuk mesnet ve yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnet, sonuçları ankastre mesnetli yapılarla karşılaştırmak için sismik taban yalıtımı olarak değerlendirilmiştir. Her iki izolatör için de başlangıç maliyetinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir, ancak yaşam döngüsü maliyeti dikkate alındığında, genellikle her ikisinin de ankastre mesnetli bir yapıya göre daha ekonomik bir çözüm sunduğu, özellikle LRB'nin öne çıktığı görülmüştür (Mitropoulou ve Lagaros, 2016).

Kaymalı hidromanyetik mesnet, sismik taban yalıtımı için en ekonomik yöntemlerdendir. Bunun sebebi, dünyanın manyetik alanlarının gücünden yararlanmasıdır. Altı katlı binaların tepkilerini inceleyerek, bu sismik taban yalıtımı sisteminin gerçek yapılarda uygulanabilirliği incelenmiştir (Villaverde, 2017).

Kurşun kauçuk mesnet ve yüksek sönümlü kauçuk mesnet içeren iki tip izolatör kullanılarak analiz yapılmıştır. Yapı maliyetleri dikkate alındığında, sismik taban yalıtımlı yapıda ankastre mesnetli yapıya kıyasla toplamda %19,78 oranında

ekonomik olduğu görülmüştür. Mesnet maliyetleri düştüğünde, on katlı binada taban izolatörleriyle elde edilen tasarrufun %10 oranında olduğunu gösterilmektedir. Sismik taban yalıtımı teknolojisi ile donatılan nükleer reaktörlerin maliyet analizi sunulmuştur. Gelişmiş reaktörlerin inşasında sismik taban yalıtımının dâhil edilmesi, önemli maliyet ve zaman tasarrufları sağlamaktadır. Sismik taban yalıtımı uygulanmasıyla nükleer reaktörlerin toplam sermaye maliyetinde, geleneksel reaktörlere kıyasla %40 ile %50 arasında azalma sağlanmaktadır (Lal vd., 2022).

Tablo 3.1 Sismik yalıtım sistemlerinin avantajları ve dezavantajları

Sistem	Avantajlar	Dezavantajlar
Sürtünme Sarkacı Sistemi	Taban kesme kuvveti, kat ivmesi ve katlar arası ötelenmeyi azaltır	Yüksek kayma deformasyonlarında rijitlik kaybı oluşmaktadır
Değişken Sürtünme Sarkacı Sistemi	İzolatör yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti istenen seviyede kalmaktadır.	Sadece sınırlı bir zaman aralığında iyi performans gösterir.
Electricite-de-France Taban Yalıtımı	Yapının periyodu artar. Yüksek düzey rijitlik sağlar, burulma etkilerini azaltır.	Kurulumu zor ve bakım maliyeti yüksektir.
Çekirdek Süspansiyon Sismik Yalıtım	Kat ivmelerini, deformasyonları ve taban kesme kuvvetlerini azaltır.	Uygulama ve tasarım süreci zordur. Deformasyonlarda rijitlik kaybı olur.
Esnek Sürtünmeli Taban Yalıtımı	Düşey yönde rijit olmaktadır. Tasarımı basit ve ekonomiktir.	Sürtünme yüzeylerinde zamanla deformasyon oluşur.
Kaymalı Esnek Sürtünmeli Yalıtım	Tepe ivmesini azaltır. Yanal kuvvetleri sönümler, yapıdaki salınımları azaltır.	Uzun periyot yer ivmesine karşı etkili değildir.
Kurşun Kauçuk Mesnet	Enerji sönümleme kapasitesi yüksektir, yer değiştirmeleri azaltır.	Yüksek yüklerde plastik deformasyon oluşur. Bakım gerektirir.
Elastomerik Mesnetler	Ekonomik ve uygulama kolaydır.	Daha büyük yerdeğiştirmeler için uygun değildir.
Çapraz Doğrusal Mesnetler	Yüksek rijitlik sağlar, burulmayı önler. Taban kesme kuvvetlerini azaltır.	Önemli bir sönümleme sağlayamaz. Maliyeti yüksektir.
Düz Kaydırma Mesneti	Düşük maliyetli ve uygulaması kolaydır.	Düşük sönümleme kapasitesine sahiptir.
Kaymalı hidromanyetik Mesnet	Titreşim ve burulma etkilerini minimize eder. Uzun ömürlü ve dayanıklıdır.	Yüksek maliyeti vardır. Uygulaması zordur ve bakım gerektirir.

Tablo 3.1, sismik yalıtım sistemlerini, avantajları ve dezavantajlarıyla birlikte göstermektedir. Günümüzde mevcut sismik taban yalıtımı için UBC, AASHTO, EuroCode 8, EN 15129, EN 1998-1, NTC 2008, FEMA, ASCE, IS 1893 gibi standartlar yapı tasarımı için doğrusal ve doğrusal olmayan analizler gerçekleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. (Patel vd., 2024).

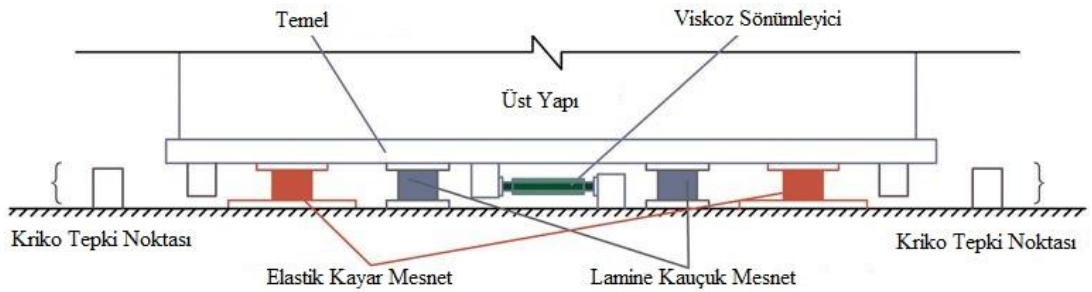
Sünekliği yüksek binalarda sismik taban yalıtımı sistemlerinin etkisini on katlı, on dört katlı ve yirmi katlı değişkenliğinde analiz edilmiştir. Düşük sönümlemeli viskoz sönümleyici ile lamine kauçuk mesnetli bir sismik taban yalıtımı sistemi

birleştirilmiştir. Yüksek binalarda sismik taban yalıtımı sisteminin etkisi, 1 saniyeden 3 saniyeye kadar olan zaman periyodunda analiz edilmiştir. Bu çalışma, temel yapısal elemanların, üst yapı sönümlemesinin ve sismik taban yalıtımı sisteminin esnekliğinin yüksek binanın tepkisini nasıl etkilediğini incelemiştir (Jain ve Thakkar, 2004).

3.7 Yenilikçi Sismik Taban Yalıtımı Teknikleri

Sismik kuvvetlerin etkisini azaltmak amacıyla dikdörtgen bir kauçuk izolatör geliştirilmiştir. Kauçuk çekirdek, karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) tabakası ve paslanmaz çelik ile sarılarak izolatör etkisi artırılmış ve sismik deformasyon azaltılmıştır. (Altalabani vd., 2021).

Sismik taban yalıtımına sahip yapılar, tasarım esaslı deprem ve maksimum dikkate alınan deprem senaryolarında önemli ölçüde daha düşük katlar arası ötelenme göstermiş, sismik etkinin azaltılmasını sağlamıştır. Depremler esnasında yapının yerdeğiştirme ihtiyacını azaltmak için bir sismik taban yalıtımı sistemi geliştirilmiş (Zhao vd., 2021). Mevcut tarihi yapıların depreme dayanıklı güçlendirilmesi için kültürel kalıntıların ve estetik unsurların korunmasına öncelik veren yeni bir teknik önerilmiştir. Önerilen sismik taban yalıtımı sistemi, lamine kauçuk mesnetler, viskoz sönümleyiciler, elastik kayar mesnetler ve sismik olaylardan sonra binanın yeniden merkezlenmesini kolaylaştıran kriko tepki noktaları içermektedir. Destekleme tabakası, yerdeğiştirme koruması sağlar ve kriko reaksiyon bağlantıları, Şekil 3.24'de gösterildiği gibi yeniden merkezlenme sınırlamalarını ele alır (Zhang vd., 2021).



Şekil 3.24 Önerilen sismik taban yalıtımı sisteminin şematik gösterimi (Zhang vd., 2021)

Gelişmekte olan ülkelerdeki güçlendirilmemiş yığma binaların sismik korunması için düşük maliyetli ve geri dönüştürülmüş kauçuk izolatörlerden oluşan sismik taban

yalıtımı sistemi sunulmaktadır. Yapılan modelleme ve analizler, bu izolatörlerin, güçlü depremler altında katlar arası yerdeğiştirme, ivme ve taban kesme kuvvetini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Bu yaklaşım, yığma binaların dayanım sınırlarının korunmasını sağlamış ve sismik performansı artırmıştır (Losanno vd., 2021).

Yeni geliştirilen düz yaylı sürtünme sistemi, yüksek düşey kuvvetlere dayanıklılığı, dayanıklılığı ve değişken frekanslara uyum sağlama yeteneği ile öne çıkmaktadır. Yüksek kaliteli paslanmaz çelikten yapılmış bir yay ve düz kaymalı mesnet kullanarak, daha yüksek maksimum yer ivmesinde sismik taban yalıtımı etkisini göstermektedir. Dört katlı bir yapısal model üzerinde yapılan sayısal analizler, Kobe depremi sırasında çatı ivmesi genliğinde %69,4 azalma olduğunu göstermiştir (Wei vd., 2021).

Yeni bir tür sismik yalıtım sistemi olan eğimli yüzey kaydırma sistemi geliştirilmiştir. Bu, çelik palet raf yapıları için kullanılan tek yönlü bir sismik taban yalıtımı sistemidir (Tagliafierro vd., 2021). Yapıyı tehlikeli sismik etkilerden korumak için yeni bir poliüretan mesnet önerilmiştir. Çalışma, düşük maliyetli yapı malzemeleri kullanılarak sismik riskin azaltılması için etkili bir çözüm sunmaktadır. DeneySEL ve analitik araştırmalar yaparak mesnetin tepkisini sunulmuştur (Marzec vd., 2021).

Sismik taban yalıtımı sisteminde uyarlanabilir davranışı sağlamak için akıllı malzeme olarak manyetorheolojik elastomer kullanılmıştır. Bu akıllı sistemde, kontrol kuvvetleri izolatörün yatay rijitliğini ayarlayabilmektedir. Bu ayarlama, doğal frekansı yapının baskın frekanslarından uzaklaştırarak rezonansın önlenmesine yardımcı olmaktadır. (Li ve Li, 2019).

Yenilikçi sismik taban yalıtım sistemleri arasında, çeşitli sismik yalıtım sistemlerinin elemanlarını birleştiren, çift katmanlı eğik kauçuk mesnete sahip olan çekirdek askılı sismik yalıtım sistemi gibi alışılmadık şekillerde tasarlanmış mekanizmalar bulunmaktadır. Kauçuk tabakanın eğilmesi, yapının dinamik davranışını etkili bir şekilde kontrol ederek doğal periyodunu uzatmaktadır (Nakamura vd., 2011).

Teleskopik kolon olarak adlandırılan sismik taban yalıtım sisteminde yapı, kütle merkezinde temele bağlantılı olarak desteklenmektedir. Teleskopik kollar, hem düşey

hem de yatay hareket için tasarlanmıştır ve sismik taban yalıtımını sağlamak için sarkaç benzeri bir etki yaratmaktadır (Hosseini ve Farsangi, 2012).

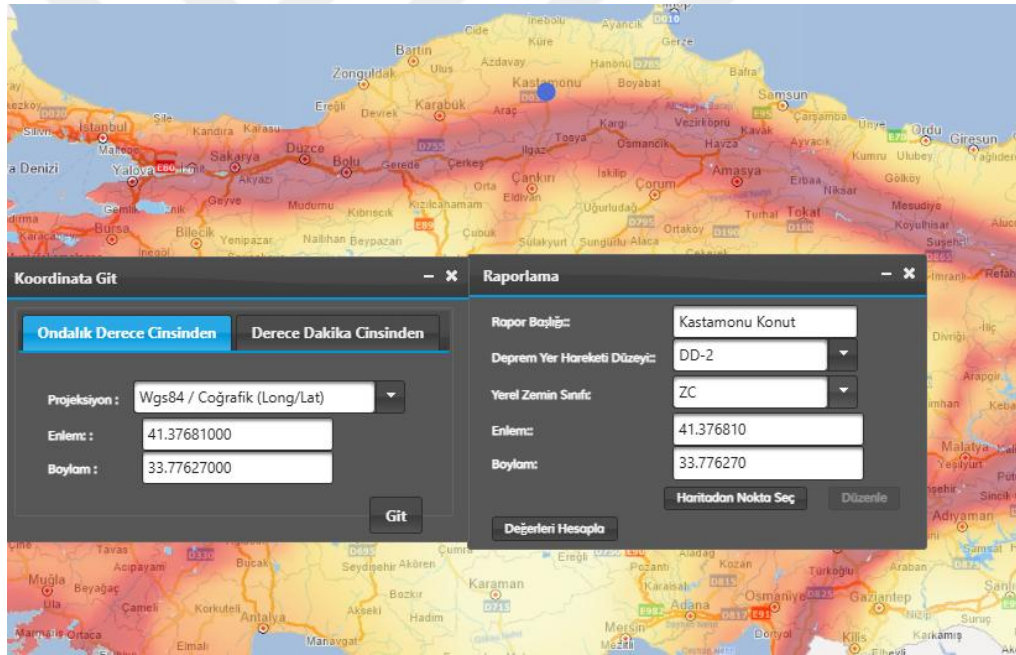
Doğrusal ve disk yaylarının paralel düzenlenmesiyle oluşturulmuş, sıfıra yakın rijitlikte bir sismik taban yalıtımı sistemi geliştirilmiştir. İzolatör yüksek sönümlenme seviyelerinde, doğrusal olmayan koşullar altında genliğe bağlı tepki göstermektedir. Yapının düşey titreşimlerinin yalıtılması amaçlanmıştır (Zhou vd., 2019).

Yenilikçi Konveks Sürtünme Sistemi ise, özellikle yakın-saha depremlerinin etkisini hafifletmede yaklaşık %30'luk bir yapısal tepki azaltılması sağlanmıştır. Bu sebeple potansiyel bir sismik taban yalıtımı sistemi olarak öne çıkmaktadır (Xiong vd., 2017). Sismik taban yalıtımı teknolojisinin uygulanması artık kolonların alt kısmıyla sınırlı olmadığı ifade edilmiştir. İzolatörlerin yüksek katlı binalarda katlar arası yerleştirilmesi önerilmektedir. Katlar arası sismik yalıtım, ataletsel kuvvetlerin azaltılması ve sismik kapasitenin artırılması gibi avantajlar sunmaktadır (Forcellini ve Kalfas, 2023).

4. YAPI MODELLENMESİ

4.1 Yapı Deprem Raporu

Bu tez kapsamında kat adetleri 6, 12 ve 24 kattan oluşan ve konut olarak tasarlanan betonarme çerçeve yapılar incelenecektir. Yapılar rijit mesnetli ve sürtünmeli sarkaç izolatör kullanılarak SAP2000 üzerinden üç boyutlu olarak modellenmiştir. Yapıda TBDY-2018'e göre herhangi bir düzensizlik bulunmamaktadır. Yapı hem x hem de y ekseninde simetrik olarak modellenmiştir. ZC zemin sınıfı üzerinde yapılacak olan yapının 41.37681 enlem ve 33.77627 boylamındaki konumda Kastamonu ilinde inşa edileceği kabul edilmektedir.



Şekil 4.1 AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması raporu

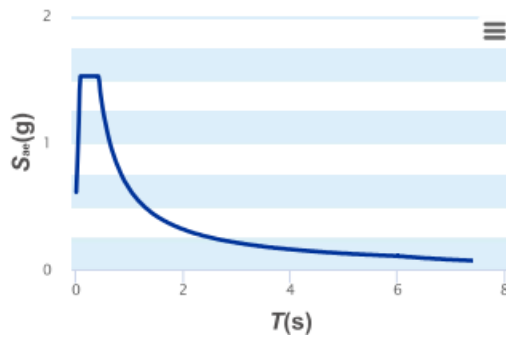
Yapının bulunduğu Kastamonu koordinatlarına ve ZC sınıfı zemine göre AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak DD2 deprem düzeyine karşılık gelen elastik ivme spektrumları Şekil 4.1'de verildiği gibi raporlanmıştır. ZC sınıfı zemin çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış çok çatlaklı zayıf kayalar olarak ifade edilmektedir. DD1 düzeyi 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyini ifade etmektedir. DD1 düzeyi için $S_s = 1,268$ ve $S_1 = 0,420$ olarak raporlanan değerler ZC

zemin sınıfı için tasarım spektral ivme katsayıları $S_{DS} = 1,522$ ve $S_{D1}=0,630$ olarak raporlanmıştır. DD2 düzeyi 50 yılda aşılma olasılığı %10 tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem yer hareketi düzeyini ifade etmektedir. DD2 düzeyi için $S_s = 0,683$ ve $S_1=0,223$ olarak raporlanan değerler ZC zemin sınıfı için tasarım spektral ivme katsayıları $S_{DS} = 0,838$ ve $S_{D1}=0,335$ olarak raporlanmıştır. Tablo 4.1’de Kastamonu Merkez için alınmış AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması Raporunun DD-1 deprem düzeyine göre çıktıları sunulmuştur.

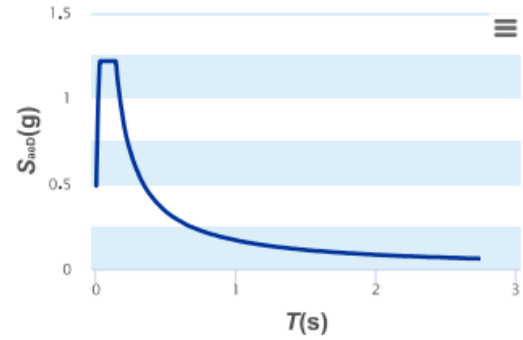
Tablo 4.1 DD-1 düzeyi için AFAD rapor çıktıları

Deprem yer hareketi düzeyi	DD-1
Yerel zemin sınıfı	ZC
Enlem	41.37681°
Boylam	33.77627°
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	$S_S = 1,268$
1 sn periyot için harita spektral ivme katsayısı	$S_1 = 0,420$
En büyük yer ivmesi	PGA=0,522
En büyük yer hızı	PGV=34,453
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	$S_{DS}= S_S F_S=1,268 \times 1,200=1,522$
1 sn periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	$S_{D1}= S_1 F_1=0,420 \times 1,500= 0,630$

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de ise bu rapor sonucunda oluşturularak yatay ve düşey elastik tasarım spektrumu sunulmuştur.



Şekil 4.2 DD-1 düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumu



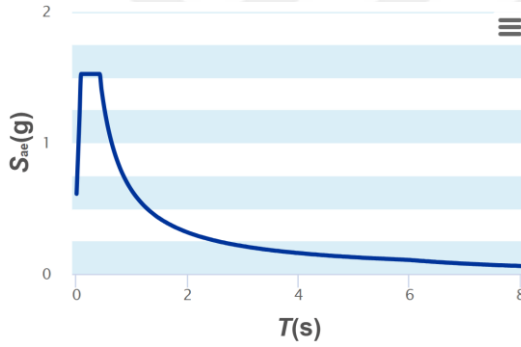
Şekil 4.3 DD-1 düzeyi için düşey elastik tasarım spektrumu

Tablo 4.2’de Kastamonu Merkez için alınmış AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması raporunun DD-2 deprem düzeyine göre çıktıları sunulmuştur.

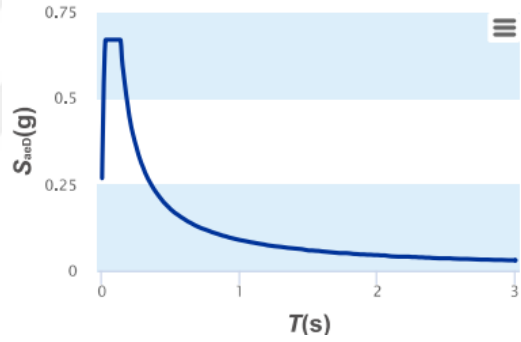
Tablo 4.2 DD-2 düzeyi için AFAD rapor çıktıları

Deprem yer hareketi düzeyi	DD-2
Yerel zemin sınıfı	ZC
Enlem	41.37681°
Boylam	33.77627°
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	$S_S = 0,683$
1 sn periyot için harita spektral ivme katsayısı	$S_1 = 0,223$
En büyük yer ivmesi	PGA=0,288
En büyük yer hızı	PGV=19,146
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı	$S_{DS} = S_S F_S = 0,683 \times 1,227 = 0,838$
1 sn periyot için tasarım spektral ivme katsayısı	$S_{D1} = S_1 F_1 = 0,223 \times 1,500 = 0,335$

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de ise bu rapor sonucunda oluşturularak yatay ve düşey elastik tasarım spektrumu sunulmuştur.



Şekil 4.4 DD-2 düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumu



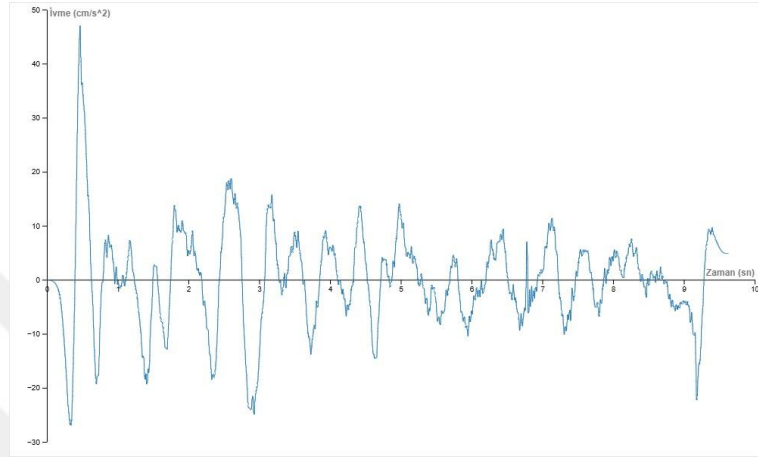
Şekil 4.5 DD-2 düzeyi için düşey elastik tasarım spektrumu

4.2 Uygulamada Kullanılacak Depremler

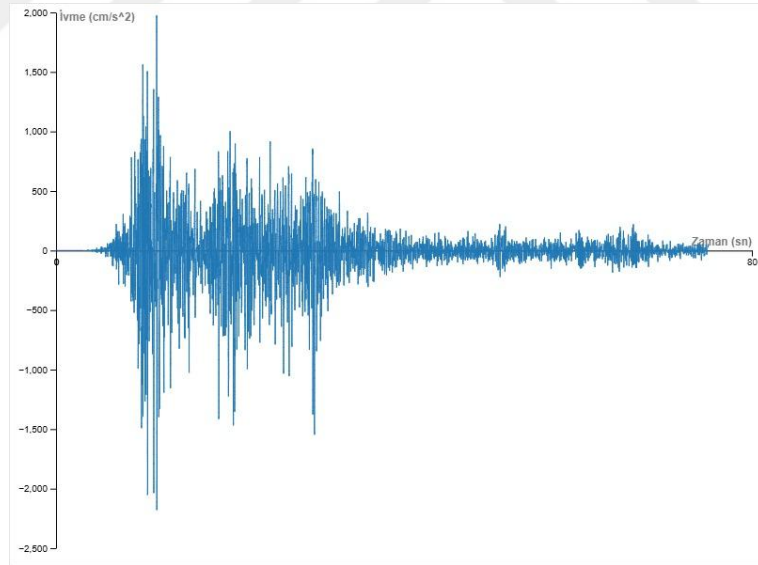
Yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinde kullanılacak olan 3 adet deprem kaydı, bölgenin depremselliği, faya olan mesafe gibi özellikleri göz önüne alınarak seçilmiştir. Seçilen deprem kayıtları Tablo 4.3’de gösterilmektedir. Kocaeli depremi Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde gerçekleşmiş ve Kastamonu’da hissedilmiştir. Kastamonu depremi yapının bulunduğu konum üzerinde gerçekleştiği için bu iki deprem bölgenin depremselliğinin anlaşılabilmesi için özellikle seçilmiştir. Kahramanmaraş depremi ise dünyada dahi ses getiren son yıllarda gerçekleşen en önemli depremlerdendir. Bu sebeple analizlerde bu depreminde kullanılmasına karar verilmiştir.

Tablo 4.3 Analizde kullanılacak deprem kayıtları

Deprem Adı	Tarih	Magnitüd
Kocaeli Gölçük, Türkiye	08/17/1999	7,6
Kastamonu, Türkiye	05/10/1977	5,8
Kahramanmaraş Pazarcık, Türkiye	02/06/2023	7,7



Şekil 4.6 1977 yılında meydana gelen Kastamonu depremi ivme-zaman grafiği

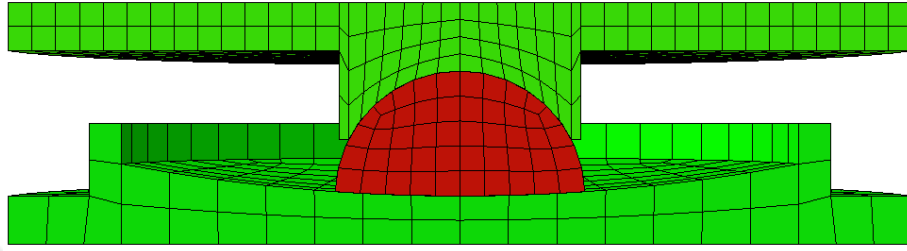


Şekil 4.7 6 Şubat 2023 yılında meydana gelen Kahramanmaraş depremi ivme-zaman grafiği

Deprem Dairesi Başkanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı AFAD Türkiye Deprem Veri Merkezi Sistemi'nden (TDVMS) elde edilen ivme kayıtlarına göre Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilen deprem ivme-zaman grafikleri oluşturulmuştur.

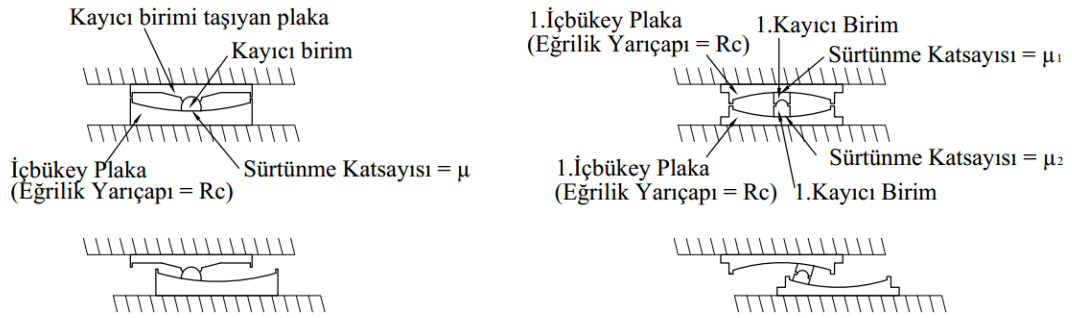
4.3 Sürtünmeli Sarkaç Sismik Taban Yalıtımı Sistemi Modellenmesi

Dikkate alınan yapıların sismik yalıtımında kullanılacak sismik taban yalıtımı sistemi için günümüzde yaygın olarak kullanılan Şekil 4.8’de gösterilen tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatör seçilmiştir. Bu sismik taban yalıtımına sahip yapı sismik taban yalıtımına sahip olmayan rijit mesnete sahip bir yapı ile kıyaslanacaktır.



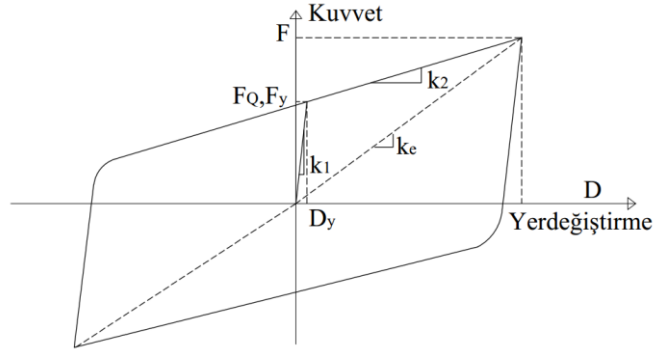
Şekil 4.8 Tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç sismik taban yalıtımı (Zulfakar, 2021)

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği EK 14B eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin temel özellikleri kısmına göre Şekil 4.9’da verilen gerekli tanımlar yapılmıştır.



Şekil 4.9 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri Gösterimi (TBDY, 2018)

Bu Şekil 4.10’da yönetmelikte verilen eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi sunulmuştur. Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı, Denklem 4.1’de belirtildiği gibi etkin sürtünme katsayısı μ_e ile yalıtım birimi üzerine etkiyen düşey kuvvetin (P) çarpımına eşittir. Başlangıç rijitliği, hesaplarda çok yüksek bir değer olan sanal bir rijitliktir. İkincil rijitlik Denklem 4.2’de belirtildiği gibi düşey kuvvetin (P) etkin eğrilik yarıçapına (R_c) bölünmesiyle belirlenir.



Şekil 4.10 Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimlerinin kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi (TBDY, 2018)

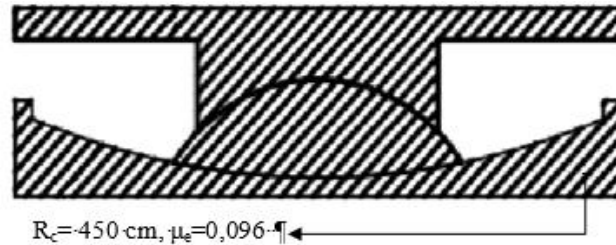
$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad (4.1)$$

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad (4.2)$$

Etkin rijitlik (k_e), Denklem 4.3’de belirtildiği uygulanan maksimum yatay kuvvetin (F) ulaşılan maksimum yatay yerdeğiştirmeye (D) bölünmesi ile elde edilecektir. Etkin sönüm oranı β_e Denklem 4.4’de belirtildiği gibi bir yerdeğiştirme döngüsünde tüketilen enerjinin (W_d), $2\pi FD$ değerine bölünmesi ile elde edilecektir.

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \quad (4.3)$$

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + D/R_c} \right] \quad (4.4)$$



Şekil 4.11 Tercih edilen tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatör

Dikkate alınan tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatör Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Bu izolatörün sürtünme katsayısı $\mu_e=0,096$ ve sürtünme yüzeyinin yarıçapı $R_c=4,5$ m’dir. Sonrasında toplam yapı ağırlığı hesaplanarak etkin rijitlik hesaplanmıştır. Etkin

sönüm oranının %30'u geçmesi TBDY 2018 gereğince yasaklanmıştır. Bu sebeple yüksek olması durumuna etkin sönüm oranı 0,30 olarak kabul edilecektir. Her bir izolatör yerdeğiştirmesine gelen etkin rijitlik bulunarak analiz sonrası eklenerek düzenlenecektir.

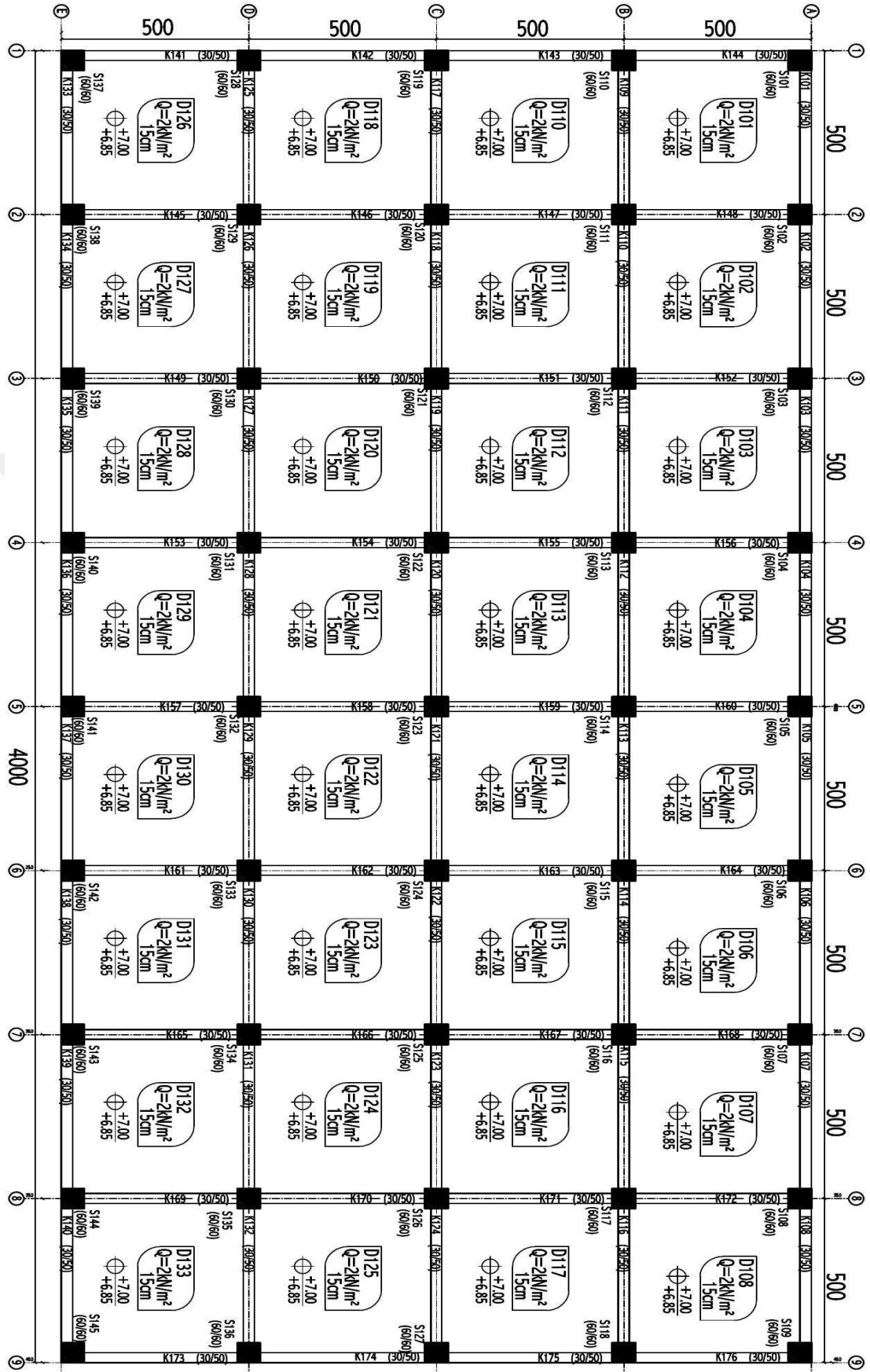
4.4 Yapının Sonlu Eleman Esaslı Yapı Analiz Programında Modellenmesi

Yapının modellenmesinde ve analizinde sonlu eleman esaslı SAP2000 yapı analiz programı kullanılmıştır. 6, 12 ve 24 kata sahip yapılar dikkate alınan Kocaeli-Gölcük Kahramanmaraş-Pazaracık ve Kastamonu depremlerine göre rijit mesnetli ve sismik taban yalıtımlı olarak modellenmiştir. Betonarme çerçeveli konut olarak tasarlanan yapı zaman tanım alanında doğrusal olmayan şekilde SAP2000 programı aracılığıyla analiz edilerek elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

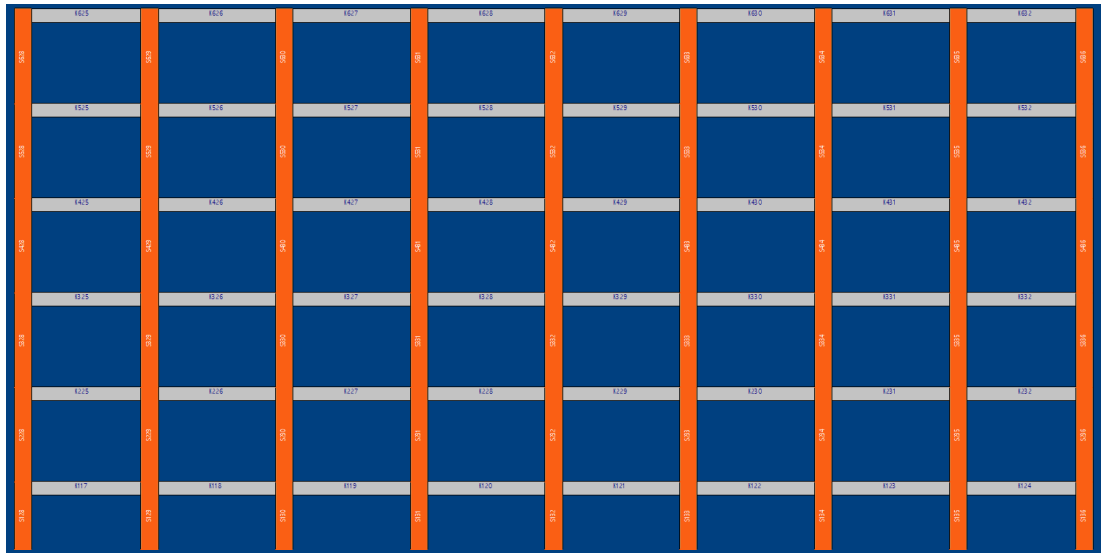
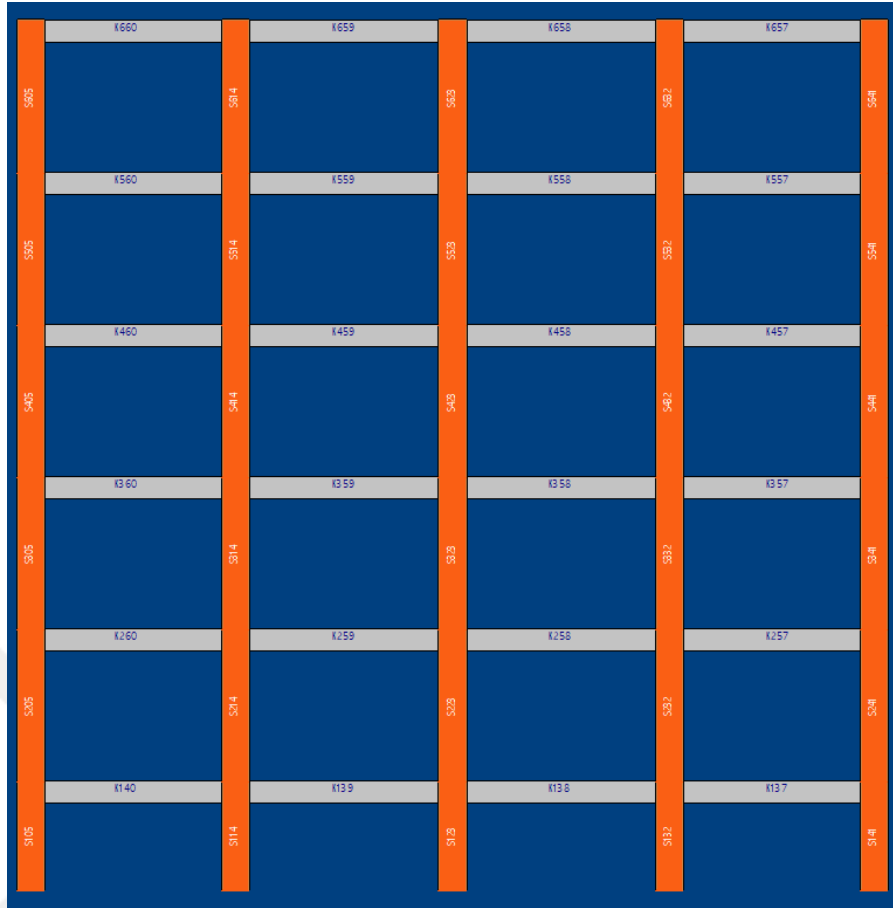
Tasarlanan yapı y-yönünde dört açıklıklı ve x-yönünde sekiz açıklığa sahiptir. Her bir kat 45 kolon, 40 kiriş ve 32 döşemeden oluşmaktadır. Tasarlanan yapı 40 m eninde, 20 m uzunluğunda ve 800 m² oturma alanına sahiptir. Kolonlar 60x60, kirişler 30x50 boyutunda ve döşeme kalınlığı 15 cm olarak seçilmiştir.

Bu bölümde, 6 katlı betonarme çerçeveli yapı ve izolatör sistemine ait modelleme bilgileri verilmiştir. Yapı simetrik olup herhangi bir düzensizlik içermemektedir. Açıklıklar hem x hem de y-yönünde 5 m olarak dikkate alınmıştır. Kat yükseklikleri ise 3,5 m'dir. Temel tipi radye temel olarak seçilmiş olup radye temel yüksekliği 1 m'dir. Şekil 4.12' de yapının kat kalıp planı verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de, sırasıyla yapının 5-5 ve D-D aksına ait kesitler verilmiştir.

Betonarme olarak tasarlanan yapıda C30/37 sınıfı beton ve donatı olarak S420 sınıfı yapı çeliği kullanılmıştır. Tasarlanan yapıda kullanılacak tüm taşıyıcı elemanlar bu malzemeler kullanılarak tanımlanmıştır. İzolatör olarak tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatör kullanılmıştır. İzolatöre gelen yükler yönetmeliğe göre hesaplanarak sisteme tanımlanmış olup, SAP2000 programından üç boyutlu olarak tasarlanmıştır. Döşeme ve radye temel program üzerinden 50 cm şeklinde sonlu elemanlara bölünerek sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapılmıştır. Sistem üzerine eklenecek verilerden sonra zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.12 Tasarımı yapılan yapının kat kalıp planı



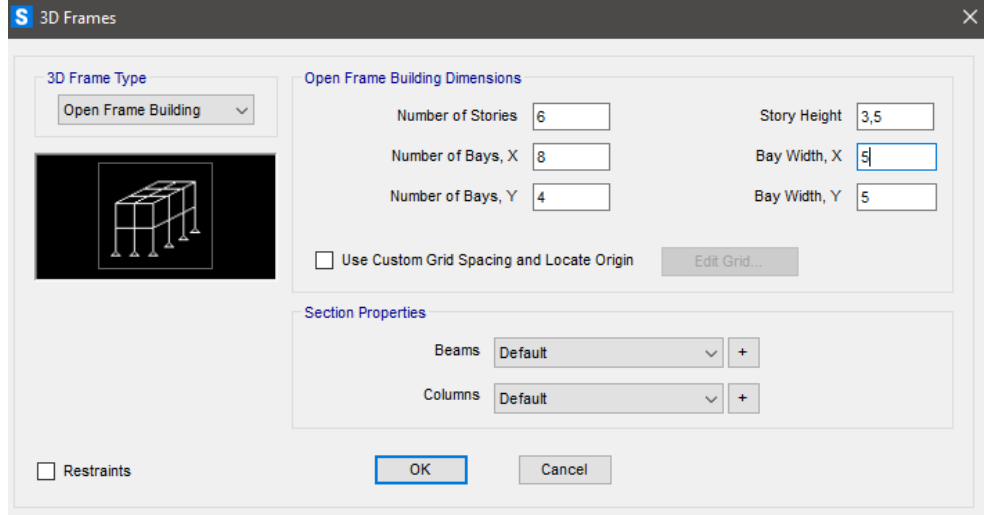
4.4.1 Yapı Modelinin Oluşturulması

SAP2000 yapı analiz programıyla modellenecek yapıya ait bilgiler Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 Yapı bilgileri

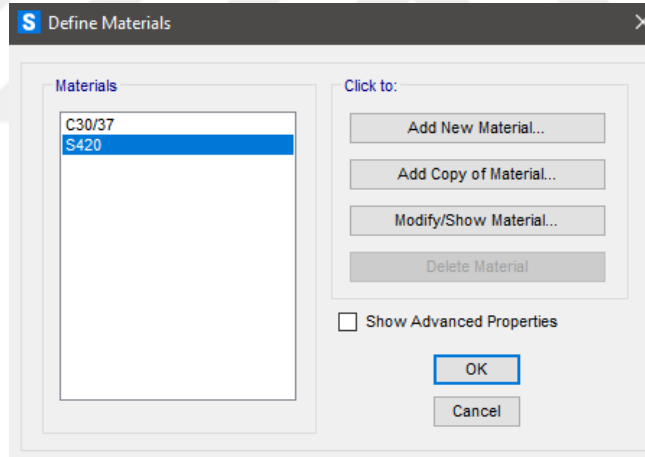
Kat sayısı	6, 12 ve 24 kat
Kat yüksekliği	3,5 m
Yapı toplam yüksekliği	21, 42 ve 84 m
x doğrultusu açıklık sayısı	8
y doğrultusu açıklık sayısı	4
x ve y doğrultusu açıklık mesafesi	500 cm
Yapı oturum alanı	800 m ²
Yapı türü	Konut
Kolon boyutu	60 cm x 60 cm
Kiriş boyutu	30 cm x 50 cm
Döşeme kalınlığı	15 cm
Radye temel yüksekliği	100 cm
Beton sınıfı	C30/37
Donatı çeliği sınıfı	S420
Beton elastisite modülü	32000 MPa
Çelik elastisite modülü	210000 MPa
Yerel zemin sınıfı	ZC
Zemin yatak katsayısı	30000 kN/m ³
Bina önem katsayısı (I)	1
Hareketli yük katılım katsayısı (n)	0,3
Ölü yük	2,0 kN/m ²
Hareketli yük	2,0 kN/m ²
Dış duvar yükü	6,0 kN/m ²
İç duvar yükü	4,0 kN/m ²

SAP2000 programında oluşturulacak yapı üç boyutlu olarak tasarlanacağı için 3D Frames seçilmiştir. 6 katlı yapının her bir kat yüksekliği 3,5 m, x-aksındaki açıklık sayısı 8 ve açıklık 5 m; y-aksındaki açıklık sayısı 4 ve açıklık 5 m olarak Şekil 4.15’de gösterildiği gibi sisteme tanımlanmıştır.



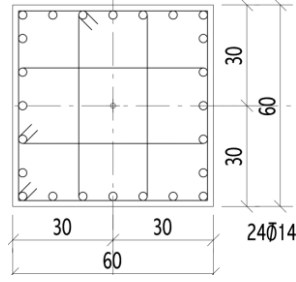
Şekil 4.15 Üç boyutlu çerçevenin sisteme tanımlanması

Sonrasında betonarme elemanlar için beton malzemesi C30/37, donatı malzemesi S420 olarak Şekil 4.16’da verildiği gibi sisteme tanımlanmıştır. C30/37 birim hacim ağırlığı 25 kN/m^3 seçilirken S420 donatının birim hacim ağırlığı 0 olarak girilmiştir.

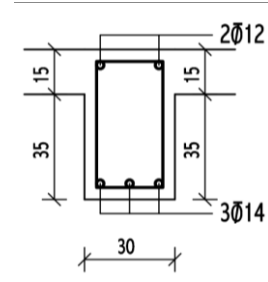


Şekil 4.16 Malzeme özelliklerinin tanımlanması

Taşıyıcı elemanların kesit özellikleri sistem üzerinden tanımlanmıştır. Kolonlar 60x60 tasarlanırken boyuna donatıları 24Ø14 olarak belirlenmiştir. 10 cm arayla Ø8 çapında çift etriye kullanılmıştır. Kolon detayı Şekil 4.17’de verilmektedir. Kirişler ise 30x50 tasarlanırken montaj donatıları 2Ø12 ve düz donatıları 3Ø14 olarak Şekil 4.18’deki gibi belirlenmiştir. Ø8 çapındaki etriye aralıkları 20 cm olarak alınmıştır. Döşeme kalınlığı 15 cm olarak Shell-Thin ve radye temel kalınlığı ise 100 cm olarak Shell-Thick şeklinde atanmıştır.



Şekil 4.17 Kolon donatı detayı



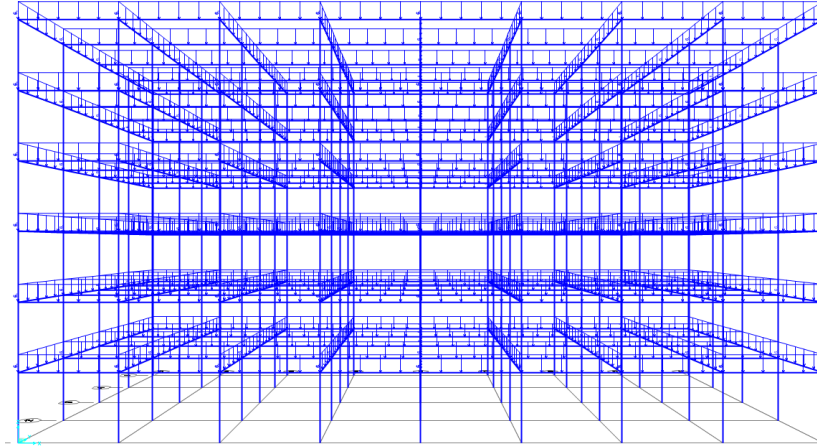
Şekil 4.18 Kiriş donatı detayı

Tüm kesit özellikleri belirlendikten sonra betonarme TBDY 2018'e göre Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları bölümünde verilen elemanların etkin kesit rijitlikleri Tablo 4.5'de sunulmuştur. Bu tabloya göre etkin kesit rijitlikleri sisteme Sections bölümünden tanımlanmıştır. Buna göre kolon ve kirişler için sırasıyla 0,9 ve 0,7 değerleri girilmiştir. Tasarlanan kolon, kiriş, döşeme ve radye temel bilgileri programın ilgili bölümlerine tanımlanarak atanmıştır.

Tablo 4.5 Etkin kesit rijitliği çarpanları

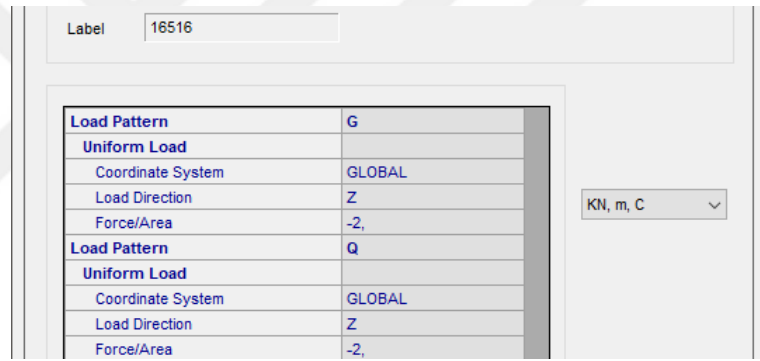
Betonarme taşıyıcı sistem elemanı	Etkin kesit rijitliği çarpanı	
	Eksenel	Kayma
Perde – Döşeme (düzlem içi)		
Perde	0,50	0,50
Bodrum perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
Perde – Döşeme (düzlem dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0,25	1,00
Bodrum perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
Çubuk elemanlar	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,15	1,00
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Perde (eşdeğer çubuk)	0,50	0,50

Döşemeleri sonlu eleman yöntemiyle bölmeden önce hareketli ve ölü yüklerin atanması gerekmektedir. Dış duvar yükleri 6 kN/m^2 , içte kalan duvar yükleri 4 kN/m^2 şeklinde kirişlere düzgün yayılı yük olarak Şekil 4.19'daki gibi etki ettirilmiştir.



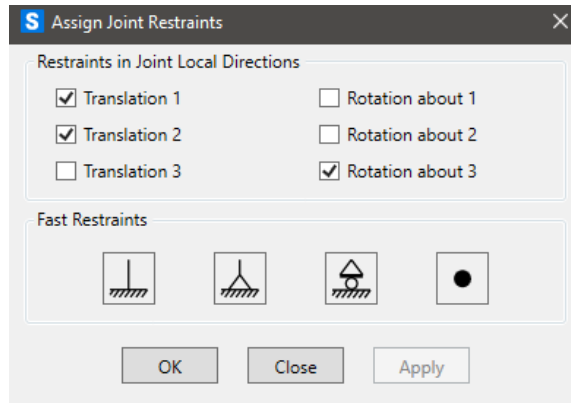
Şekil 4.19 Kirişlere etki ettirilen duvar yükleri

Döşemelere etki eden ölü yük 2 kN/m^2 ve hareketli yük 2 kN/m^2 olarak Şekil 4.20’de görüldüğü gibi etki ettirilmiştir.



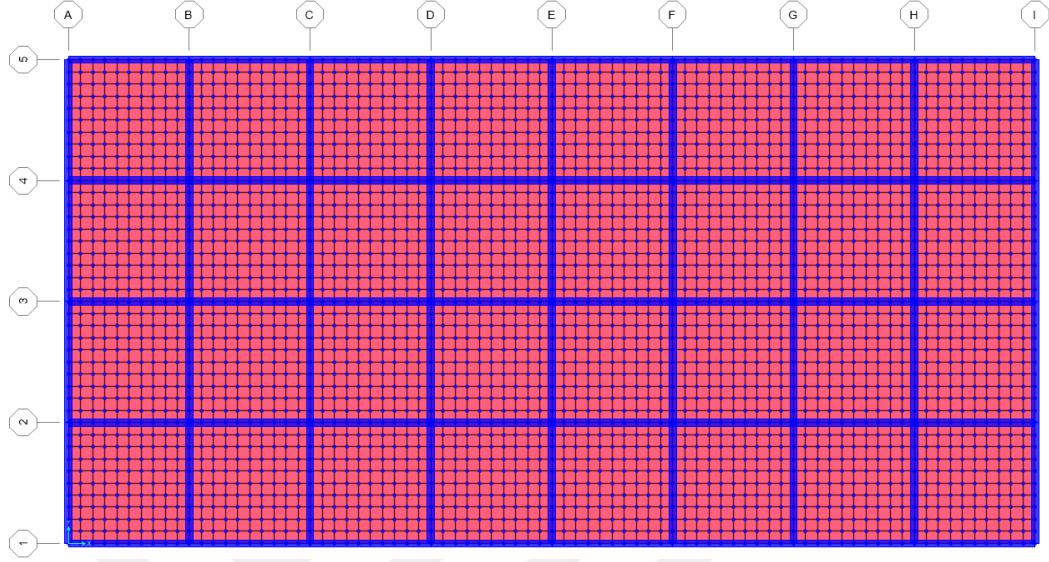
Şekil 4.20 Döşemelere etki ettirilen ölü ve hareketli yükler

Yapının radye temel sistemindeki düğüm noktaları, Şekil 4.21’de görüldüğü gibi 1 ve 2 yönünde ötelenmesi, 3 yönünde dönmesi engellenmiş olarak hareketi sınırlandırılmıştır.

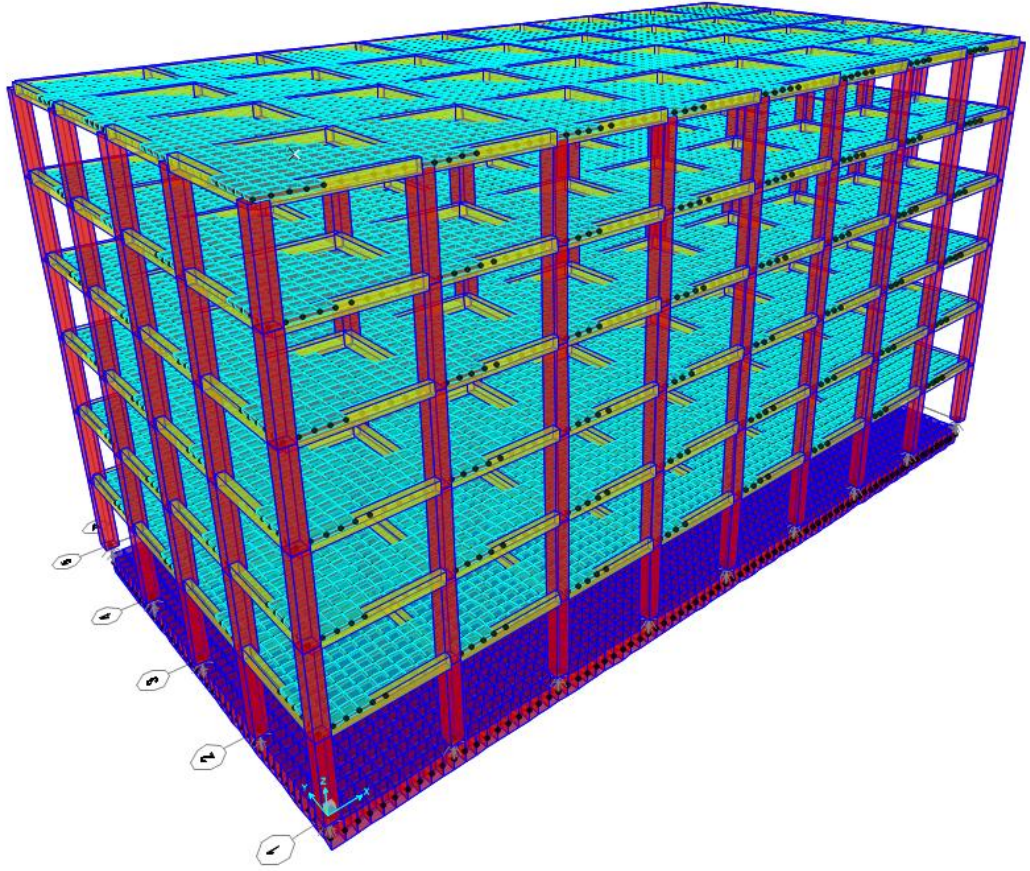


Şekil 4.21 Radye temel in düğüm noktalarına atanan mesnet özellikleri

Döşemelerin ve temellerin 50x50 cm boyutunda kare sonlu elemanlara bölünmüştür. Sonlu elemanlara bölünmüş döşeme sistemi Şekil 4.22’de verilmiştir.

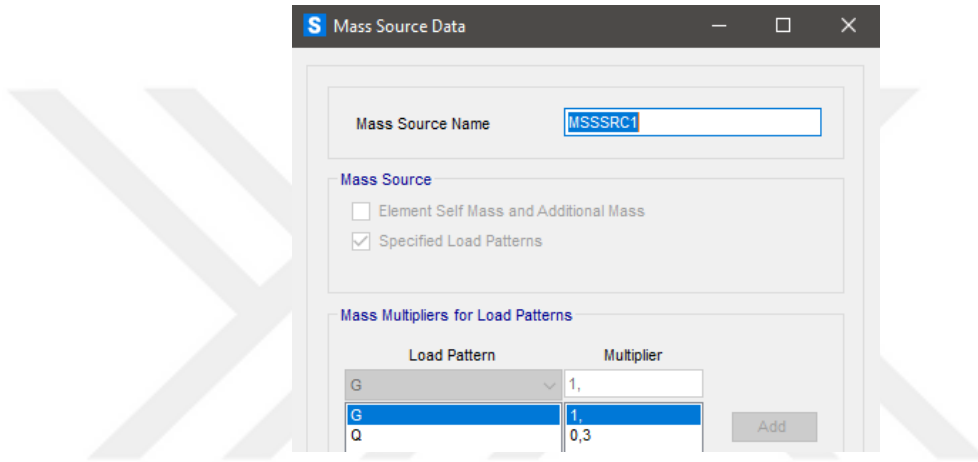


Şekil 4.22 Yapıda sonlu elemanlara bölünmüş döşemeler



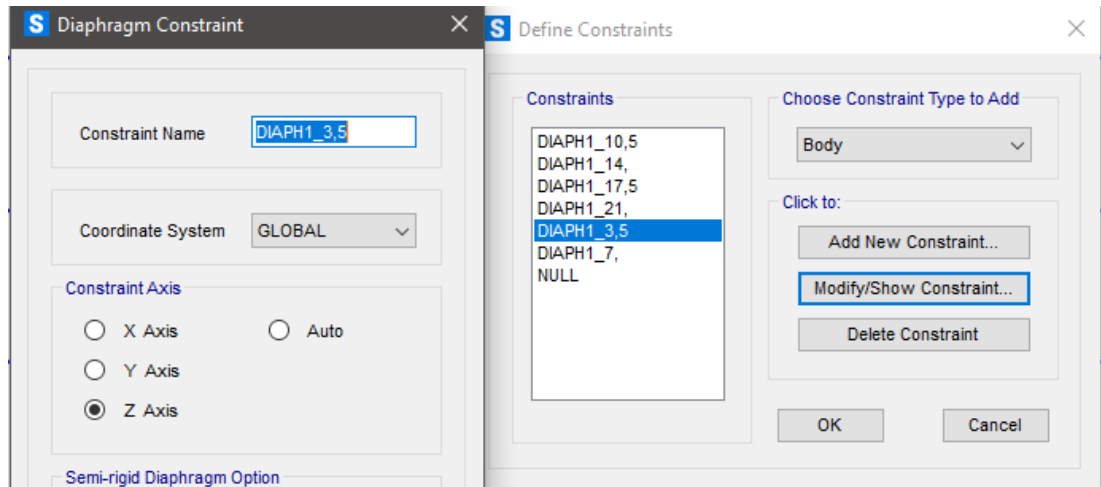
Şekil 4.23 Yapının 3D görünümü

Şekil 4.23’de yapı üç boyutlu olarak görülmektedir. Üç boyutlu bina şekilsel olarak bittikten sonra yük tipi tanımlamaları yapılmak üzere öncelikle ölü yük, hareketli yük ve deprem yükü Load Patterns menüsünden tanımlanmıştır. Yükleme birleşimi olarak $g+nq$ kombinasyonu tanımlanmıştır. Burada n hareketli yük azaltma katsayısını ifade etmektedir ve konutlar için 0,3 değeri alınacaktır. Böylelikle yine bu denklem $g+0,3q$ olarak SAP2000 programına yük kombinasyonu olarak tanımlanmıştır. Analiz esnasında yapı kütlelerinin hesabının dikkate alınabilmesi amacıyla Şekil 4.24’de verildiği gibi Mass Source tanımlanmıştır.



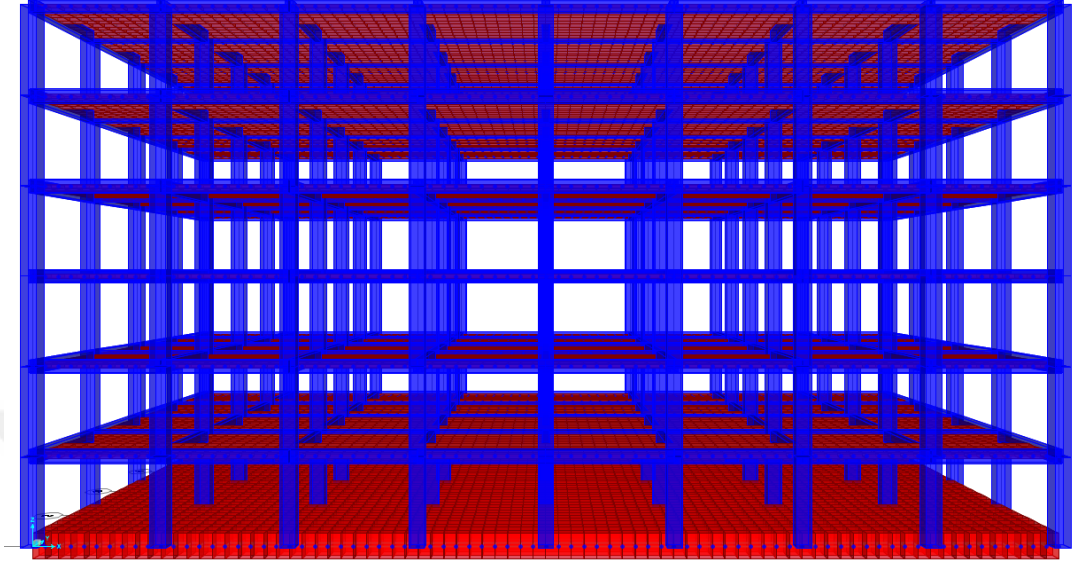
Şekil 4.24 Kütle kaynağının (mass source) tanımlanması

Kat seviyelerindeki düğüm noktalarının yatay yükler altında birlikte hareket edebilmelerini sağlamak için Şekil 4.25’de görüldüğü gibi her bir kata ayrı bir rijit diyafram atanmıştır.

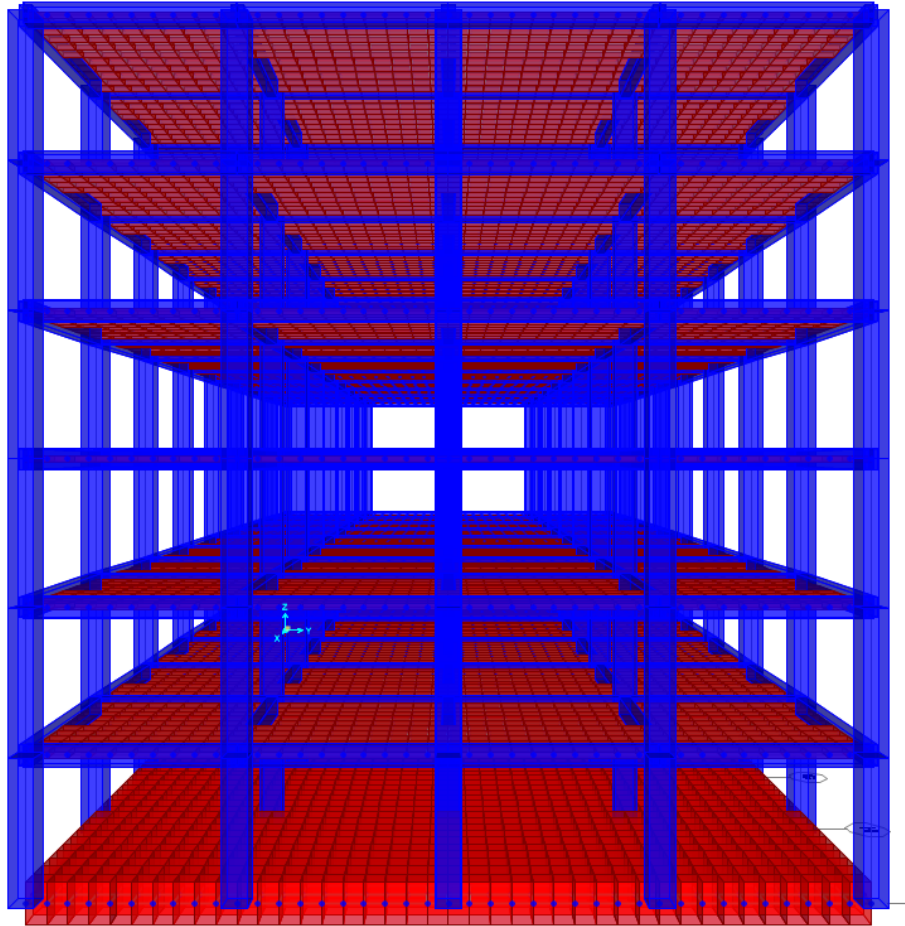


Şekil 4.25 Rijit diyafram tanımlanması

Yapının tasarımı böylelikle tamamlanmıştır ve perspektif görünüşleri Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.26 Yapının x-z perspektif görünümü



Şekil 4.27 Yapının y-z perspektif görünümü

4.4.2 Zaman Tanım Alanında Analiz (Time History Analizi)

Zaman tanım alanında analiz yönteminde yapıların doğrusal elastik (linear) ve doğrusal elastik olmayan (nonlinear) davranışları daha önce kaydedilmiş, suni olarak üretilmiş veya ölçeklendirilmiş ivme kayıtları kullanarak incelenebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, PEER ve AFAD'dan alınan deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. PEER üzerinden alınan Kocaeli depremi ivme kayıtları, 0,005 sn adımlarla ve 5437 adet veriden oluşmaktadır. Alınan ivme kaydı yer çekimi ivmesi (g) ile çarpım halindedir. Maksimum yer ivmesi değeri 0,312g'dir.

İvme kaydının SAP2000'e girilmesi Functions-Time History menüsünden yapılmaktadır. Time history fonksiyonu tanımlanmasına müteakip yükleme durumu (Load Case) tanımlanması gerekmektedir. Ölçek faktörü birime göre seçilmesi önem arz etmektedir. Bu sebeple birim g yani yerçekimi olduğu için Scale Factor kısmına 9,81 m/s² yazılmıştır. Programın ilgili menüsü Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Kocaeli_THX	9,81

Şekil 4.28 Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz bilgileri

4.4.3 Sismik Taban Yalıtımının Tasarlanması

Tasarladığımız yapı için her kolonun altına ve temel üzerine sismik taban yalıtımı tanımlanmıştır. 45 adet tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatör kullanılmıştır. Kullanılacak tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatör için parametreler Tablo 4.6’da verilmiştir. İlgili izolatör tasarımı için Denklem 4.5-4.8 kullanılmıştır. Toplam bina ağırlığı 82816,30 kN olarak elde edilmiştir.

$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad (4.5)$$

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad (4.6)$$

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \quad (4.7)$$

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + D/R_c} \right] \quad (4.8)$$

Tablo 4.6 İzolatör için seçilen parametreler

Etkin eğrilik yarıçapı (R_c)	4,5 m
Etkin sürtünme katsayısı (μ_e)	0,096
Seçilen maksimum yatay yerdeğiştirme (D)	0,30 m
Etkin akma yerdeğiştirmesi (D_y)	0,00254 m
Toplam bina ağırlığı (P,W)	82816,30 kN

TBDY 2018 Madde 14.14.3.3.5’e göre etkin sönüm oranı %30 değeri ile sınırlı olacaktır. Buna göre Denklem 4.8 ile hesaplanan etkin sönüm oranı değeri 0,30’dan büyük olması durumunda 0,30 olarak kabul edilecektir.

Denklem 4.9 sönüm ölçeklendirme katsayısı η ifadesinin hesabı için kullanılmıştır. Burada ξ , yalıtım birimi yerdeğiştirmeleri için hesaplanan etkin sönüm yüzdesidir.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad (4.9)$$

Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için bina etkin periyodu T_D Denklem 4.10 ile hesaplanacaktır. Burada W toplam bina ağırlığını ifade etmektedir.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_e}} \quad (4.10)$$

Denklem 4.10'dan elde edilen T_D değerindeki periyoda karşılık gelen $S_{ae}(T)$, DD-2 deprem düzeyi için elastik spektrum eğrisinden g 'ye bağlı olarak okunmaktadır.

$$S_a = \left(\frac{T_D}{2\pi}\right)^2 \times \frac{S_{ae}(T)}{\eta} \times g \quad (4.11)$$

Denklem 4.11'den hesaplanan S_a maksimum yerdeğiştirmeye kıyaslanmıştır. Hesaplanan ve seçilen yerdeğiştirmeler arasındaki fark sıfıra yaklaşıncaya kadar iterasyon yapılarak yerdeğiştirme kapasitesi hesaplanır.

Yapıda kullanılacak izolatörün yerdeğiştirme kapasitesinin hesaplanabilmesi için 5 iterasyon yapılmıştır. Başta 0,3 m seçilen yerdeğiştirme kapasitesi 5 iterasyon sonunda 0,12 m olarak hesaplanmıştır. Tablo 4.7'de verilen değerler iterasyonlar sonucu bulunmuştur.

Tablo 4.7 İzolatör için düzeltilmiş parametreler

Yerdeğiştirme kapasitesi (D)	0,12 m
Etkin rijitlik (k_e)	84656,66 kN/m
Etkin sönüm oranı (β_e)	0,30
Etkin periyot (T_D)	1,984 sn
Sönüm ölçeklendirme katsayısı (η)	1,374
T_D değerindeki periyoda karşılık gelen $S_{ae}(T)$	0,170 g

Tasarlanan izolatörün SAP2000 sistemine girebilmek için tek bir izolatöre gelen yükü bularak etkin rijitlik hesaplanmıştır. Bir izolatöre gelen düşey yük 1804,80 kN olarak hesaplanmıştır. Tek izolatöre gelen düşey yüke göre etkin rijitlik Denklem 4.7'ye göre hesaplanmıştır. Tablo 4.8'de verilen tek izolatöre ait düzeltilmiş parametreler SAP2000 programına girilmiştir.

Tablo 4.8 Tek izolatör için düzeltilmiş parametreler

Yerdeğiştirme kapasitesi (D)	0,12 m
Etkin rijitlik (k_e)	1844,89 kN/m
Tek izolatöre gelen düşey yük (P)	1804,80 kN
Etkin sönüm oranı (β_e)	0,30
Etkin periyot (T_D)	1,984 sn
Sönüm ölçeklendirme katsayısı (η)	1,374
T_D değerindeki periyoda karşılık gelen S_{ae} (T)	0,170 g

Bir izolatöre gelen yüklere göre belirlenen akma sınırındaki rijitlik Denklem 4.12’de verildiği gibi etkin akma yerdeğiştirmesi D_y ifadesine bağlı olarak bulunabilmektedir.

$$k_1 = \frac{\mu_e P}{D_y} \quad (4.12)$$

Denklem 4.12 sonucunda $k_1 = 68613,18$ kN olarak bulunmuştur. Bu değer U2 ve U3’e karşılık gelen Stiffness değerleri için kullanılmıştır. Etkin sönüm oranı yönetmeliğe göre 0,30 olarak dikkate alınmıştır.

Şekil 4.29 İzolatörün tanımlanması

SAP2000 modelinde sismik izolatörü tanımlamak için Link/Support Properties menüsü kullanılmaktadır.

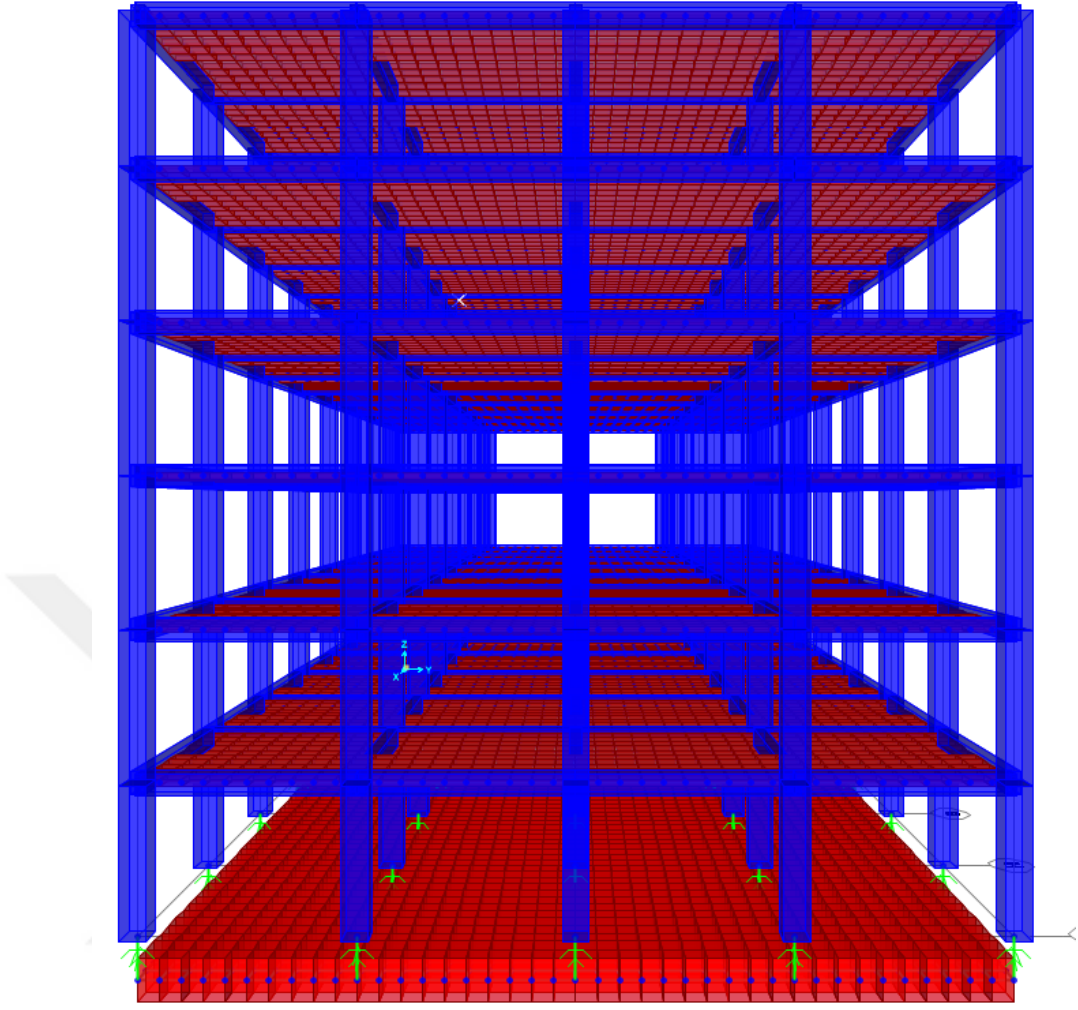
Tek eğrilikli sürtünmeli sarkaç izolatör kullanılacağı için izolatör tipi, sistemde mevcut olan Friction Isolator olarak Şekil 4.29’da gösterildiği gibi seçilmiştir. U1, U2 ve U3 yönlerinde sönümleme yapılması tercih edilmiştir. Hepsi doğrusal olmayan (nonlinear) olarak işaretlenmiştir. Modify sekmesinde U1, U2 ve U3’e ilgili denklemlerden elde edilen değerlerin girilmesi gerekmektedir.

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	FPS
Direction	U2
Type	Friction Isolator
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	1845
Effective Damping	0,3
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0,3
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	68613,18
Friction Coefficient, Slow	0,096
Friction Coefficient, Fast	0,096
Rate Parameter	1
Net Pendulum Radius	4,5

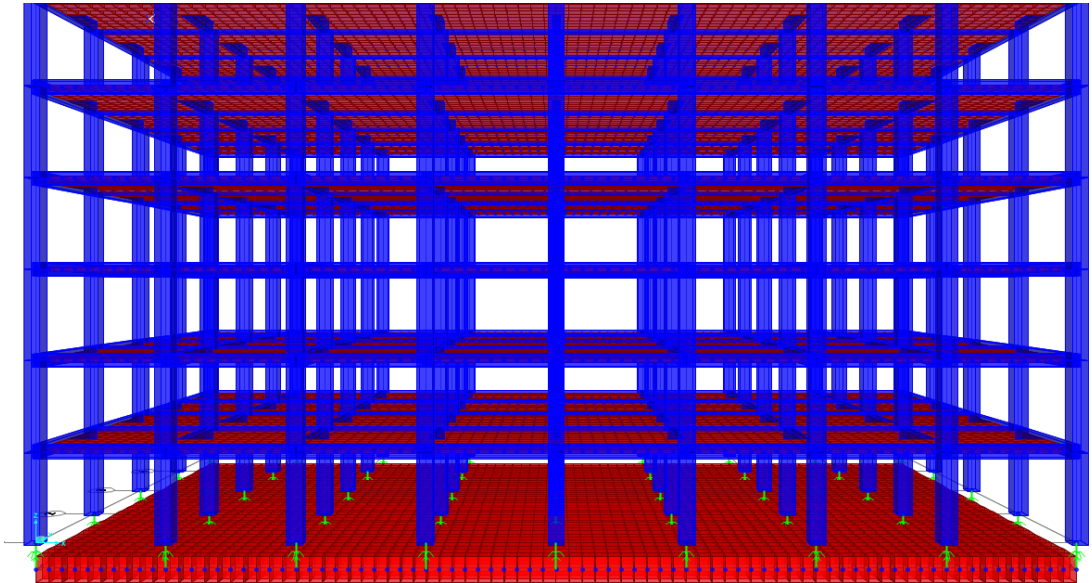
Şekil 4.30 İzolatörün U2 ve U3 verileri

U1 düzenlenirken etkin rijitlik değeri izolatörün düşey rijitliği çok yüksek olduğu için 3000000 kN/m olarak alınmıştır. U2 ve U3 için ise etkin rijitlik değeri 1845 kN/m olarak girilmiştir. Etkin sönüm oranı ise 0,30 olarak alınmıştır. SAP2000 modeline bu değerler Şekil 4.31 de verildiği gibi tanımlanmıştır.

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de sismik izolatörler eklenmiş x-z ve y-z yapı perspektifleri gösterilmiştir.



Şekil 4.31 İzolatörlü yapının y-z perspektif görünümü



Şekil 4.32 İzolatörlü yapının x-z perspektif görünümü

5. ANALİZ

Bu bölümde 6, 12 ve 24 katlı betonarme çerçeve üç adet yapının rijit mesnetli ve sismik taban yalıtımlı durumları dikkate alınarak; 7,6 büyüklüğündeki 1999 Kocaeli-Gölcük, 7,7 büyüklüğündeki 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık ve 5,8 büyüklüğündeki 1977 Kastamonu depremlerine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler ve elde edilen sonuçlar bu bölümde sunulmaktadır.

5.1 6 Katlı Betonarme Çerçeve Yapı Analizi

6 katlı betonarme çerçeve yapının rijit mesnetli ve sismik taban yalıtımlı olarak Kocaeli-Gölcük, Kahramanmaraş-Pazarcık ve Kastamonu depremlerine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır.

Rijit mesnetli yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları Tablo 5.1’de verilmiştir. Analiz sonucuna göre yapının hâkim periyodu 1,0571 sn olarak bulunmuştur.

Tablo 5.1 Modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot (sn)	UX	UY	UZ	TopUX	TopUY	TopUZ
1	1,0571	0,0000	0,8020	0,0000	0,0000	0,8020	0,0000
2	1,0012	0,8051	0,0000	0,0000	0,8051	0,8020	0,0000
3	0,9347	0,0000	0,0000	0,0000	0,8051	0,8020	0,0000
4	0,3089	0,0000	0,1105	0,0000	0,8051	0,9125	0,0000
5	0,3002	0,1084	0,0000	0,0000	0,9134	0,9125	0,0000
6	0,2809	0,0000	0,0000	0,0000	0,9134	0,9125	0,0000
7	0,1640	0,0000	0,0397	0,0000	0,9134	0,9521	0,0000
8	0,1600	0,0404	0,0000	0,0000	0,9539	0,9521	0,0000
9	0,1493	0,0000	0,0000	0,0000	0,9539	0,9521	0,0000
10	0,1450	0,0000	0,0000	0,7874	0,9539	0,9521	0,7874
11	0,1438	0,0039	0,0000	0,0000	0,9578	0,9521	0,7874
12	0,1410	0,0000	0,0053	0,0000	0,9578	0,9574	0,7874

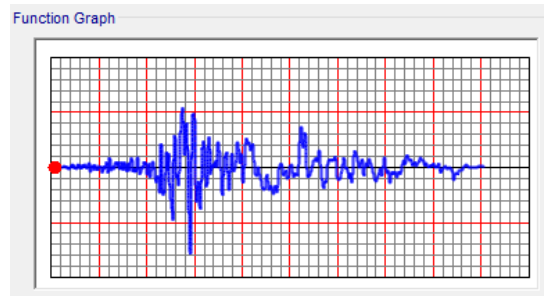
6 katlı izolatörlü yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları Tablo 5.2’de verilmiştir. Analiz sonucuna göre yapının hâkim periyodu 1,3405 sn olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.2 İzolatörlü yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot (sn)	UX	UY	UZ	TopUX	TopUY	TopUZ
1	1,3405	0,0000	0,5728	0,0000	0,0000	0,5728	0,0000
2	1,2776	0,5572	0,0000	0,0000	0,5572	0,5728	0,0000
3	1,1877	0,0000	0,0000	0,0000	0,5572	0,5728	0,0000
4	0,9857	0,0000	0,3474	0,0000	0,5572	0,9202	0,0000
5	0,9848	0,3672	0,0000	0,0000	0,9243	0,9202	0,0000
6	0,8650	0,0000	0,0000	0,0000	0,9243	0,9202	0,0000
7	0,3764	0,0000	0,0586	0,0000	0,9243	0,9788	0,0000
8	0,3636	0,0553	0,0000	0,0000	0,9796	0,9788	0,0000
9	0,3387	0,0000	0,0000	0,0000	0,9796	0,9788	0,0000
10	0,1857	0,0000	0,0136	0,0000	0,9796	0,9924	0,0000
11	0,1817	0,0132	0,0000	0,0000	0,9928	0,9924	0,0000
12	0,1690	0,0000	0,0000	0,0000	0,9928	0,9924	0,0000

5.1.1 Kocaeli-Gölcük Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Bu kısımda, 6 katlı 21 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçeveli yapıya 1999 Kocaeli-Gölcük depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapıda izolatör kullanılmamış rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Daha sonra yapı izolatörlü olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

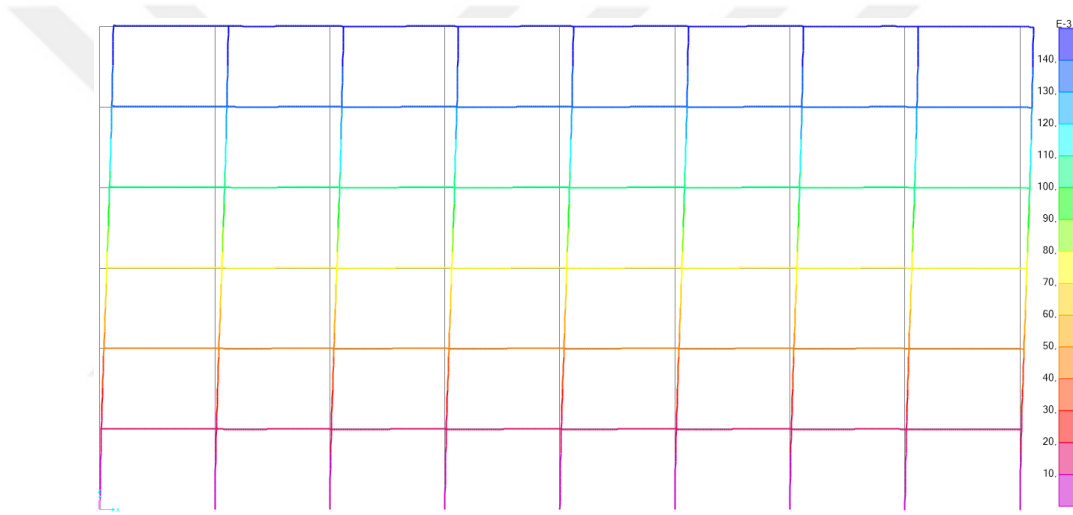


Şekil 5.1 Analiz için tanımlanan Kocaeli-Gölcük depremi ivme zaman grafiği

Şekil 5.1’de verildiği gibi PEER deprem veri tabanından alınan ivme kayıtları SAP2000 yapı analizi programına tanımlanmıştır. İvme kaydında 0,005 sn aralığında toplam 5437 veri bulunmaktadır.

5.1.1.1 Rijit mesnetli yapı analizi

6 katlı betonarme çerçevesi yapının doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi yapılarak Kocaeli depreminin etkisi incelenmiştir. İlk olarak yapı rijit temelli olarak analiz yapılmıştır. En büyük yerdeğiştirme değeri 8,94 sn anında gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme durumu Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



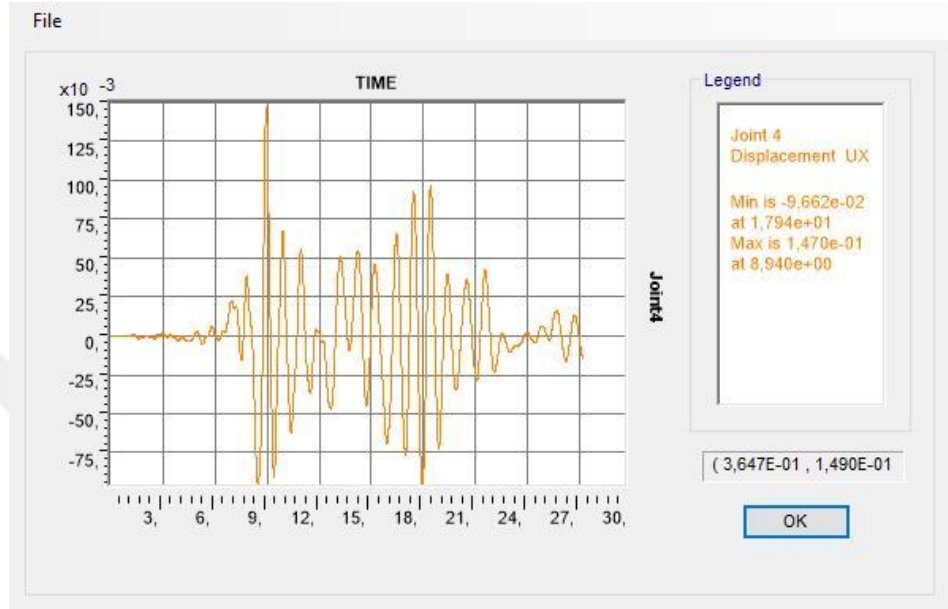
Şekil 5.2 Rijit mesnetli yapının 8,94 sn anındaki yerdeğiştirme durumu

Yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları seçilerek deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

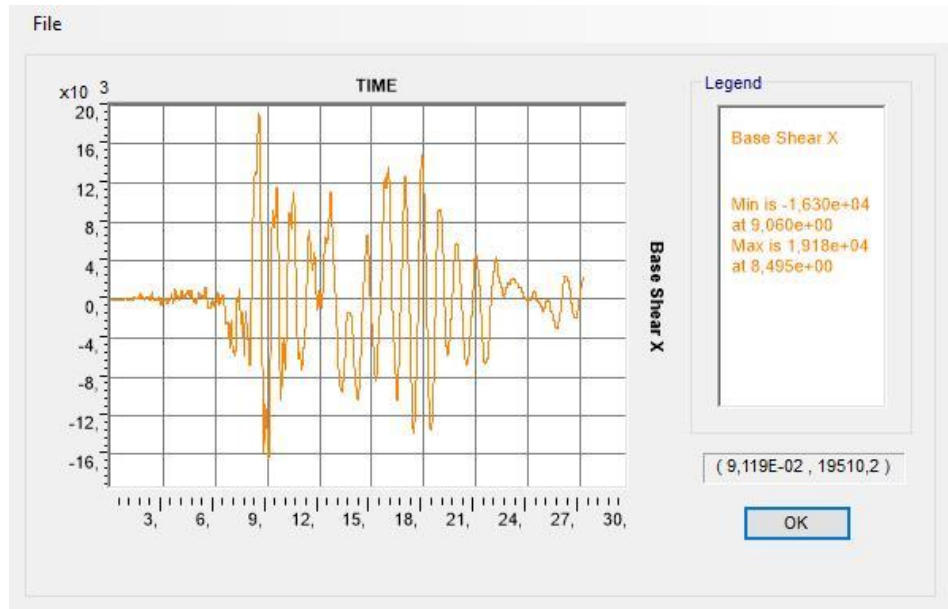
Tablo 5.3 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri

Kat	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
6	0,0001	0,14704	-10,51801
5	-0,01686	0,13007	-7,64327
4	-0,0419	0,10504	-4,60323
3	-0,07202	0,07492	-2,65756
2	-0,10306	0,04377	-1,49757
1	-0,13104	0,01589	-0,63968
0	-0,14694	0	0

Tepe noktası deplasmanı için A-1 aksının 6. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.3’de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 8,94 sn anında 0,147 m, ters yöndeki en büyük yerdeğiştirme ise 17,94 sn anında -0,096 m olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.3 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

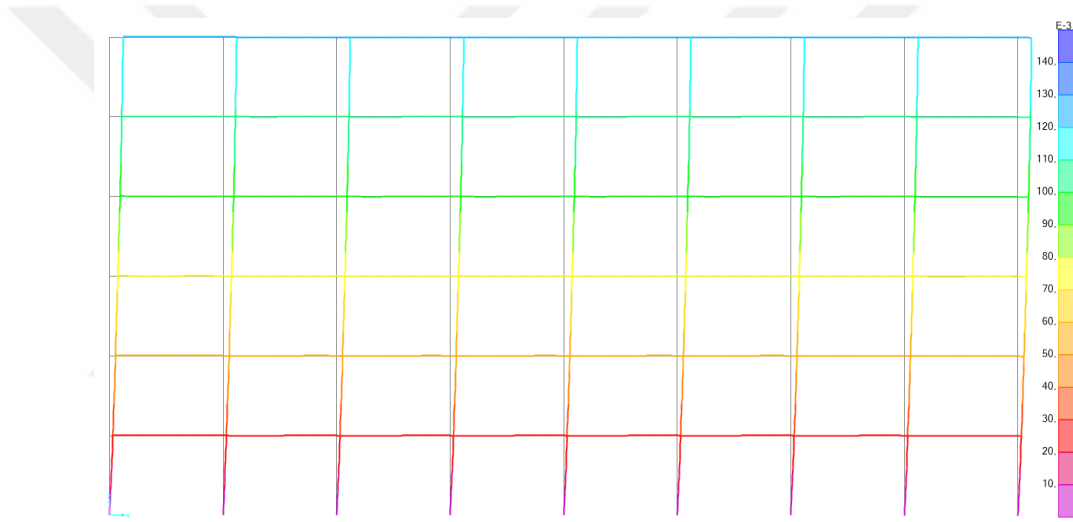


Şekil 5.4 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri grafiği ise Şekil 5.4’de verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 8,495 sn anında 19180 kN, ters doğrultuda en yüksek taban kesme kuvveti ise 9,06 sn anında -16300 kN olarak gösterilmiştir.

5.1.1.2 İzolatörlü yapı analizi

6 katlı betonarme çerçevesi yapıda izolatör kullanılarak analiz tekrar edilmiştir. En yüksek yerdeğiştirme olan 0,120 m değeri 9,025 sn anında gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme dikkate alınmıştır. Yapının bu yerdeğiştirmesi Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



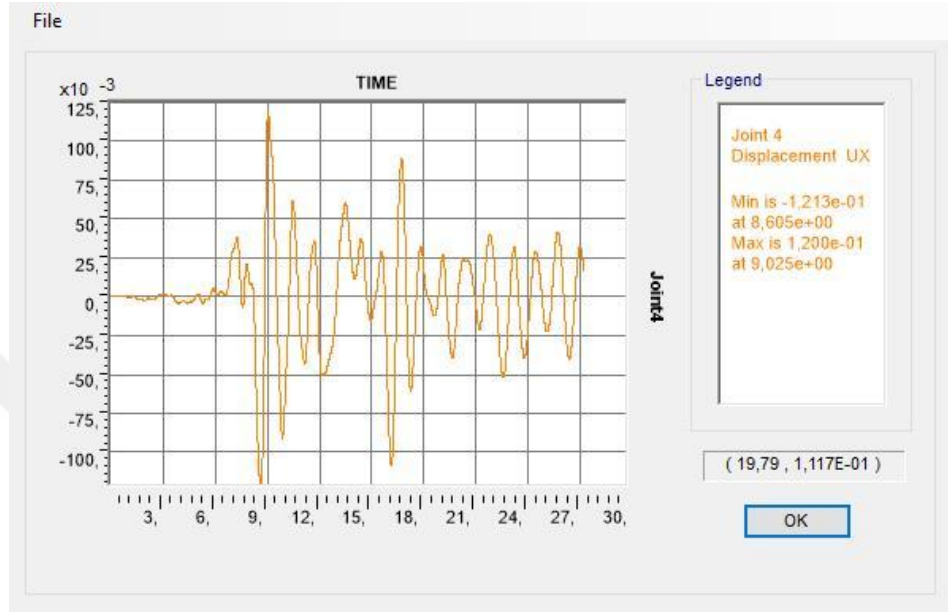
Şekil 5.5 İzolatörlü yapının 9,025 sn anında yerdeğiştirmesi

Yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları seçilmiştir. Deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.4’te verilmiştir.

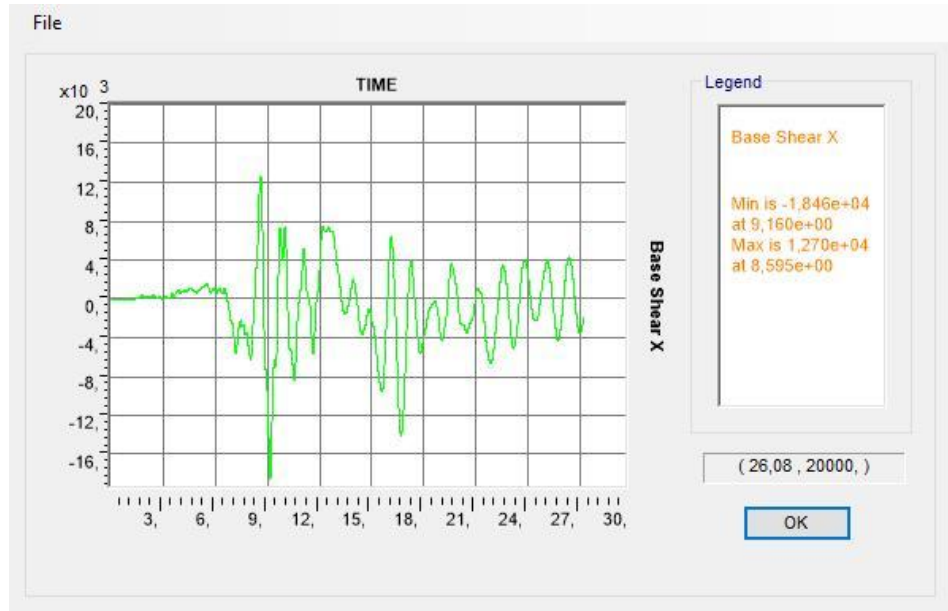
Tablo 5.4 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri

Kat	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
6	-0,02401	0,12002	-5,28221
5	-0,03498	0,10904	-4,13909
4	-0,05089	0,09314	-2,46698
3	-0,06997	0,07405	-0,67813
2	-0,09089	0,05313	0,58281
1	-0,11417	0,02985	0,82696
0	-0,14403	0	0

Tepe noktası deplasmanı için A-1 aksının 6. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.6’da verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 9,025 sn anında 0,120 m, ters yönde en büyük yerdeğiştirme ise 8,605 sn anında -0,1213 m olarak verilmiştir.



Şekil 5.6 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları

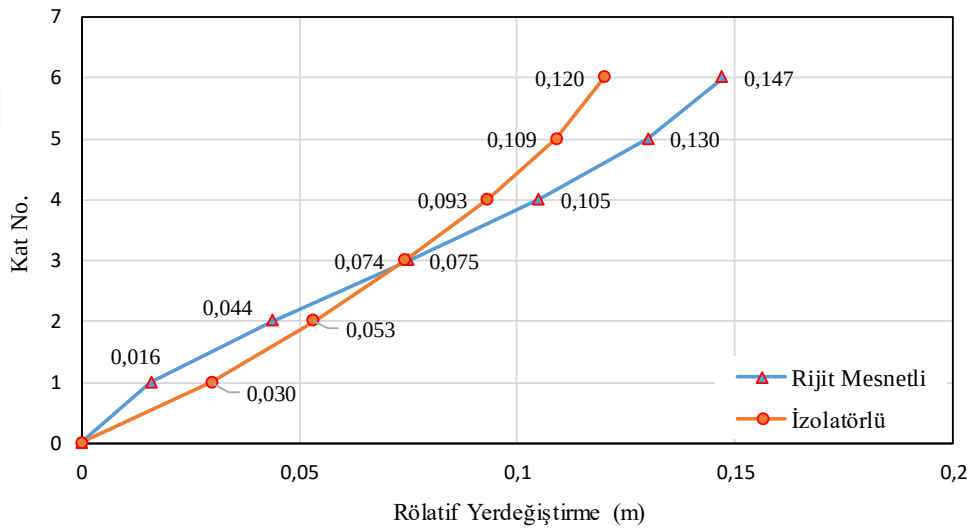


Şekil 5.7 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri

İzolatörlü yapının taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.7’de verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 8,595 sn anında 12700 kN, ters yönde oluşan en yüksek taban kesme kuvveti ise 9,16 sn anında -18460 kN olarak verilmiştir.

5.1.1.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Rijit mesnetli ve izolatörlü yapı için dikkate alınan 1999 Kocaeli-Gölcük depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.

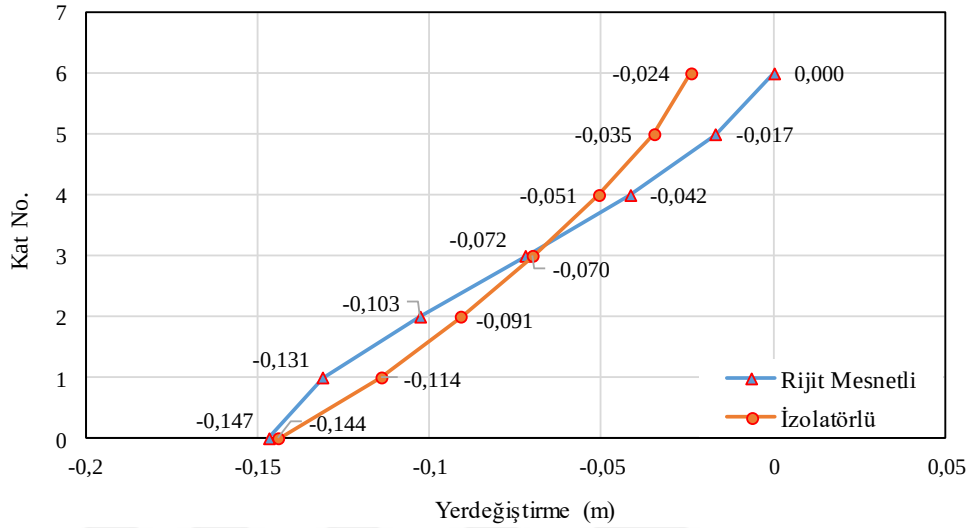


Şekil 5.8 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri

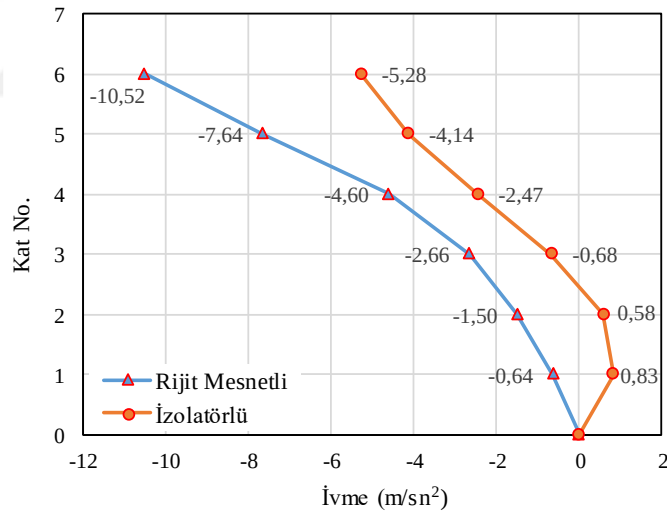
Şekil 5.8’de verilen grafik, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik yükler altında özellikle üçüncü kattan sonra rölatif yerdeğiştirmeleri büyük ölçüde azalttığını ve yapının daha güvenli bir performans sergilemesini sağladığını açıkça göstermektedir. Ancak, alt katlar için bu etkinin sınırlı seviyede kaldığı görülmektedir.

Şekil 5.9’da verilen grafik, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik yükler altındaki performansını açıkça göstermektedir. İzolatörlü yapı, rijit mesnetli yapıya kıyasla ilk üç katta daha düşük yerdeğiştirme göstermektedir. Bu durum, sismik taban yalıtımının alt katlardaki hareketi etkin bir şekilde sönümlediğini ve yapı üzerinde daha az deformasyona yol açtığını kanıtlamaktadır. Üst katlara doğru her iki yapı türünde yerdeğiştirme değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmüyor. Bu, sismik taban yalıtımı etkinliğinin alt katlarda daha belirgin olduğunu ve üst katlarda yapının doğal salınım

davranışlarının devreye girdiğini işaret etmektedir. Yatay ekseninde yer alan negatif değerler, yapının sismik etkiler altındaki yönlü yerdeğiştirme davranışını göstermektedir.

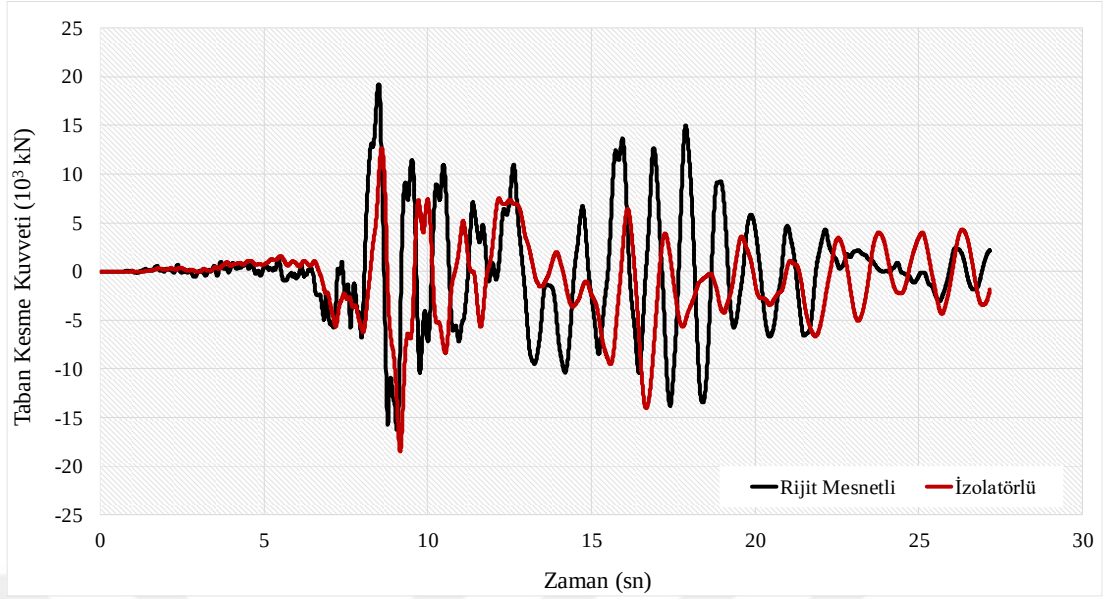


Şekil 5.9 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri



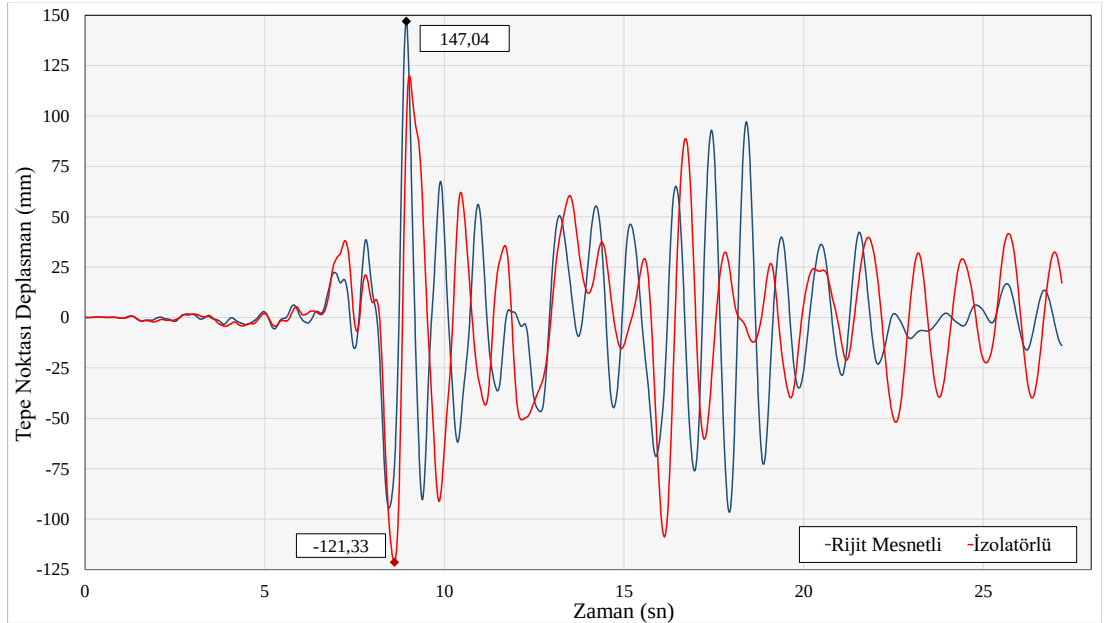
Şekil 5.10 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri

Şekil 5.10'da görüldüğü üzere sismik taban yalıtımı sistemlerinin yapının farklı katlarında ivme değerlerini büyük ölçüde azalttığını açıkça ortaya koymaktadır. İzolatörler, özellikle alt katlarda etkili bir sönümlenme sağlayarak hem yapısal güvenliği artırmakta hem de üst katlara ulaşan ivme yüklerini azaltmaktadır. Rijit mesnetli yapılar ise, büyük ivmelere maruz kalması ve katlar arası ivme farklılıklarının yüksek olması nedeniyle daha şiddetli bir sismik performans sergilemektedir.



Şekil 5.11 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

İzolatörlü yapı, kuvvetlerin büyüklüğünü düşürmekle kalmayıp, dalgalanmanın şiddetini de azaltmaktadır. Şekil 5.11, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik enerjiyi sönümleyerek yapı üzerindeki yükleri daha etkili bir şekilde nasıl kontrol ettiğini göstermektedir. Rijit mesnetli yapıda, kuvvetlerin dalgalanması ve pik değerler daha belirgindir, bu da enerjinin yapıya daha fazla iletildiğine işaret etmektedir.



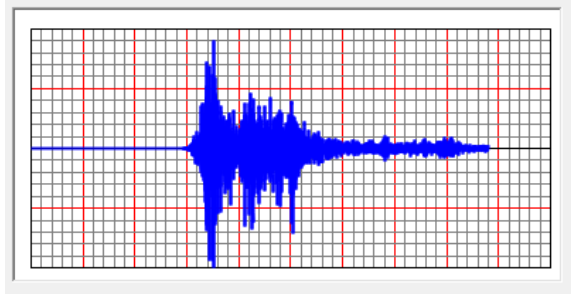
Şekil 5.12 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Rijit mesnetli yapı, daha büyük genliklere sahiptir. Bu durum, rijit mesnetli bir yapının sismik yükler altındaki tepe noktası hareketlerinin daha şiddetli olduğunu ve deprem enerjisinin büyük kısmının yapıya aktarıldığını göstermektedir. İzolatörlü yapı, daha düşük genliklerle tepe noktası deplasmanı sergilemektedir. Şekil 5.12, sismik taban yalıtımı sistemlerinin yapının hareketlerini kontrol altında tutarak sismik enerjiyi sönümlediğini açıkça göstermektedir.

5.1.2 Kahramanmaraş-Pazarcık Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Bu kısımda, 6 katlı 21 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçeveli yapıya 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapıda izolatör kullanılmamış rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Daha sonra yapı izolatörlü olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

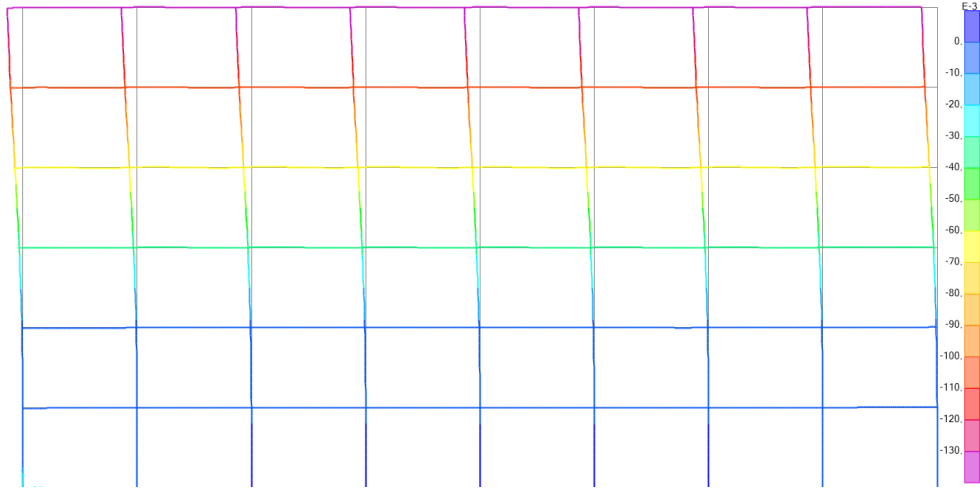
Şekil 5.13’de verildiği gibi AFAD Türkiye İvme Veritabanı üzerinden elde edilen ivme kayıtları SAP2000 yapı analizi programına tanımlanmıştır. İvme kaydında 0,01 sn aralığında toplam 10501 veri bulunmaktadır.



Şekil 5.13 Analiz için tanımlanan Kahramanmaraş-Pazarcık depremi ivme zaman grafiği

5.1.2.1 Rijit mesnetli yapı analizi

6 katlı betonarme çerçeveli yapının doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi yapılarak Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin etkisi incelenmiştir. İlk olarak yapı rijit temelli olarak analiz yapılmıştır. En büyük yerdeğiştirme olan 0,137 m değeri 50,22 sn anında gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme değeri dikkate alınmıştır. Analiz sonucunda yapının deformasyonu Şekil 5.14’de gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Rijit mesnetli yapının 50,22 sn anındaki yerdeğiştirme durumu

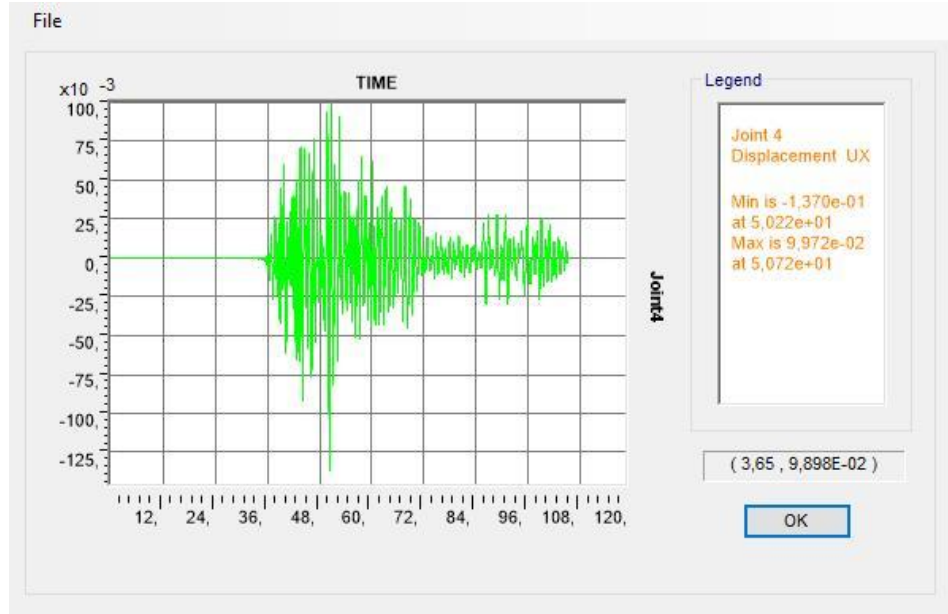
Burada, yapının A-1 aksındaki düğüm noktaları seçilmiştir. Deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri

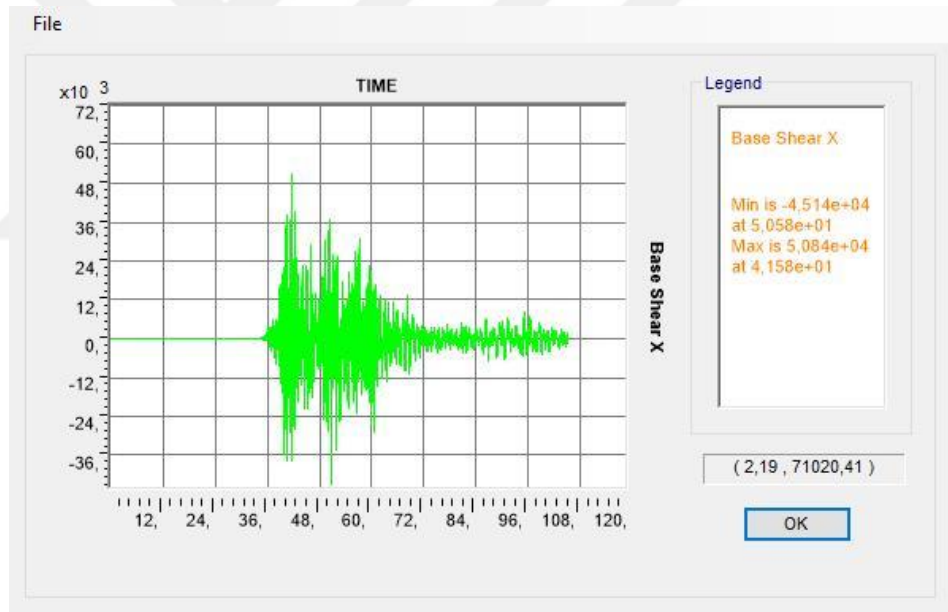
Kat	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
6	0,21807	-0,13703	20,06635
5	0,24709	-0,108	11,03996
4	0,28583	-0,06926	0,00449
3	0,32251	-0,03258	-8,05829
2	0,34624	-0,00885	-9,4689
1	0,35465	-4,37E-04	-4,77105
0	0,35509	0	0

Tepe noktası deplasmanı için A-1 aksının 6. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için programda yapılan analiz neticesinde elde edilen grafik Şekil 5.15'de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 50,72 sn anında 0,097 m, ters yöndeki en büyük yerdeğiştirme ise 50,22 sn anında -0,137 m olarak verilmiştir.

Taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.16'da verilmiştir. Buna göre en büyük taban kesme kuvveti 41,58 sn anında 50840 kN, ters yöndeki en büyük taban kesme kuvveti ise 50,58 sn anında -45140 kN olarak verilmiştir.



Şekil 5.15 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları



Şekil 5.16 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

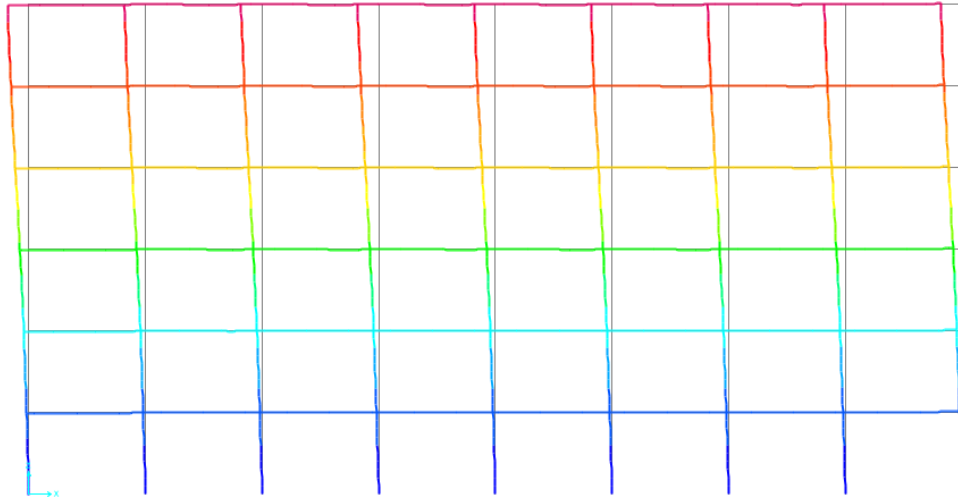
5.1.2.2 İzolatörlü yapı analizi

6 katlı betonarme çerçeve yapıda izolatör kullanılarak analiz tekrar edilmiştir. Yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları karşılaştırılmak üzere seçilmiştir. Deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.6'de verilmiştir.

Tablo 5.6 İzolatörlü Yapı Deplasman ve İvme Değerleri

Kat	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn^2)
6	0,24989	-0,11377	10,92101
5	0,26737	-0,09628	6,65059
4	0,29096	-0,07269	1,66966
3	0,31518	-0,04847	-2,01813
2	0,33545	-0,0282	-3,36977
1	0,35073	-0,01293	-2,58882
0	0,36365	0	0

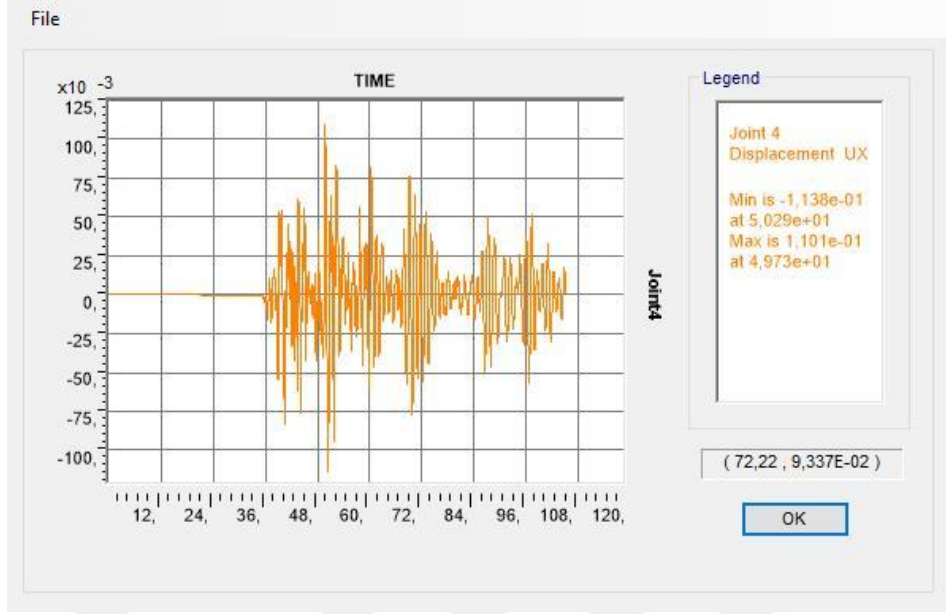
6 katlı betonarme çerçeveli yapıda izolatör kullanıldığı durumda Şekil 5.17'deki gibi yapı deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme olan 0,1138 m değeri 50,29 sn anında gerçekleştiği için bu zamana ait yapı yerdeğiştirme durumu gösterilmiştir.



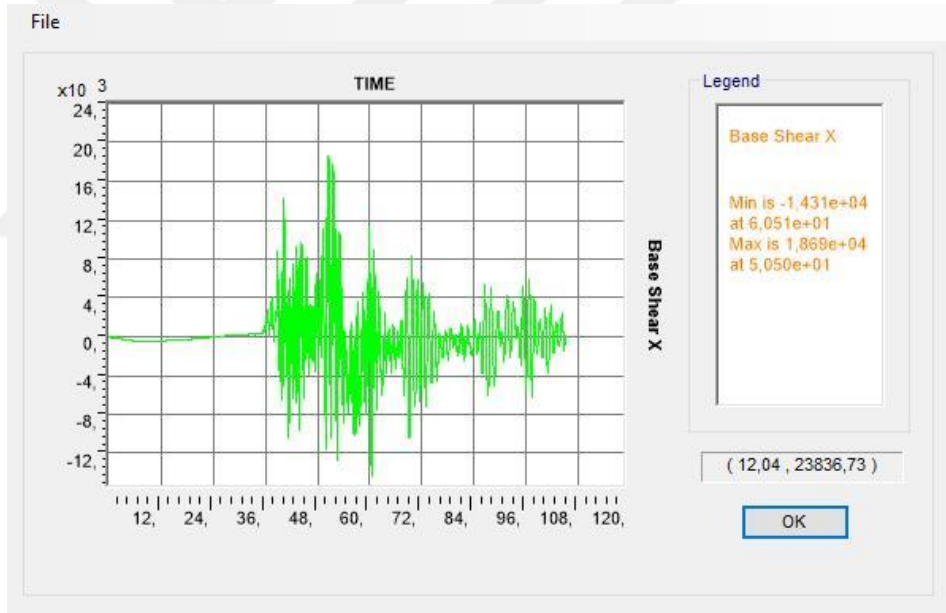
Şekil 5.17 İzolatörlü yapının 50,29 sn anında yerdeğiştirmesi

Tepe noktası deplasmanı için A-1 aksının 6. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Yapıya ait tepe noktası deplasman değerlerinin grafiği ise Şekil 5.18'de gösterilmektedir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 49,73 sn anında 0,1101 m, ters yönde en büyük yerdeğiştirme ise 50,29 sn anında -0,1138 m olarak verilmiştir.

Taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.19'da verilmiştir. Buna göre en büyük taban kesme kuvveti 50,50 sn anında 18690 kN, ters yönde en büyük taban kesme kuvveti ise 60,51 sn anında -14310 kN olarak bulunmuştur.



Şekil 5.18 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları

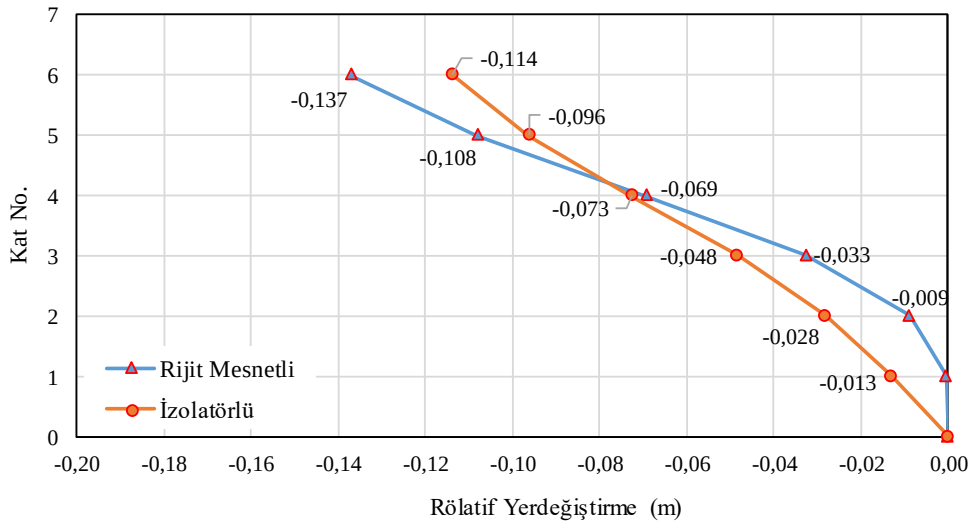


Şekil 5.19 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri

5.1.2.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Rijit mesnetli ve izolatörlü yapı için dikkate alınan 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.

Şekil 5.20’de verilen grafik izolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmelerini göstermektedir.

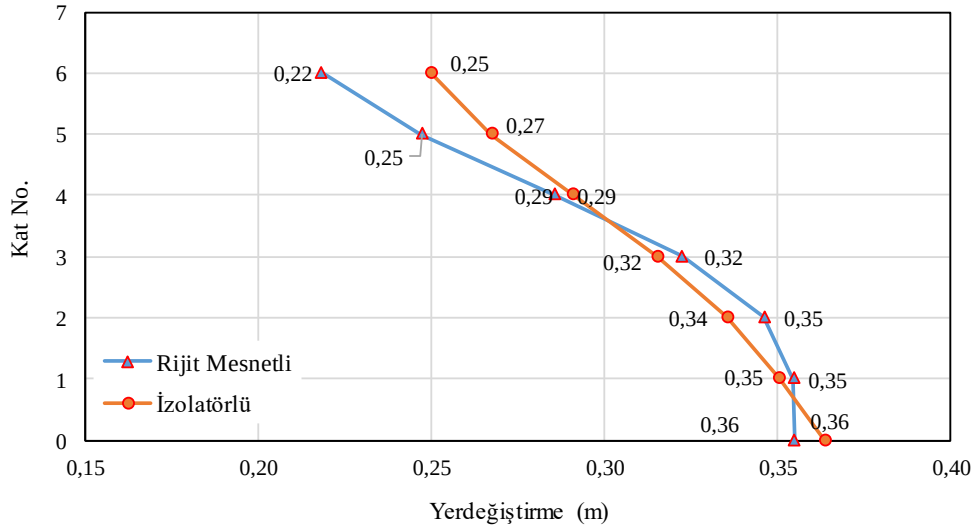


Şekil 5.20 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri

İzolatör kullanılan yapıların özellikle üst katlarda daha düşük rölatif yerdeğiştirme değerlerine sahip olması izolatörlerin deprem yüklerini tabanda sönümleyerek üst katlara etki eden deprem kuvvetini azalttığını doğrulamaktadır. Rijit mesnetli yapıda ise, özellikle üst katlarda daha büyük rölatif yerdeğiştirme olması izolatör kullanılmayan yapıların sismik performansının daha düşük ve deprem yüklerine karşı daha savunmasız olduğu görülmektedir.

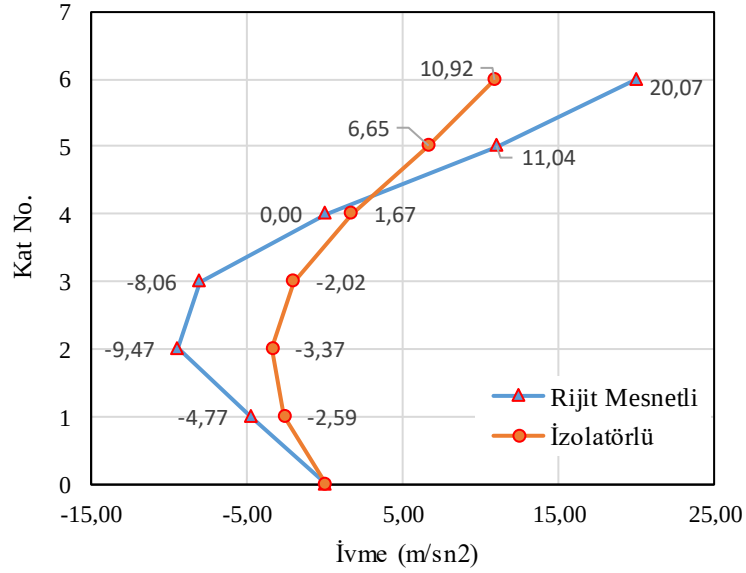
Sismik taban yalıtımı uygulamasının üst katlardaki deprem etkilerini sönümleyerek yerdeğiştirme değerlerini önemli ölçüde azalttığını ve yapının deprem performansını iyileştirdiğini açıkça göstermektedir. Alt katlarda (1-4) rijit mesnetli yapı ve izolatörlü yapı arasındaki yerdeğiştirme farkı oldukça azdır. Bu durum, alt katların izolatörün deformasyonuna doğrudan etki etmesinden kaynaklanmaktadır. 5. ve 6. katlarda ise rijit mesnetli yapı ve sismik taban yalıtımına sahip yapı arasında daha belirgin farklar gözlemlenmektedir. Rijit mesnetli yapıda üst katlarda (6. kat) -0,137 m gibi daha büyük değerler görülürken, izolatörlü yapıda bu değer -0,114 m olmaktadır.

Şekil 5.21’de verilen grafik, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik yükler altındaki performansını açıkça göstermektedir. Genel olarak rijit mesnetli yapı ve izolatörlü yapıda yerdeğiştirme değerleri kat yüksekliğine bağılı olarak artmaktadır. Alt katlarda yerdeğiştirme bakımında dikkate değer herhangi bir fark görülmemekle birlikte üst katlarda yerdeğiştirme farkı rijit mesnette % 38 oranında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.21 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri

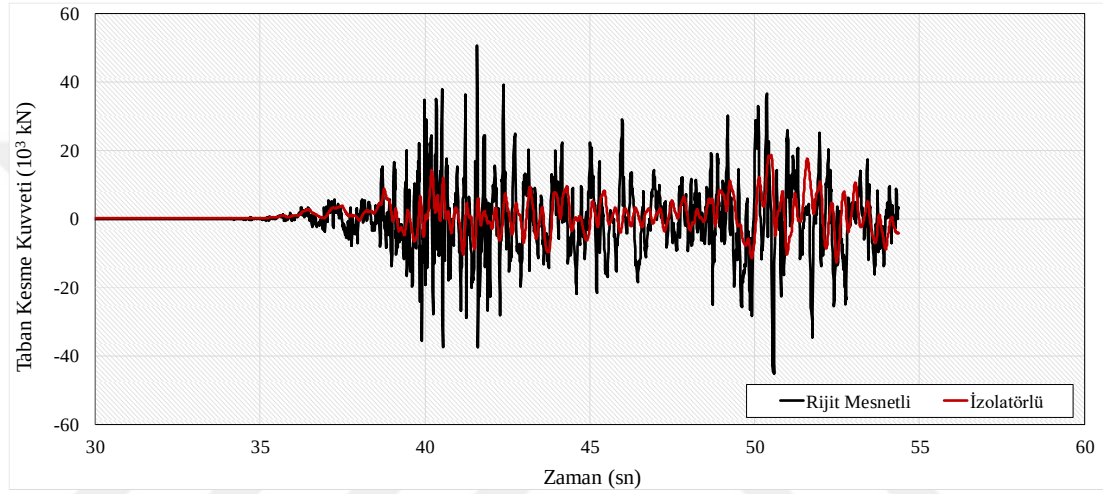
İzolatörlü yapıda ise üst katlarda yerdeğiştirme farkı %31 oranında olarak öne çıkmaktadır. Bu da daha istikrarlı bir yapı davranışı sağlamaktadır. Bu durum, özellikle güçlü deprem etkilerine karşın üst katlarda oluşacak hasar riskini azaltabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.22 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri

Şekil 5.22’de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda 6. kat ivmesi 20,07 m/s², izolatörlü yapıda ise 10,92 m/s² olarak ölçülmüş, sismik taban yalıtımı ile %45,6 azalma sağlanmıştır. Alt katlarda rijit mesnet için 2. kat ivmesi 9,47 m/s², izolatörde ise 3,37 m/s² olup, izolatörle %64,4 oranında azalma gözlenmiştir.

Sismik taban yalıtımının katlarda ivme değerlerini büyük ölçüde azalttığını açıkça ortaya koymaktadır. İzolatörler, özellikle alt katlarda etkili bir sönümleme sağlayarak hem yapısal güvenliği artırmakta hem de üst katlara ulaşan ivme yüklerini azaltmaktadır. Rijit mesnetli yapılar ise, katlar arası ivme farklılıklarının yüksek olması nedeniyle daha şiddetli bir sismik performans sergilemektedir. İzolatör, ivme artışını yumuşatarak sismik etkileri minimize etmiş ve daha stabil bir yapı davranışı sergilemiştir.

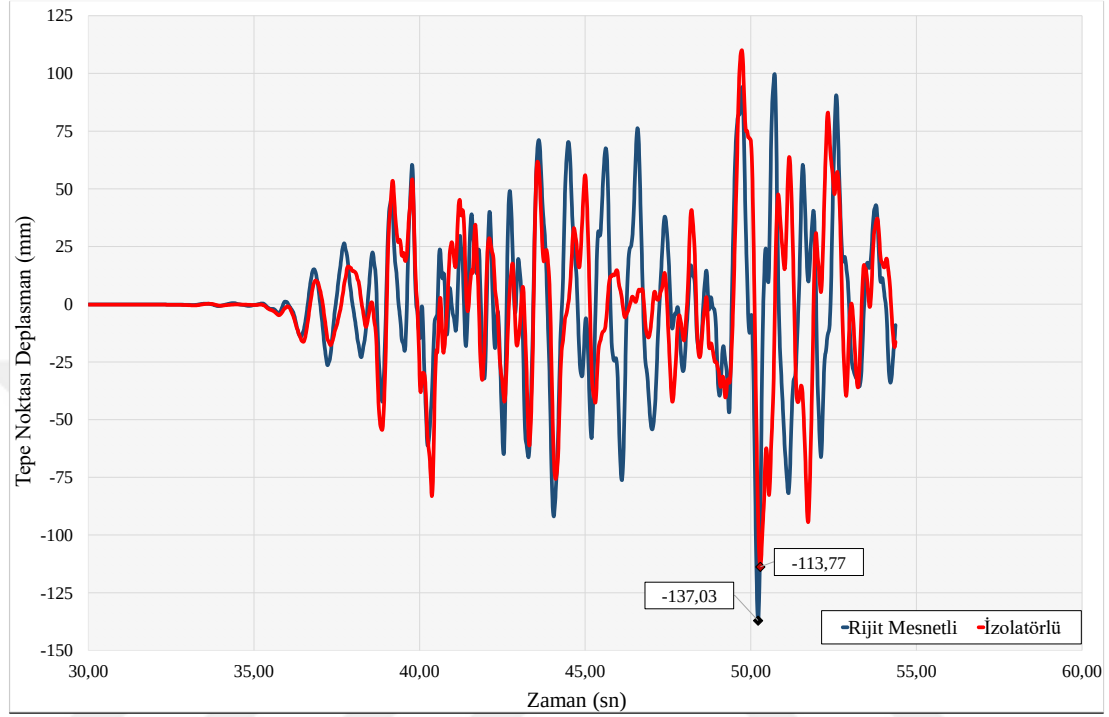


Şekil 5.23 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

Şekil 5.23, rijit mesnetli yapıda maksimum taban kesme kuvvetinin 50.000 kN, izolatörlü yapıda ise 30.000 kN olduğunu ve izolatörün taban kesme kuvvetlerini yaklaşık %40 oranında azalttığını göstermektedir. Zamana bağlı olarak rijit mesnetli yapı daha yüksek kuvvet genlikli ve düzensiz salınımlar sergilerken, izolatörlü yapı daha düşük genlikli ve düzenli bir kuvvet dağılımı ile daha kontrol edilebilir bir davranış göstermiştir. Bu durum, izolatörün deprem yüklerini sönümleyerek yapı üzerindeki etkileri azaltarak yapı güvenliğini artırmada etkili olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 5.24'de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda tepe noktası yerdeğiştirmesinin en büyük 137,03 mm, izolatörlü yapıda ise 113,77 mm olduğunu ve izolatörün yerdeğiştirmeyi yaklaşık %17 azalttığını göstermektedir. Rijit mesnetli yapıda yerdeğiştirme genlikleri daha yüksek ve düzensiz salınımlar gözlemlenirken, izolatörlü yapı daha düşük genlik ve düzenli bir davranış sergilemiştir.

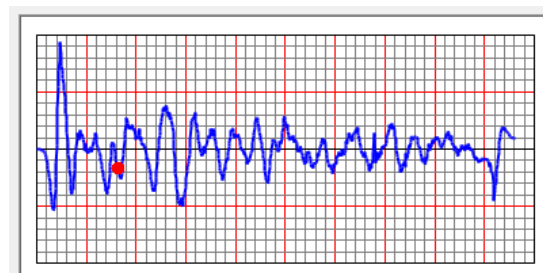
İzolatör, deprem enerjisini sönümlemiş ve yerdeğiştirme genliklerini kontrol altına alarak yapı performansını artırmıştır. Bu sonuç, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik performansı iyileştirmedeki etkinliğini doğrulamaktadır.



Şekil 5.24 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

5.1.3 Kastamonu Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Bu kısımda, 6 katlı 21 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçeveli yapıya 1977 Kastamonu depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapıda izolatör kullanılmamış rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Daha sonra yapı izolatörlü olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

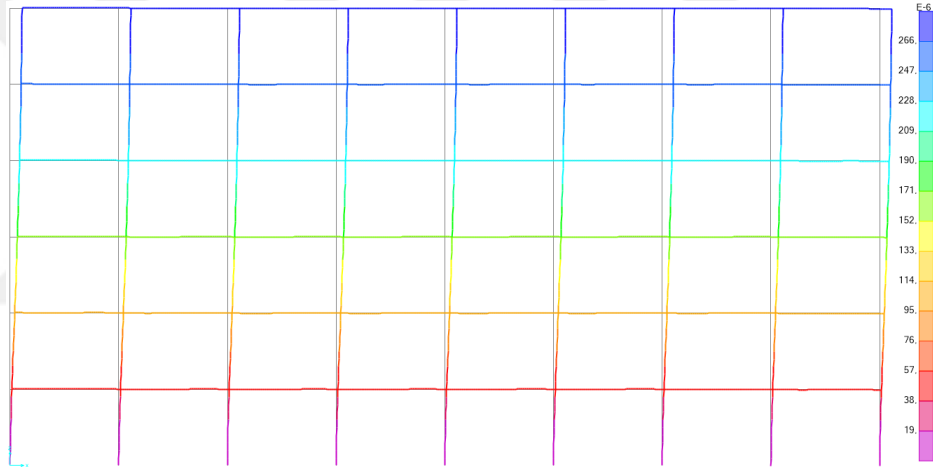


Şekil 5.25 Analiz için tanımlanan Kastamonu depremi ivme zaman grafiği

Şekil 5.25’de verildiği gibi AFAD Türkiye İvme Veritabanı üzerinden elde edilen ivme kayıtları SAP2000 yapı analizi programına tanımlanmıştır. İvme kaydında 0,01 sn aralığında toplam 964 veri bulunmaktadır.

5.1.3.1 Rijit mesnetli yapı analizi

6 katlı betonarme çerçevesi yapının doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi yapılarak Kastamonu depreminin etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapı rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Şekil 5.26’daki gibi yapı deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme 2,56 sn anında 9,48 mm değerinde gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirmeler gösterilmiştir.



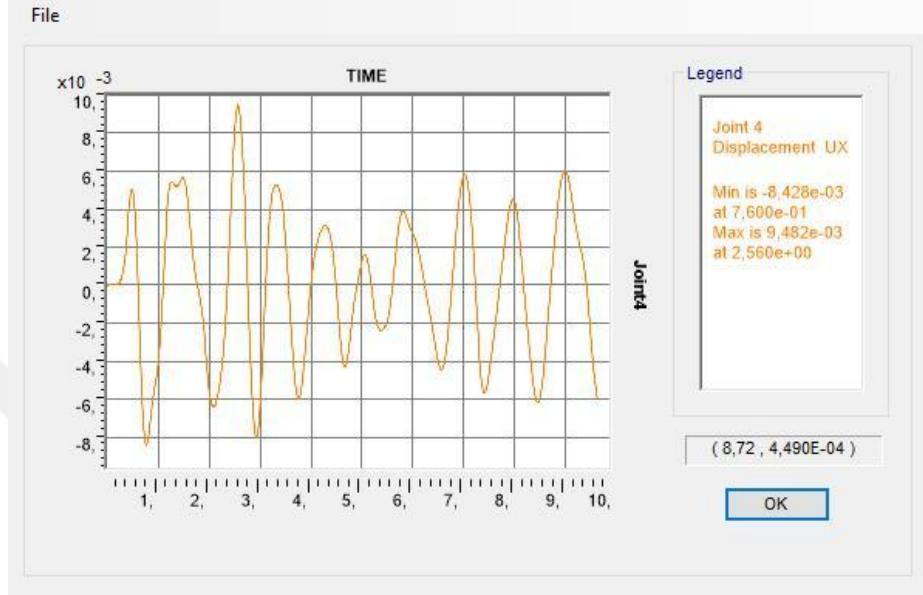
Şekil 5.26 Rijit mesnetli yapının 2,56 sn anındaki yerdeğiştirmesi

Yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları dikkate alınarak deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri

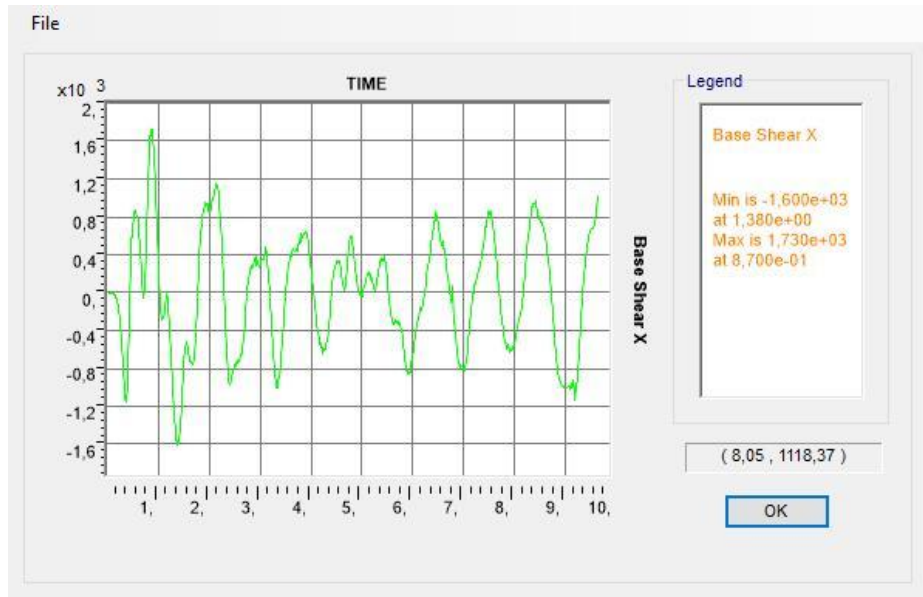
Kat	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
6	0,01055	0,00948	-0,67747
5	0,00951	0,00845	-0,54639
4	0,00794	0,00687	-0,38814
3	0,00599	0,00493	-0,24765
2	0,00394	0,00288	-0,13852
1	0,00211	0,00104	-0,05165
0	0,00106	0	0

Tepe noktası için A-1 aksının 6. katındaki ilgili düğüm noktası belirlenerek analiz sonucunda elde edilen zamana bağlı tepe noktası deplasmanı grafiği Şekil 5.27’de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 2,56 sn anında 9,5 mm olurken ters yöndeki en büyük yerdeğiştirme ise 0,76 sn anında -8,43 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.27 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Analiz sonrasında elde edilen taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.28’de verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 0,87 sn anında 1730 kN, ters doğrultuda en yüksek taban kesme kuvveti ise 1,38 sn anında -1600 kN olduğu görülmektedir.



Şekil 5.28 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

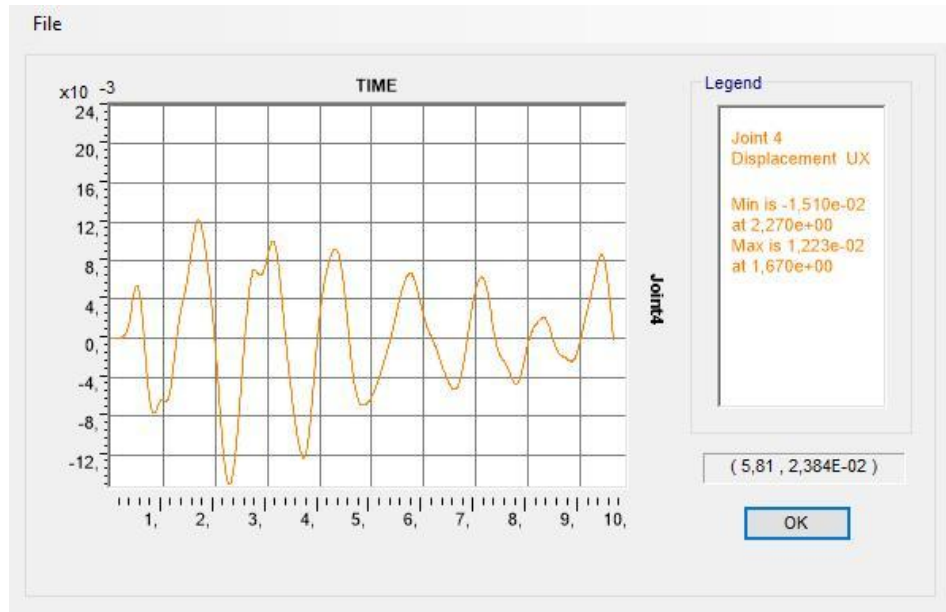
5.1.3.2 İzolatörlü yapı analizi

Belirlenen bu 6 katlı betonarme çerçevesi yapıda izolatör kullanılarak analiz tekrar edilmiştir. Yapıda karşılaştırılmak üzere seçilen A-1 aksındaki düğüm noktalarından elde edilen deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri

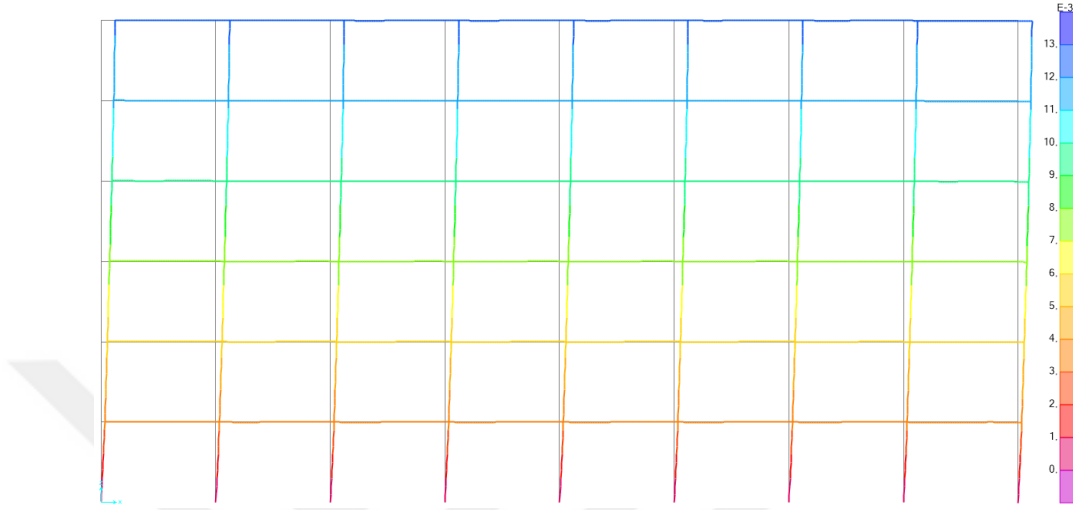
Kat	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
6	0,01797	0,01223	-0,45171
5	0,01684	0,0111	-0,25219
4	0,0152	0,00946	-0,02178
3	0,01326	0,00752	0,1436
2	0,01119	0,00545	0,1948
1	0,00891	0,00317	0,14217
0	0,00574	0	0

Yapıda belirlenen tepe noktasına ait yerdeğiştirme değerlerinin grafiği ise Şekil 5.29’da gösterilmektedir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 1,67 sn anında 12,23 mm, ters yönde en büyük yerdeğiştirme ise 2,27 sn anında -15,10 mm olarak verilmiştir.



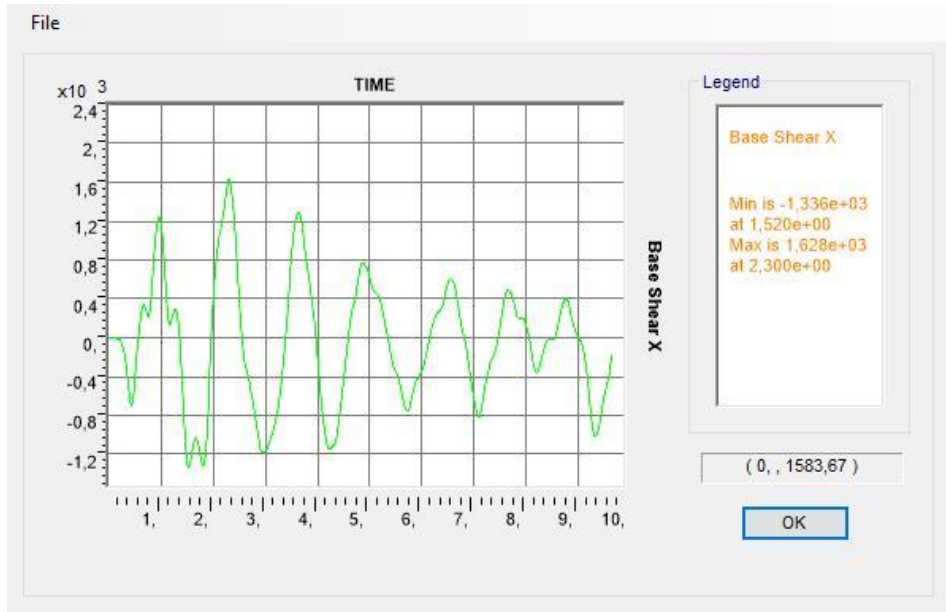
Şekil 5.29 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları

Sismik izolatör kullanıldığı durumda Şekil 5.30'daki gibi yapı deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme olan 12,23 mm deplasman 1,67 sn anında gerçekleşmesi sebebiyle bu zamana ait yerdeğiştirmeler gösterilmiştir.



Şekil 5.30 İzolatörlü yapının 1,67 sn anındaki yerdeğiştirmesi

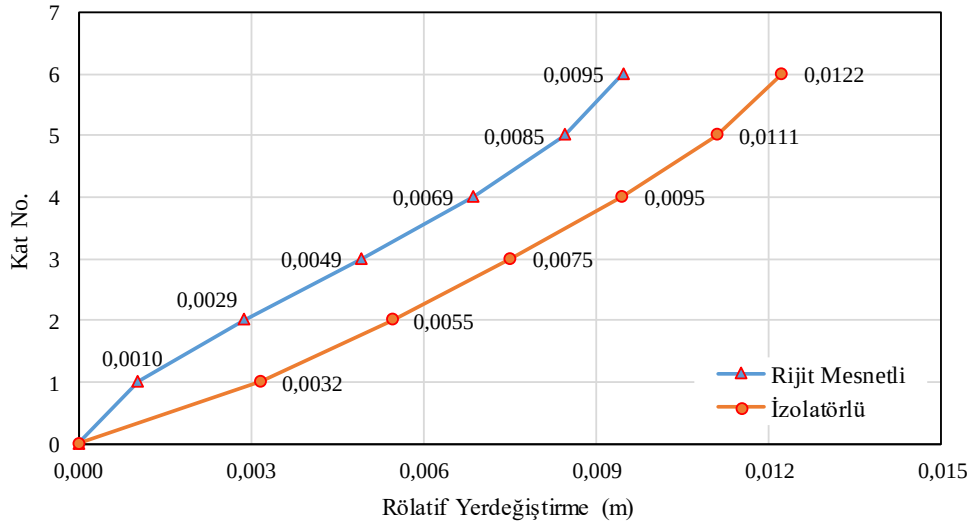
İzolatör kullanıldıktan sonra yapılan analizler neticesinde elde edilen taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.31'de verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 2,3 sn anında 1628 kN iken aksi doğrultuda ki taban kesme kuvveti ise 1,52 sn anında -1336 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.31 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri

5.1.3.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

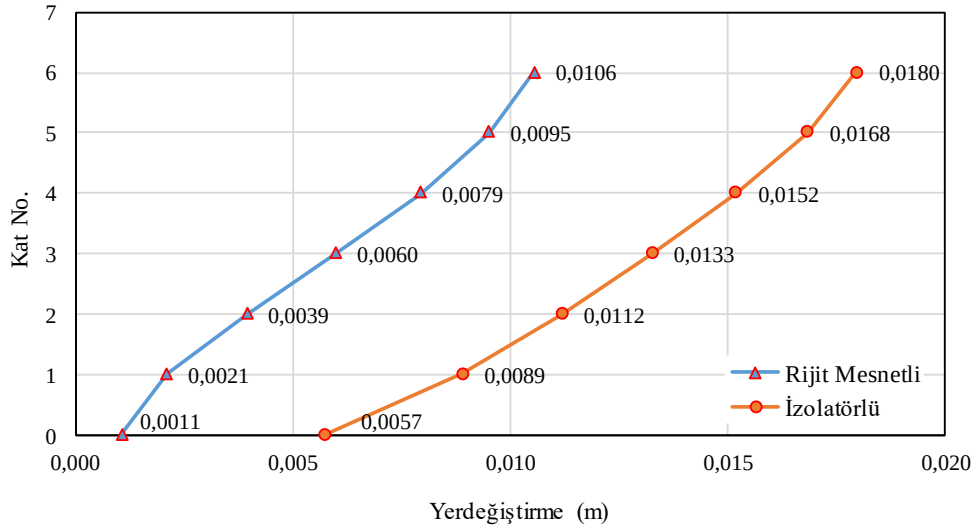
Rijit mesnetli ve izolatörlü yapı için dikkate alınan 1977 Kastamonu depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.



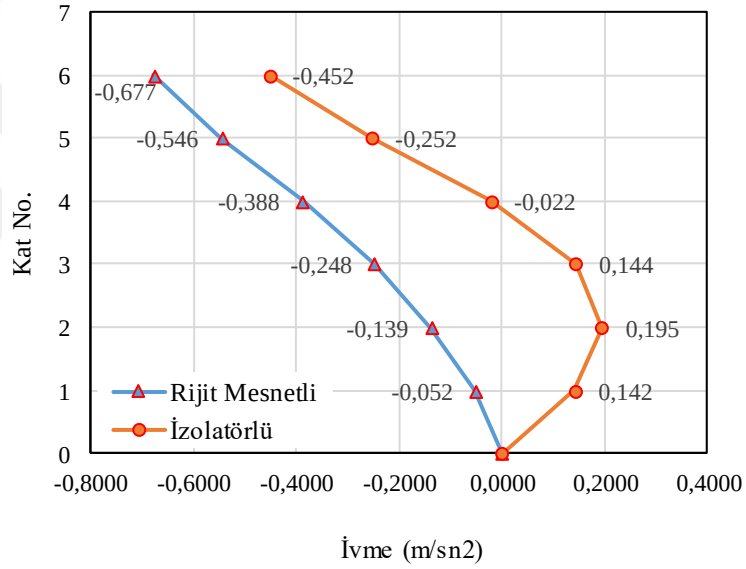
Şekil 5.32 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri

Şekil 5.32’de verilen grafik incelendiğinde, rijit mesnetli yapıda rölatif yerdeğiştirme değerleri kat yüksekliği ile daha hızlı artış gösterirken deprem etkilerini üst katlara doğrudan ilettiği için daha büyük rölatif yerdeğiştirme genliklerine sahip olduğu görölmektedir. Rijit mesnetli yapıya göre izolatörlü yapıda değerler daha düşük seviyede kalarak daha kontrollü bir artış gösterirken deprem etkilerini sönümleyerek, üst katlarda yerdeğiştirme miktarlarını azaltmıştır.

Şekil 5.33’de verilen grafik, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik yükler altındaki performansını göstermektedir. Genel olarak rijit mesnetli ve izolatörlü yapılarda yerdeğiştirme değerleri kat yüksekliğine bağlı olarak artmaktadır. İzolatörlü yapı, deprem yüklerini sönümleyerek yapıya dağıtmaktadır ve daha sönük bir davranış sergilemektedir. Bu durum, rijit mesnetli yapıyla karşılaştırıldığında daha büyük yerdeğiştirme genlikleri ile sonuçlanmıştır. Rijit mesnetli yapı ise daha rijit bir davranış sergileyerek yerdeğiştirmeleri sınırlamıştır. Ancak üst katlarda daha büyük kuvvet birikimine yol açabilecek bir yapı işaret edilmektedir.

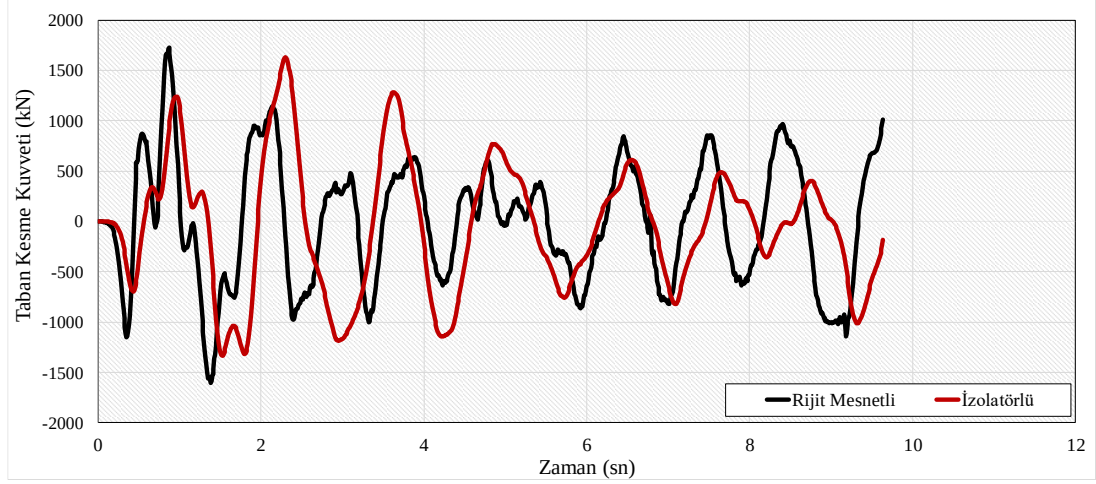


Şekil 5.33 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri



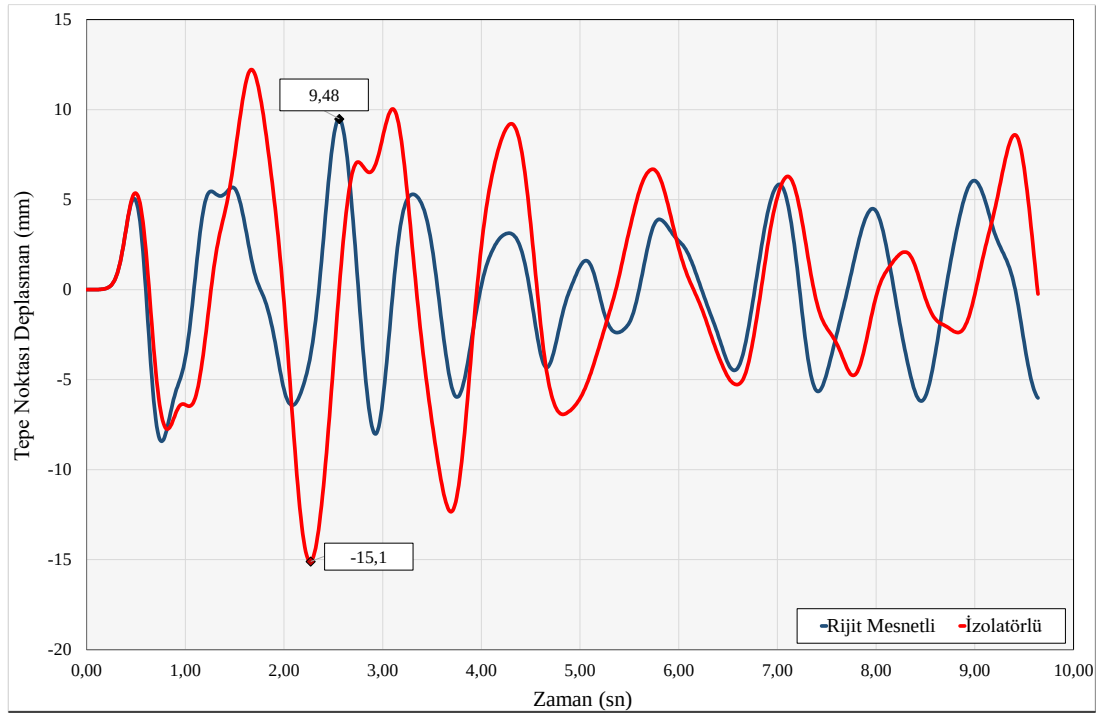
Şekil 5.34 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri

Şekil 5.34’de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda 6. kat için maksimum ivme değeri $-0,6775 \text{ m/s}^2$, izolatörlü yapıda ise $-0,4517 \text{ m/s}^2$ olarak hesaplanmış ve izolatör kullanımı yaklaşık %65 oranında kat ivmesini azaltmıştır. Yapının 4. katı için rijit mesnet ivmesi $-0,3881 \text{ m/s}^2$, izolatör ivmesi ise $-0,0218 \text{ m/s}^2$ olup, izolatör kullanımı bu seviyede kat ivmesini %95 azaltmıştır. İzolatörlü yapı, özellikle üst katlarda ivme değerlerini kontrol altına alarak deprem etkilerini azaltmıştır. Orta ve alt katlardaki ivme değışimi, izolatörün deprem yüklerini yapıya daha dengeli bir şekilde dağıttığını göstermektedir. Rijit mesnetli yapı, daha yüksek ivme değeri ile deprem yüklerinin doğrudan üst yapılara iletilmesine sebep olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.35 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

Şekil 5.35, rijit mesnetli yapıda en yüksek taban kesme kuvvetinin 1750 kN, izolatörlü yapıda ise en yüksek taban kesme kuvvetinin 1200 kN olduğunu ve izolatörün taban kesme kuvvetlerini yaklaşık %30 oranında azalttığını göstermektedir. Zamana bağlı olarak rijit mesnetli yapı daha yüksek genlikli ve düzensiz salınımlar sergilerken, izolatörlü yapı daha düşük genlikli ve düzenli bir kuvvet dağılımı ile daha kontrol edilebilir bir davranış göstermiştir. Bu durum, izolatörün deprem yüklerini sönümleyerek yapı üzerindeki etkileri azaltarak yapı güvenliğini artırmada etkili olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 5.36 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Şekil 5.36’da görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda tepe noktası yerdeğiştirmesinin maksimum 9,48 mm, izolatörlü yapıda ise -15,1 mm olduğunu ve izolatörün yerdeğiştirmeyi yaklaşık %60 arttırdığını göstermektedir. Rijit mesnetli yapıda yerdeğiştirme genliklerinde düzensiz salınımlar gözlemlenirken, izolatörlü yapı daha büyük değerler almasına rağmen daha düzenli bir davranış sergilemiştir. İzolatörlü yapı, yüksek deplasman değerlerine rağmen, yapı güvenliğini artıran daha kontrollü bir salınım sağlamıştır. Deprem kaydının çok kısa olmasının da bunda etkisi olduğu görülmektedir.

5.2 12 Katlı Betonarme Çerçeve Yapı Analizi

12 katlı betonarme çerçeve yapının rijit mesnetli ve sismik taban yalıtımlı olarak Kocaeli-Gölcük, Kahramanmaraş-Pazarcık ve Kastamonu depremlerine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır.

Rijit mesnetli yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları Tablo 5.1’de verilmiştir. Analiz sonucuna göre yapının hâkim periyodu 2,2620 sn olarak bulunmuştur.

Tablo 5.9 Modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot (sn)	UX	UY	UZ	TopUX	TopUY	TopUZ
1	2,2620	0,0000	0,7949	0,0000	0,0000	0,7949	0,0000
2	2,0994	0,7997	0,0000	0,0000	0,7997	0,7949	0,0000
3	1,9577	0,0000	0,0000	0,0000	0,7997	0,7949	0,0000
4	0,6835	0,0000	0,1030	0,0000	0,7997	0,8979	0,0000
5	0,6566	0,0989	0,0000	0,0000	0,8986	0,8979	0,0000
6	0,6168	0,0000	0,0000	0,0000	0,8986	0,8979	0,0000
7	0,3856	0,0000	0,0364	0,0000	0,8986	0,9343	0,0000
8	0,3728	0,0367	0,0000	0,0000	0,9354	0,9343	0,0000
9	0,3493	0,0000	0,0000	0,0000	0,9354	0,9343	0,0000
10	0,2541	0,0000	0,0218	0,0000	0,9354	0,9561	0,0000
11	0,2476	0,0214	0,0000	0,0000	0,9567	0,9561	0,0000
12	0,2315	0,0000	0,0000	0,0000	0,9567	0,9561	0,0000

12 katlı izolatörlü yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları Tablo 5.2’de verilmiştir. Analiz sonucuna göre yapının hâkim periyodu 2,5535 sn olarak elde edilmiştir.

Tablo 5.10 İzolatörlü yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot (sn)	UX	UY	UZ	TopUX	TopUY	TopUZ
1	2,5535	0,0000	0,7265	0,0000	0,0000	0,7265	0,0000
2	2,3839	0,7320	0,0000	0,0000	0,7320	0,7265	0,0000
3	2,2197	0,0000	0,0000	0,0000	0,7320	0,7265	0,0000
4	0,7951	0,0000	0,0024	0,0000	0,7320	0,7288	0,0000
5	0,7723	0,0121	0,0000	0,0000	0,7441	0,7288	0,0000
6	0,7357	0,0000	0,2256	0,0000	0,7441	0,9544	0,0000
7	0,7229	0,2119	0,0000	0,0000	0,9561	0,9544	0,0000
8	0,7071	0,0000	0,0000	0,0000	0,9561	0,9544	0,0000
9	0,6484	0,0000	0,0000	0,0000	0,9561	0,9544	0,0000
10	0,4252	0,0000	0,0241	0,0000	0,9561	0,9786	0,0000
11	0,4116	0,0235	0,0000	0,0000	0,9796	0,9786	0,0000
12	0,3855	0,0000	0,0000	0,0000	0,9796	0,9786	0,0000

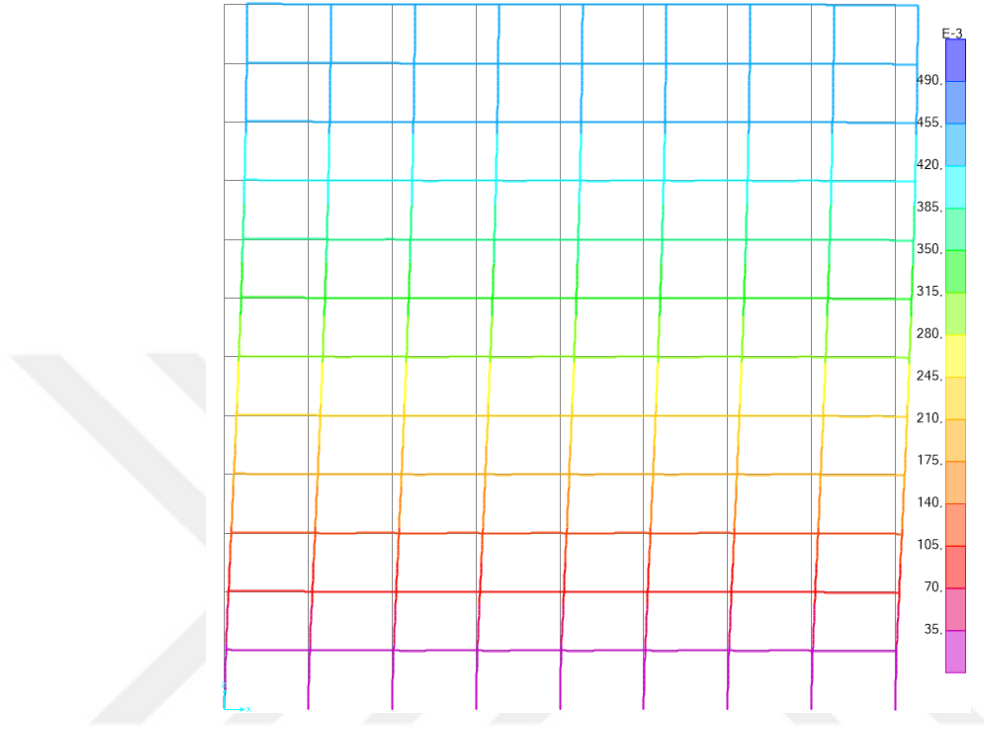
5.2.1 Kocaeli-Gölcük Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Bu kısımda, 12 katlı 42 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçeveli yapıya 1999 Kocaeli-Gölcük depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapıda izolatör kullanılmamış rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Daha sonra yapı izolatörlü olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.2.1.1 Rijit mesnetli yapı analizi

Bu bölümde yapı sadece rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Bu yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri için seçilmiştir. Rijit mesnetli yapı için bu değerler Tablo 5.11’de verilmiştir.

En yüksek yerdeğiştirme 13,92 sn anında 0,455 m yerdeğiştirme gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme seçilmiştir. şekil 5.37’de ki gibi yapı deformasyona uğramıştır.

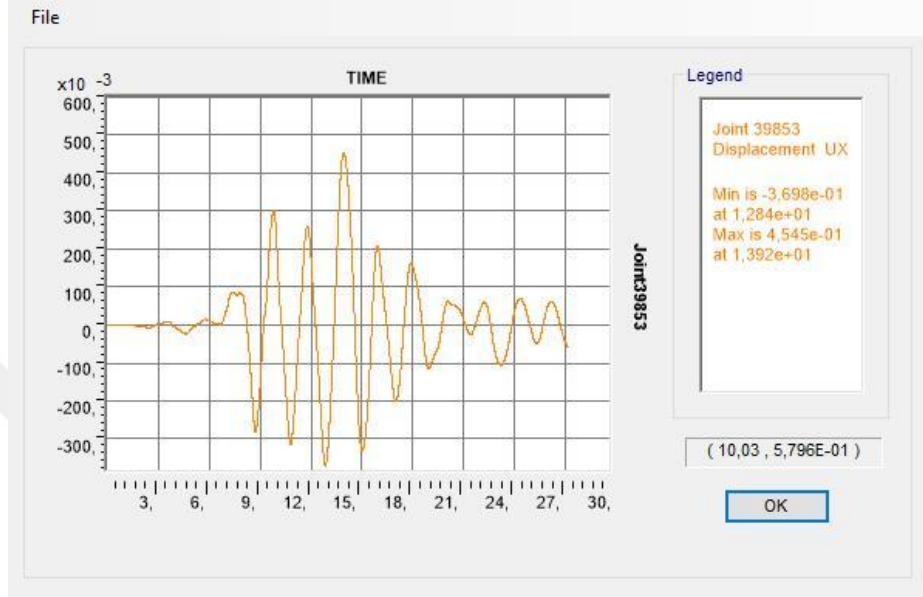


şekil 5.37 Rijit mesnetli yapının 13,92 sn anındaki yerdeğiştirmesi

Tablo 5.11 Rijit Mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri

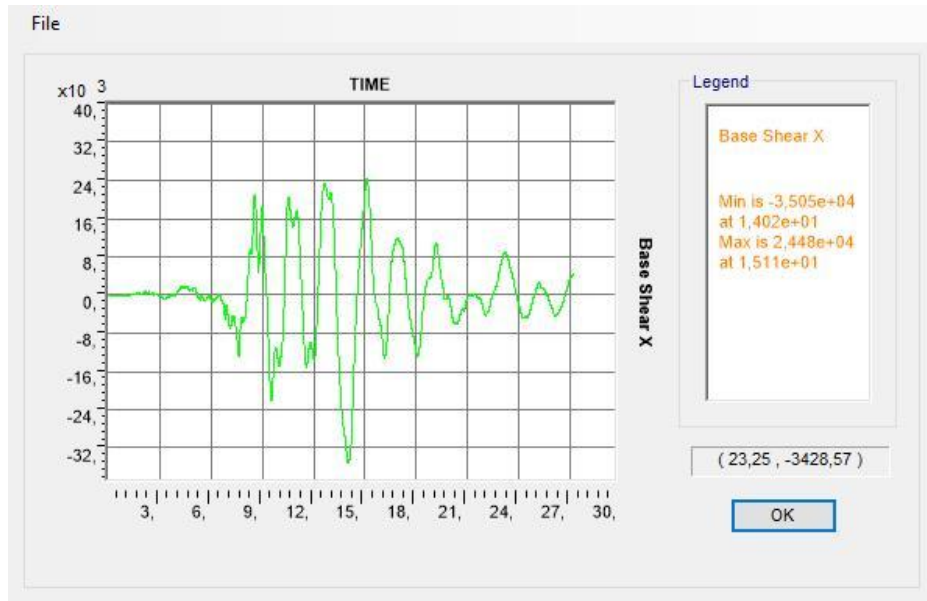
Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
12	42	0,894965	0,454516	5,85537
11	38,5	0,882621	0,442096	5,52361
10	35	0,864198	0,423611	5,90359
9	31,5	0,839185	0,398574	6,28356
8	28	0,80787	0,36737	6,11282
7	24,5	0,770888	0,330686	5,52191
6	21	0,72896	0,289277	4,98742
5	17,5	0,682587	0,243561	4,57505
4	14	6,32E-01	0,193572	3,81649
3	10,5	5,78E-01	0,139696	3,50518
2	7	0,522321	0,083707	2,62947
1	3,5	0,470815	3,12E-02	1,11428
0	0	0,440611	0	0

Tepe noktası için yine A-1 aksının 12. katındaki ilgili düğüm noktası dikkate alınmıştır. Analiz sonrası elde edilen zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için grafik Şekil 5.38’de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 13,92 sn anında 0,454 m, diğer yönde en büyük yerdeğiştirme ise 12,84 sn anında -0,370 m olarak bulunmuştur.



Şekil 5.38 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri grafiği ise Şekil 5.39’da verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 15,11 sn anında 24480 kN, aksi yönde en yüksek taban kesme kuvveti ise 14,02 sn anında -35050 kN olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5.39 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

5.2.1.2 İzolatörlü yapı analizi

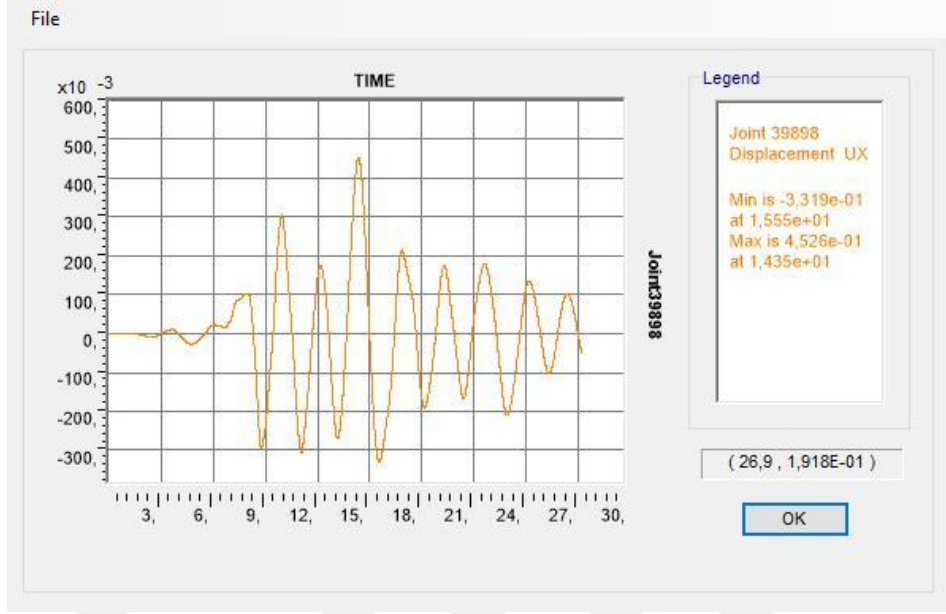
Rijit mesnet ile analiz edilen 12 katlı betonarme yapı bu kez sismik izolatör kullanılarak tekrardan analiz edilerek ilgili sonuçlar alınmıştır. Yapıda A-1 aksındaki düğüm noktalarından alınan veriler karşılaştırılmak üzere seçilmiştir. İzolatörlü yapıya ait deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri analiz sonrası Tablo 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5.12 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri

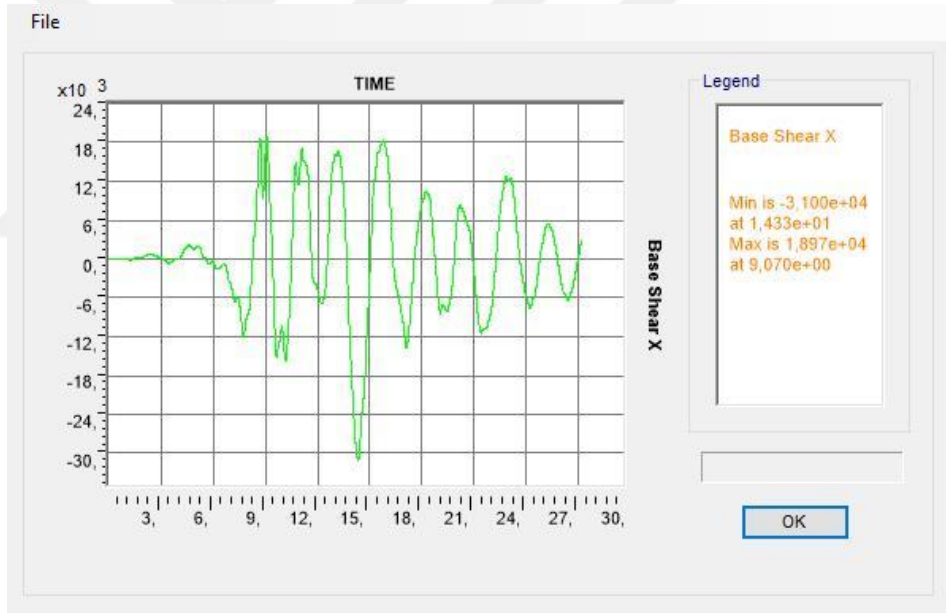
Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
12	42	0,84031	0,452616	5,87976
11	38,5	0,829769	0,442429	5,58493
10	35	0,814538	0,427707	5,26016
9	31,5	0,794296	0,407852	5,03359
8	28	0,76958	0,38308	4,84183
7	24,5	0,740957	0,353602	4,55741
6	21	0,708883	0,319626	4,28621
5	17,5	0,673613	0,281317	4,1732
4	14	0,635249	0,238841	4,1105
3	10,5	0,593728	0,192239	3,93648
2	7	0,548808	0,140917	3,30814
1	3,5	0,499057	8,15E-02	2,15627
0	0	0,440759	0	0

Tepe noktası için A-1 aksının 12. katındaki ilgili düğüm noktası dikkate alınmıştır. Analiz edilen yapının zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.40’da verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 14,35 sn anında 0,4526 m, ters doğrultudaki en büyük yerdeğiştirme ise 15,55 sn anında -0,3319 m olarak verilmiştir.

Sismik izolatörlü yapının taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.41’de verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 9,07 sn anında 18970 kN, aksi yönde meydana gelen en yüksek taban kesme kuvveti ise 14,35 sn anında -31000 kN olarak verilmiştir.

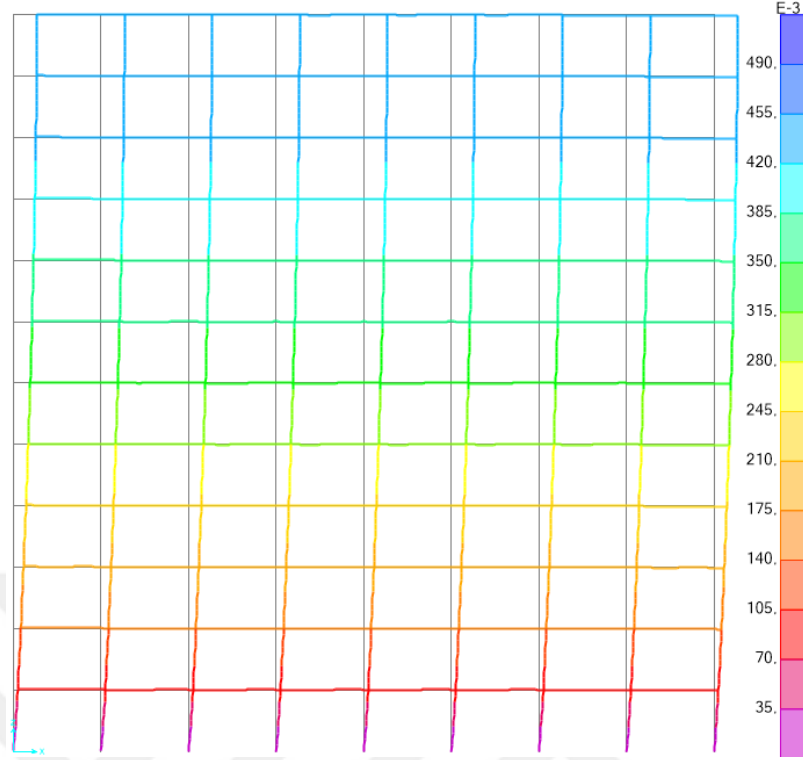


Şekil 5.40 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları



Şekil 5.41 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri

Bu 12 katlı betonarme çerçeve yapıda sismik izolatör kullanılması durumunda yapı Şekil 5.43’de görüldüğü gibi deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme 14,35 sn anında 0,4526 m değerinde gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme alınarak sunulmuştur.

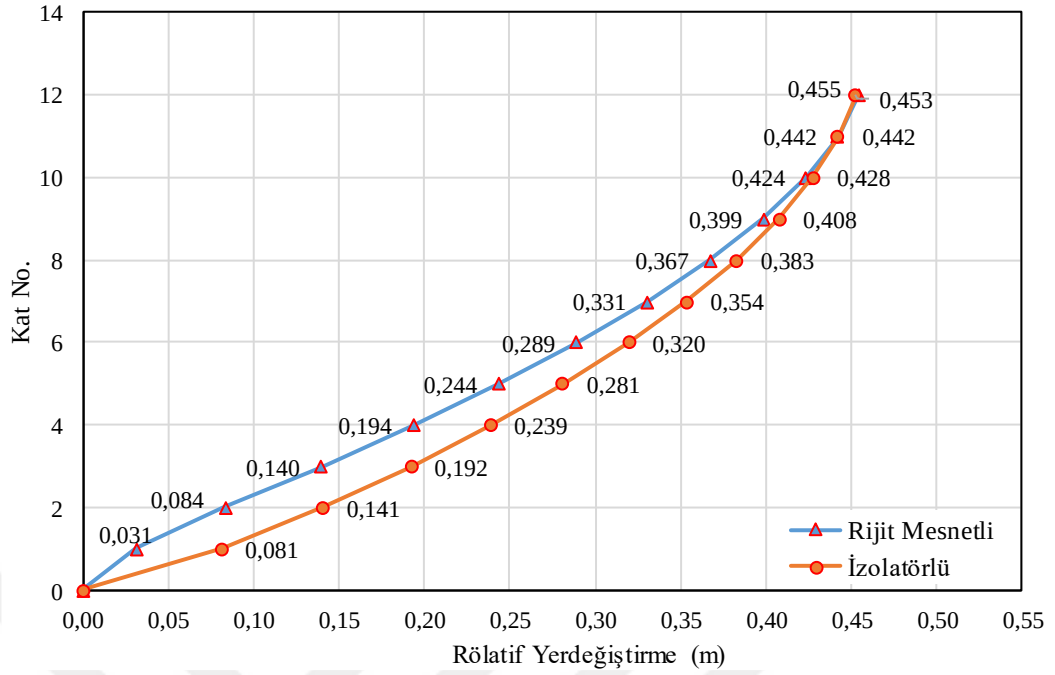


Şekil 5.42 İzolatörlü yapının 14,35 sn anındaki yerdeğiştirmesi

5.2.1.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

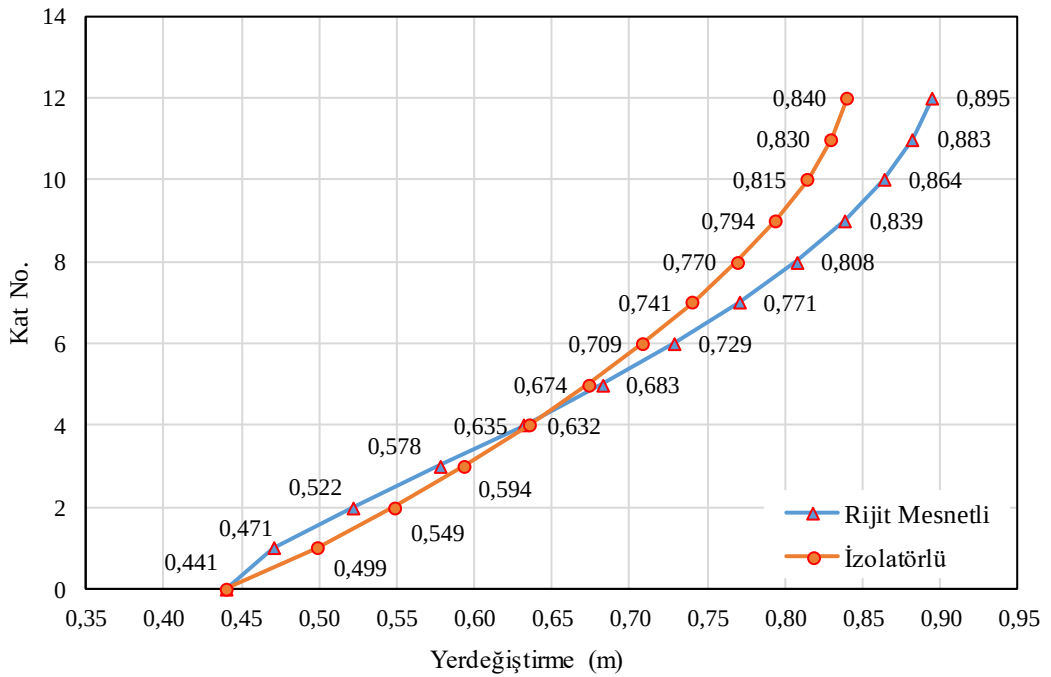
Rijit mesnetli ve izolatörlü yapı için dikkate alınan 1999 Kocaeli-Gölcük depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.

Şekil 5.43’de verilen grafik, üst katlarda hem izolatörlü hem de rijit mesnetli yapıda rölatif yerdeğiştirme değerleri eşit seviyededir. Orta katlarda izolatörlü yapıda rölatif yerdeğiştirme değerleri rijit mesnetli yapıya göre yaklaşık %10 oranında artış göstermiştir. 6. katta rijit mesnetli yapıda rölatif yerdeğiştirme 0,289 m, izolatörlü yapıda ise rölatif yerdeğiştirme 0,32 m olduğu görülmüştür. Alt katlarda ise izolatör rölatif yerdeğiştirmeyi rijit mesnetli yapıya kıyasla yaklaşık %75 oranında artırdığı gözlemlenmiştir. Bu durum, izolatörlü yapının deprem enerjisini tabanda izolatörler sayesinde sünek davranış göstererek sönmülmüş ve alt katlarda daha fazla salınım yapmıştır. Ancak üst katlarda izolatörlü yapı rijit mesnetli yapı ile benzer rölatif yerdeğiştirme performansı sergilediği gözlemlenmektedir.



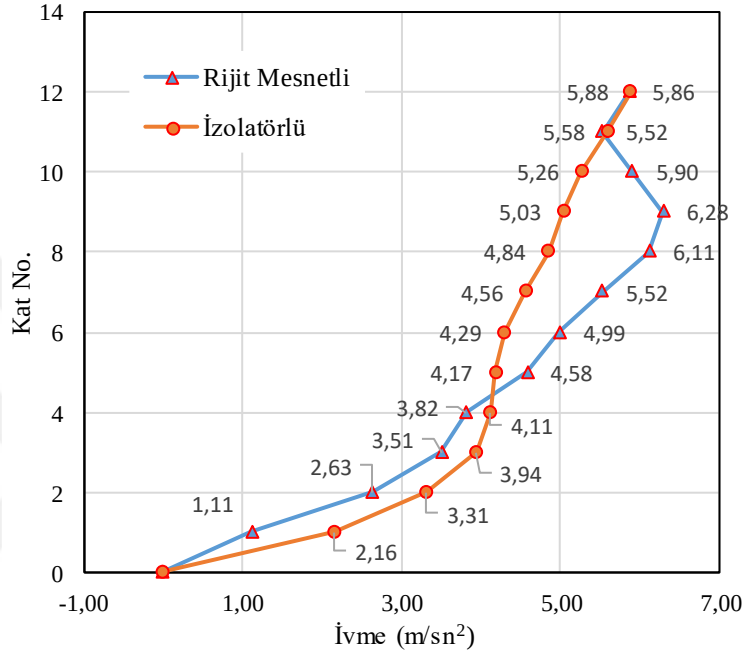
Şekil 5.43 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri

Şekil 5.44’de verilen grafik, her iki mesnetlenme durumu için yapıda oluşan mutlak yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik yükler altındaki performansını ifade etmektedir. Genel olarak rijit mesnetli yapı ve izolatörlü yapıda yerdeğiştirme değerleri kat yüksekliğine bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 5.44 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri

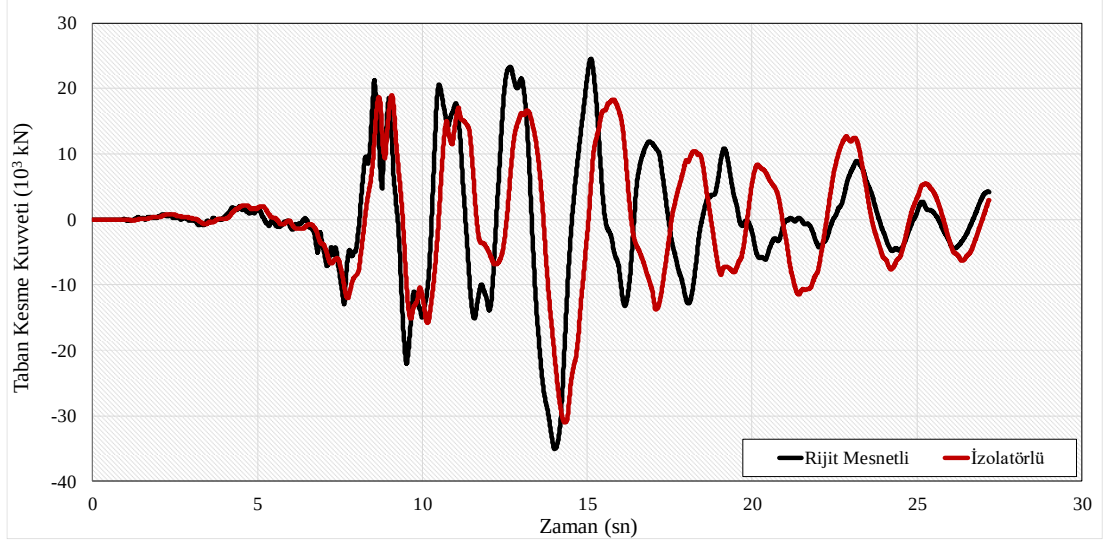
Alt katlarda yerdeğiştirme bakımında dikkate değer herhangi bir fark görölmemekle birlikte kat yükseldikçe izolatörlü yapının sönümleme özelliği öne çıkmaktadır. İzolatör kullanımı tepe noktasındaki yerdeğiştirmeyi yaklaşık %6 oranında azaltmıştır. Alt katlarda rijit mesnet yerdeğiştirmesi daha küçük değerlerde kalmıştır. 4. katta ise yerdeğiştirmeler yaklaşık 0,63 m olarak iki yapı tipinde eşitlenmiştir.



Şekil 5.45 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri

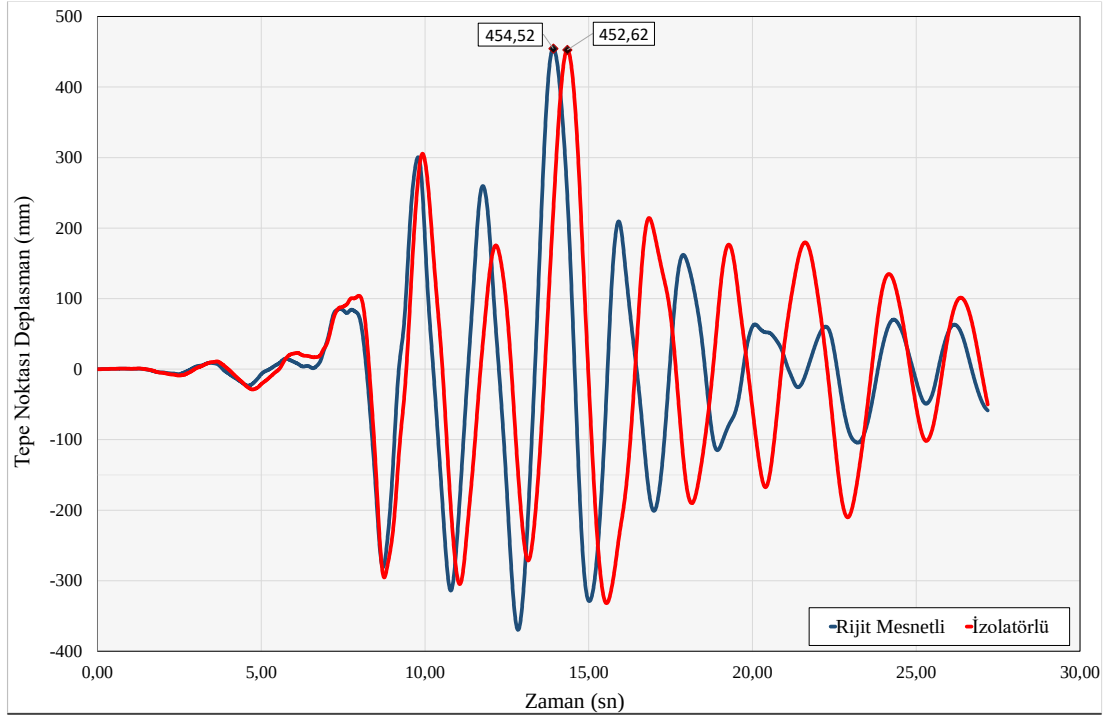
Şekil 5.45’de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda 12. kat ivmesi $5,86 \text{ m/s}^2$, izolatörlü yapıda ise $5,88 \text{ m/s}^2$ olarak ölçölmüş, neredeyse aynı kat ivmelerine sahiptir. Fakat 8. katta rijit mesnet için $6,11 \text{ m/s}^2$, izolatör için $4,84 \text{ m/s}^2$ olduğu görölmüşür. Yaklaşık %20 oranında kat ivmesinin azaltılmasını sağlamıştır. Sismik taban yalıtımının katlardaki ivme değerlerini azalttığı görölmektedir. İzolatörler, özellikle alt katlarda etkili bir sönümleme sağlayarak hem yapısal güvenliği artırmakta hem de üst katlara ulaşan ivme yüklerini azaltmaktadır.

Şekil 5.46, rijit mesnetli yapıda maksimum taban kesme kuvvetinin 35000 kN, izolatörlü yapıda ise 31.000 kN olduğunu ve izolatörün kesme kuvvetlerini yaklaşık %13 oranında azalttığını göstermektedir. İzolatörlü yapıda düşük frekanslı ve düzenli bir salınım gözlemlenirken, rijit mesnetli yapıda ise yüksek frekanslı ve daha düzensiz bir kuvvet değişimi görölmüşür.



Şekil 5.46 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

Şekil 5.47’de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda tepe noktası yerdeğiştirmesinin maksimum 454,52 mm, izolatörlü yapıda ise 452,02 mm olduğunu ve izolatörün yerdeğiştirmeyi yaklaşık %1 oranında azalttığını göstermektedir. Genel olarak bakıldığında rijit mesnetli yapıda yerdeğiştirme genlikleri daha yüksek ve düzensiz salınımlar gözlemlenirken, izolatörlü yapı daha düşük genlik ve düzenli bir davranış sergilemiştir.



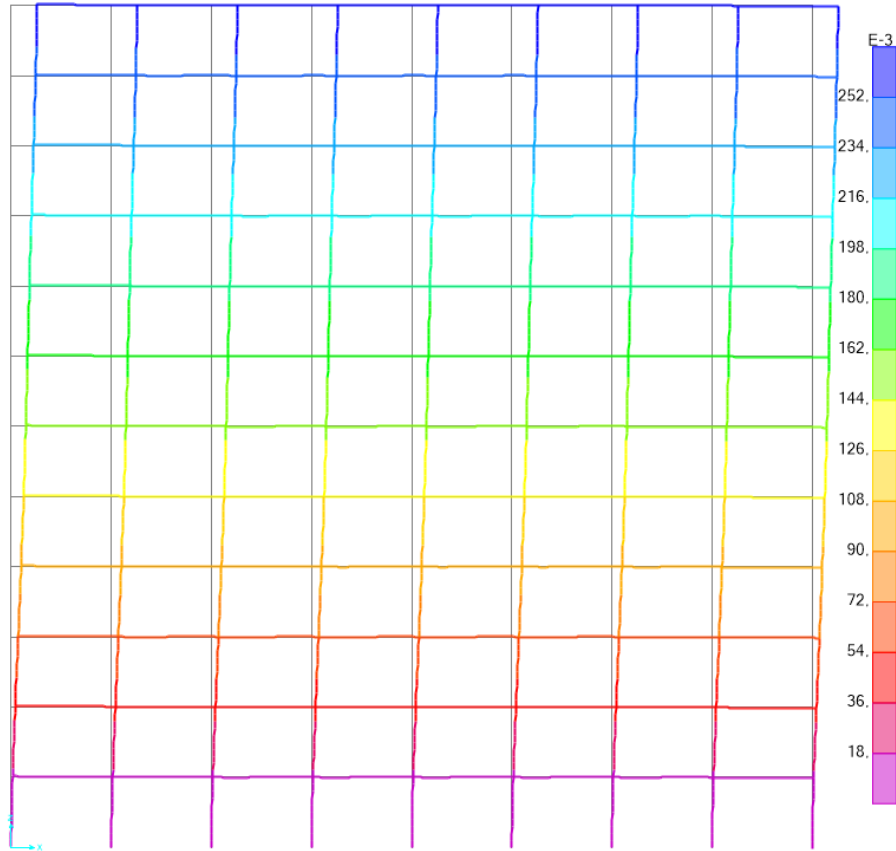
Şekil 5.47 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

5.2.2 Kahramanmaraş-Pazarcık Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Bu kısımda, 12 katlı 42 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçeve yapıya 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapıda izolatör kullanılmamış rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Daha sonra yapı izolatörlü olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.2.2.1 Rijit mesnetli yapı analizi

12 katlı 42 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçeve yapıya Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yapılarak ilgili depremin etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapı rijit mesnetli olarak analizi yapılmıştır.



Şekil 5.48 Rijit mesnetli yapının 42,01 sn anındaki yerdeğiştirmesi

Bu yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları analiz sonuçlarını almak üzere seçilmiştir. Deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.13’de verilmiştir.

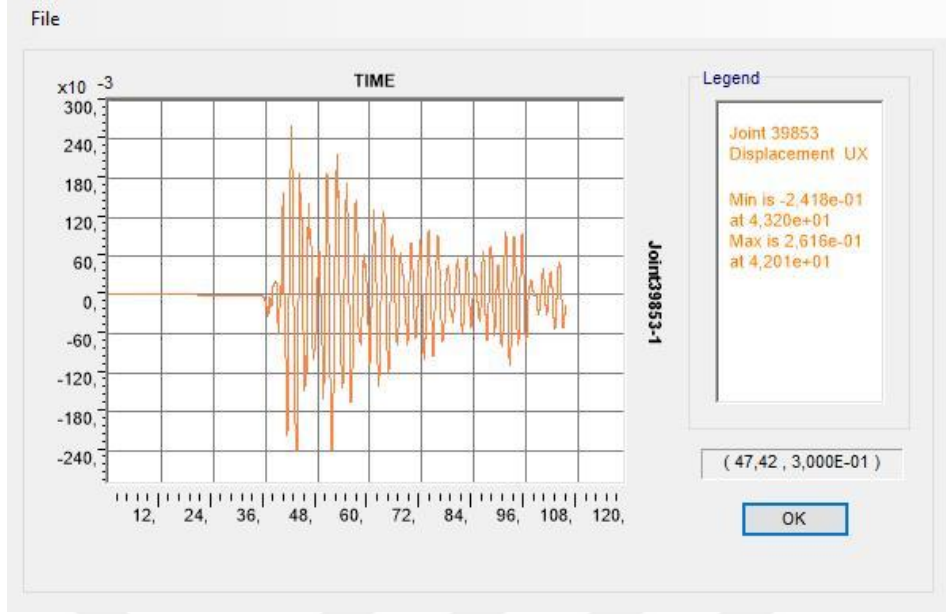
Şekil 5.48’deki gibi rijit mesnetli yapı sismik yükler altında deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme 42,01 sn anında gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme seçilirken bu değer 0,262 m olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 5.13 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri

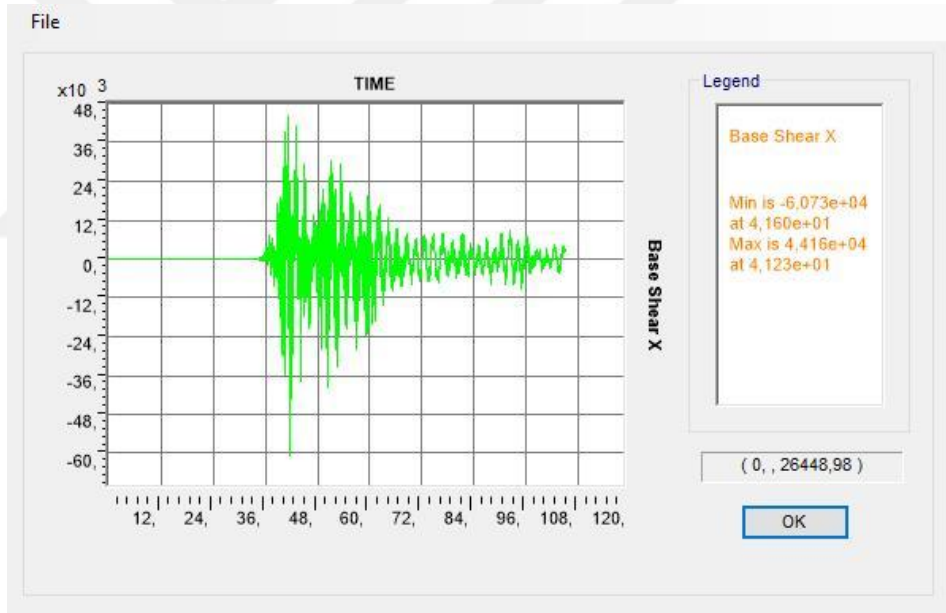
Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
12	42	2,624371	0,261551	24,6175
11	38,5	2,61923	0,246419	23,52119
10	35	2,612543	0,226053	25,64986
9	31,5	2,606143	0,203841	26,41736
8	28	2,598116	0,190118	21,80518
7	24,5	2,587112	0,177756	17,34464
6	21	2,574595	0,158814	19,14218
5	17,5	2,565316	0,139575	22,22935
4	14	2,554886	0,120632	27,83851
3	10,5	2,543276	0,092404	31,93718
2	7	2,534	0,057611	26,28002
1	3,5	2,524704	2,19E-02	11,6031
0	0	2,525006	0	0

Tepe noktası için A-1 aksının 12. katındaki ilgili düğüm noktası dikkate alınarak zamana bağlı tepe noktası deplasmanları Şekil 5.49’da verilmiştir. Buna göre en yüksek yerdeğiştirme 42,01 sn anında 0,262 m, tersi yöndeki en büyük yerdeğiştirme ise 43,20 sn anında ise -0,242 m olarak elde edilmiştir.

Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvveti grafiği Şekil 5.50’de verilmiştir. Buna göre en büyük taban kesme kuvveti 41,23 sn anında 44160 kN, eksi yöndeki taban kesme kuvveti ise 41,60 sn anında -60730 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.49 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları



Şekil 5.50 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

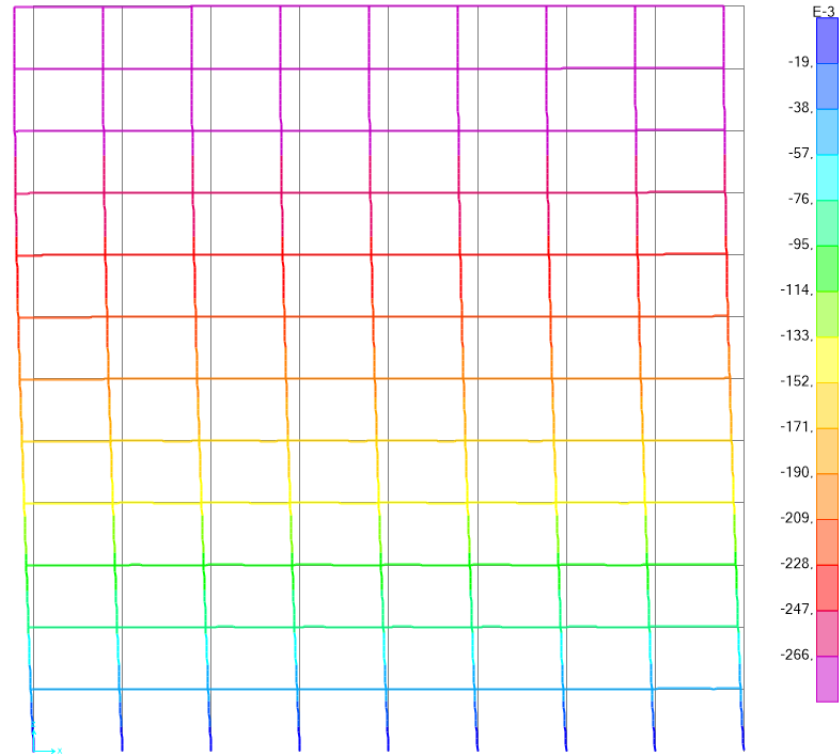
5.2.2.2 İzolatörlü yapı analizi

Dikkate alınan betonarme çerçevesel yapıda izolatör kullanılarak tekrar analiz edilmiştir. Yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları karşılaştırılmak üzere seçilmiştir. Deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.14’de verilmiştir.

Tablo 5.14 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri

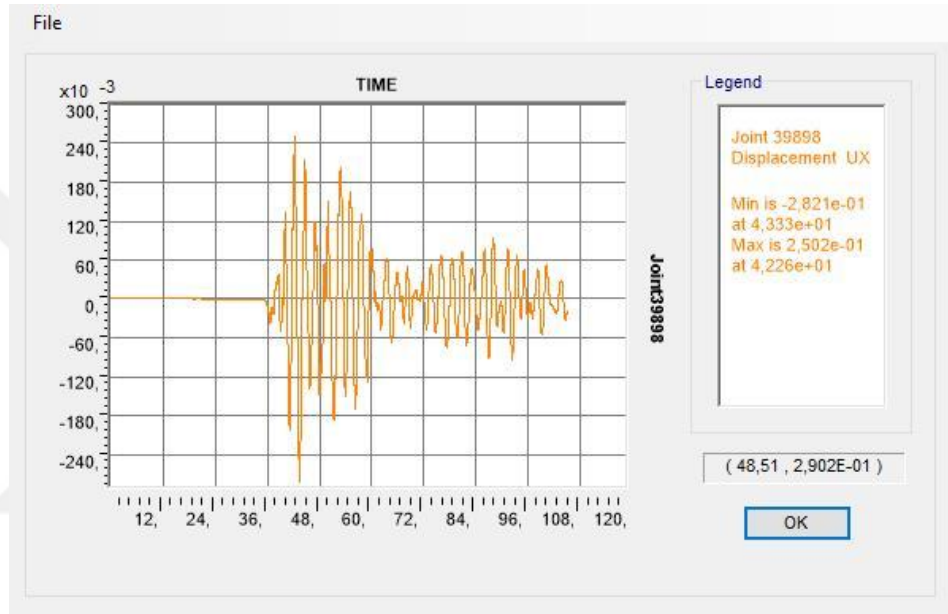
Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
12	42	-1,753393	-0,282067	-22,83471
11	38,5	-1,752951	-0,277078	-21,4894
10	35	-1,752351	-0,269552	-19,78047
9	31,5	-1,751723	-0,258302	-18,29152
8	28	-1,751242	-0,242739	-17,65587
7	24,5	-1,750842	-0,223504	-18,17492
6	21	-1,750345	-0,201975	-19,63149
5	17,5	-1,749646	-0,179769	-21,30473
4	14	-1,748689	-0,156842	-22,14948
3	10,5	-1,74748	-0,132478	-21,13008
2	7	-1,746	-0,102423	-17,50457
1	3,5	-1,74423	-0,062101	-10,81506
0	0	-1,74278	0	0

İzolatörlü yapıda en yüksek yerdeğiştirme 43,33 sn anında gerçekleştiği için bu zamana ait yapı deplasmanı Şekil 5.51’de gösterilmiştir.

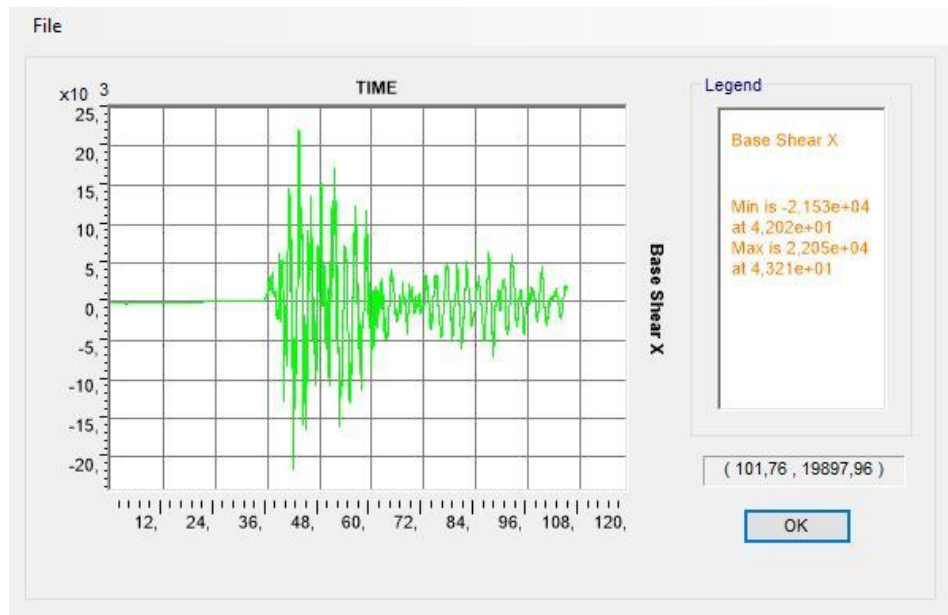


Şekil 5.51 İzolatörlü yapının 43,33 sn anında yerdeğiştirmesi

Tepe noktası deplasmanları için A-1 aksının 12. katındaki ilgili düğüm noktası dikkate alınmıştır. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.52’de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 42,26 sn anında 0,250 m, ters yönde en büyük yerdeğiştirme ise 43,33 sn anında -0,282 m olarak bulunmuştur. Taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.53’de verilmiştir. Buna göre izolatörlü yapıda en büyük taban kesme kuvveti 43,21 sn anında 22050 kN, en büyük ters yöndeki taban kesme kuvveti ise 42,02 sn anında -21530 kN olarak elde edildiği görülmüştür.



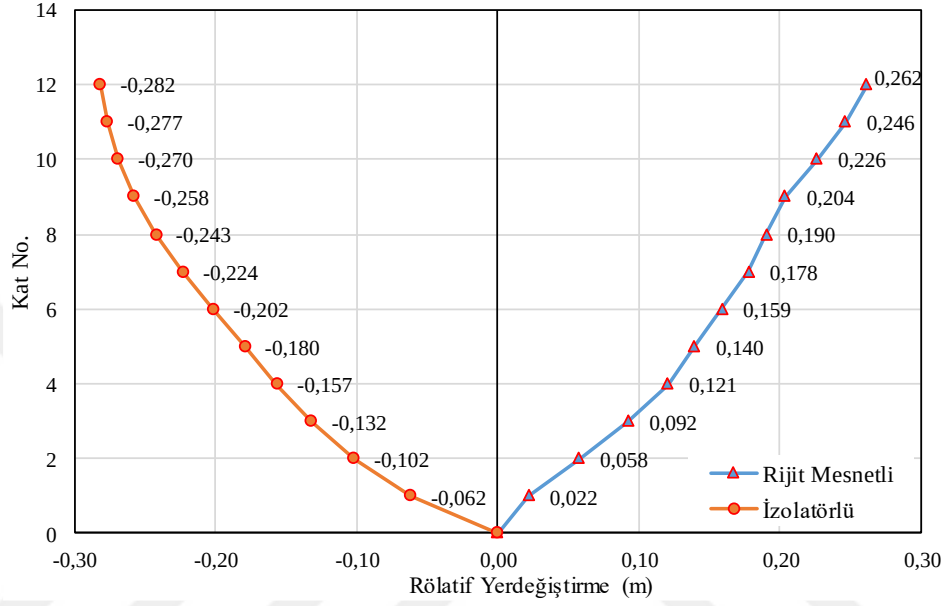
Şekil 5.52 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları



Şekil 5.53 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri

5.2.2.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

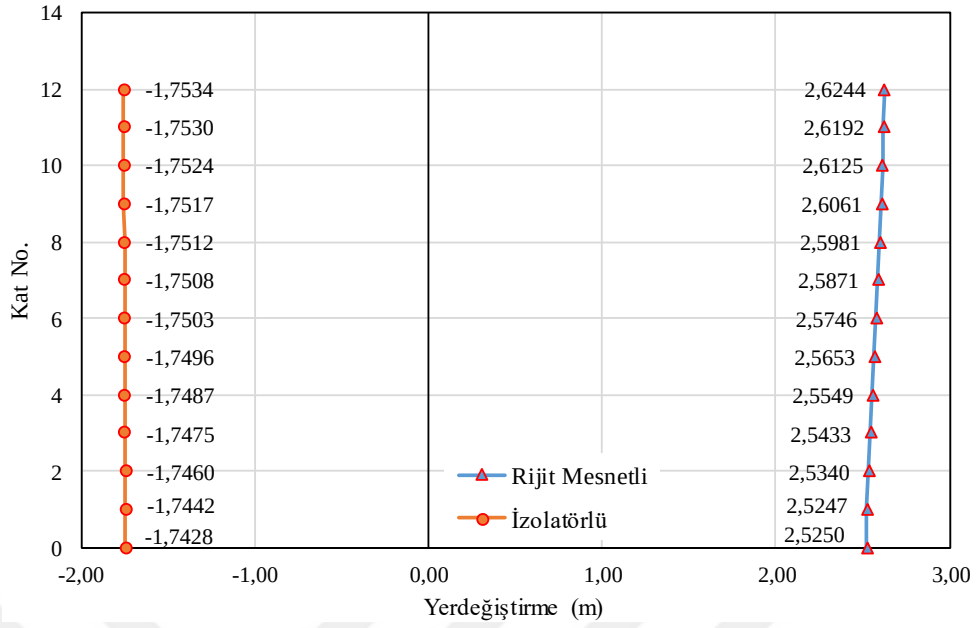
Rijit mesnetli ve izolatörlü yapı için dikkate alınan 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.



Şekil 5.54 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri

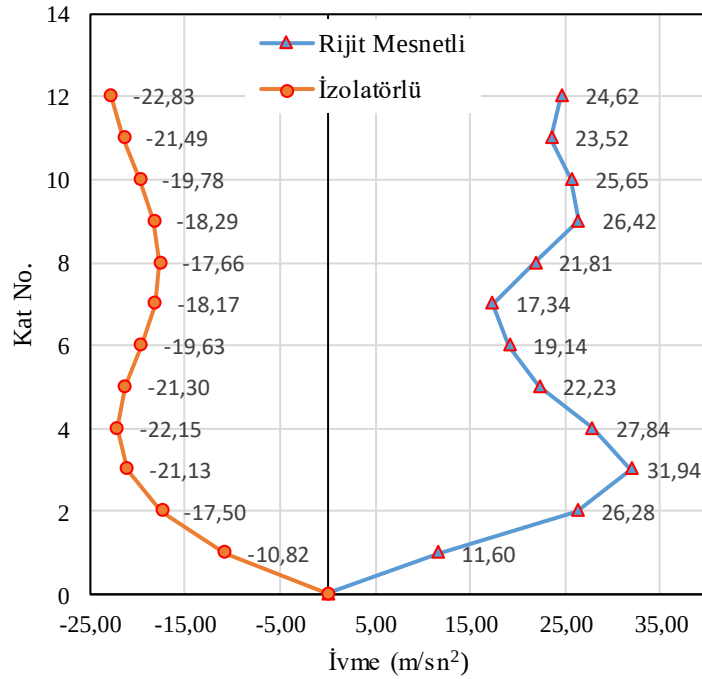
Şekil 5.54’de verilen grafik, üst katlarda her iki yapıda rölatif yerdeğiştirme değerleri neredeyse eşit seviyede olduğu görölmüştür. Orta katlarda izolatörlü yapıda yerdeğiştirme değerleri rijit mesnete göre yaklaşık %15 oranında artış göstermiştir. Üst katlarda her iki yapıda da benzer değerler gözlemlenirken, alt katlarda izolatörlü yapıda yerdeğiştirme değerlerinin ters yönde de olsa artışı, izolatörlü yapının deprem enerjisini tabanda sünek davranış göstererek sönümlediğini göstermektedir. Rijit mesnetli yapı ise rijitliği nedeniyle enerji emilim kapasitesi düşük bir davranış sergilemektedir.

Şekil 5.55’de verilen grafik, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik yükler altındaki performansını göstermesi açısından önemlidir. Genel olarak rijit mesnetli ve izolatörlü yapılarda yerdeğiştirme değerleri kat yüksekliğine bağlı olarak artmaktadır. Rijit mesnetli yapının yerdeğiştirme değerleri izolatörlü yapıya kıyasla hem alt katlarda hem de üst katlarda yaklaşık %50 oranında daha yüksektir. İzolatör kullanımının yerdeğiştirmesine olan bariz olumlu etki görölmektedir.



Şekil 5.55 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri

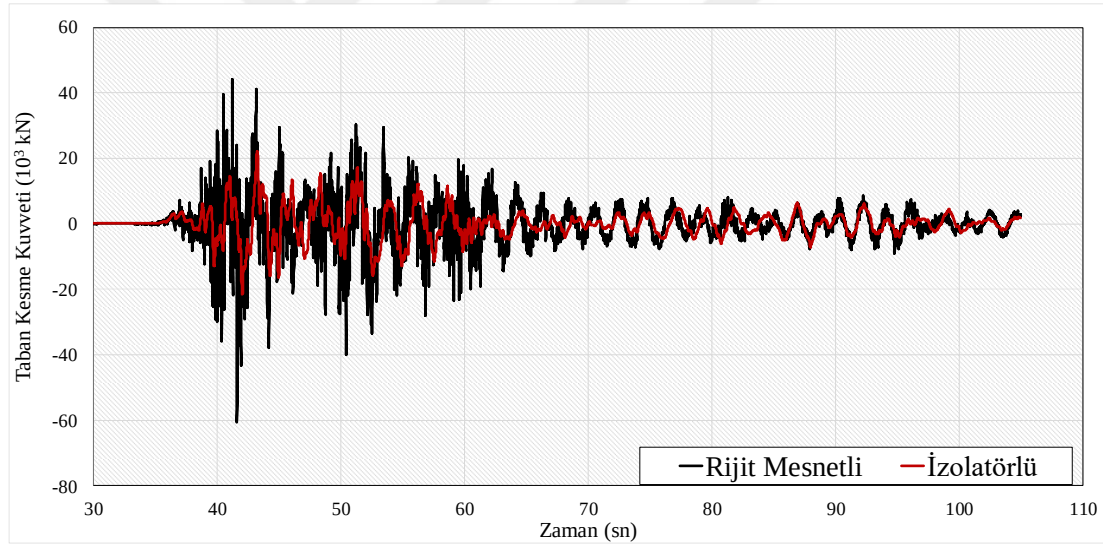
Şekil 5.56’da görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda 12. kat ivmesi $24,62 \text{ m/s}^2$, izolatörlü yapıda ise $-22,83 \text{ m/s}^2$ olarak ölçülmüş, izolatörlü yapı daha az kat ivmesine sahip olmasıyla birlikte yaklaşık aynı kat ivmeleri hesaplanmıştır. Fakat 9. katta rijit mesnetli yapı için $26,42 \text{ m/s}^2$, izolatörlü yapı için $-18,29 \text{ m/s}^2$ olduğu görülmüştür. İzolatör, yapıda yaklaşık %30 oranında kat ivmesinin azaltılmasını sağlamıştır.



Şekil 5.56 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri

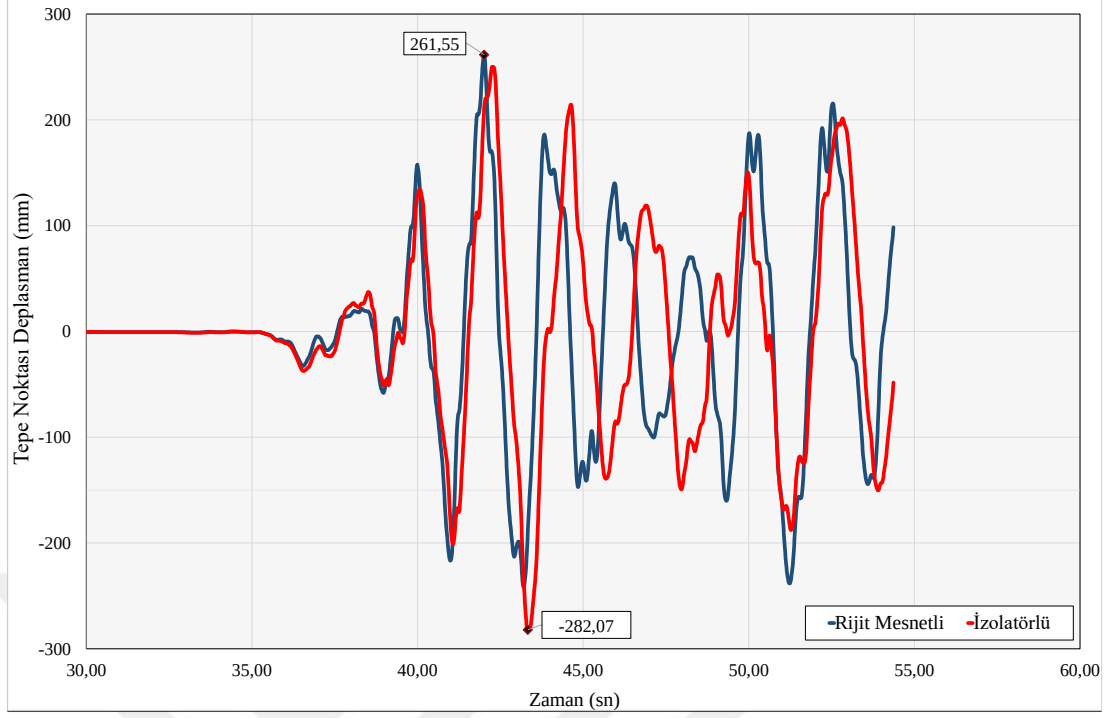
İzolatör, yaklaşık %35 oranında kat ivmesinin azaltılmasını sağlamıştır. Sismik taban yalıtımı katlarda ivme değerlerini genellikle %30 oranında azalttığını ortaya koymaktadır. Rijit mesnetli yapıya kıyasla tüm katlarda ivme genliklerini azaltarak yapının deprem yüklerine karşı daha sünek ve dengeli bir tepki vermesini sağlamıştır. Alt katlarda ise ivmeleri azaltarak deprem yükünü oldukça etkili bir şekilde sönmülemiştir. Bu, izolatörlerin deprem yüklerinin yapı üzerindeki etkisini azaltmada kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Analiz sonucunda, rijit mesnetli yapıda en büyük taban kesme kuvvetinin 60730 kN, izolatörlü yapıda ise en büyük taban kesme kuvvetinin 22050 kN olduğunu ve izolatörün taban kesme kuvvetlerini yaklaşık %65 oranında azalttığı Şekil 5.57’de görülmektedir.



Şekil 5.57 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

Rijit mesnetli yapı için taban kesme kuvveti -60000 kN ile 45000 kN arasında değişmekteyken; izolatörlü yapı için +20000 kN ile -20000 kN arasında değişmektedir. Bu durum bize deprem yükünün % 60 civarında izolatör tarafından sönmülendiğini göstermektedir. İzolatörlü yapıda düşük kuvvet genlikli ve düzenli bir salınım gözlemlenirken, rijit mesnetli yapıda ise yüksek genlikli ve daha düzensiz bir kuvvet dağılımı görülmüştür.



Şekil 5.58 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Şekil 5.58’de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda tepe noktası yerdeğiştirmesinin maksimum 261,5 mm, izolatörlü yapıda ise -282,07 mm’dir. İzolatörün en büyük yerdeğiştirmeyi az da olsa yaklaşık %8 oranında arttırdığı görülmektedir. Rijit mesnetli yapıda yerdeğiştirme genlikleri genel olarak daha yüksek ve düzensiz salınımlar gözlemlenirken, izolatörlü yapı genel olarak daha düşük genlik ve düzenli bir davranış sergilemiştir. İzolatör, deprem enerjisini sönmülemiş ve yerdeğiştirme genliklerini kontrol altına alarak yapı performansını artırmıştır.

5.2.3 Kastamonu Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Bu kısımda, 24 katlı 42 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçevesel yapıya 1977 Kastamonu depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapıda izolatör kullanılmamış rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Daha sonra yapı izolatörlü olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen rölatif deplasman, yerdeğiştirme, kat ivmesi, taban kesme kuvveti ve tepe noktası deplasmanı sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.2.3.1 Rijit mesnetli yapı analizi

Bu bölümde yapı sadece rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir.

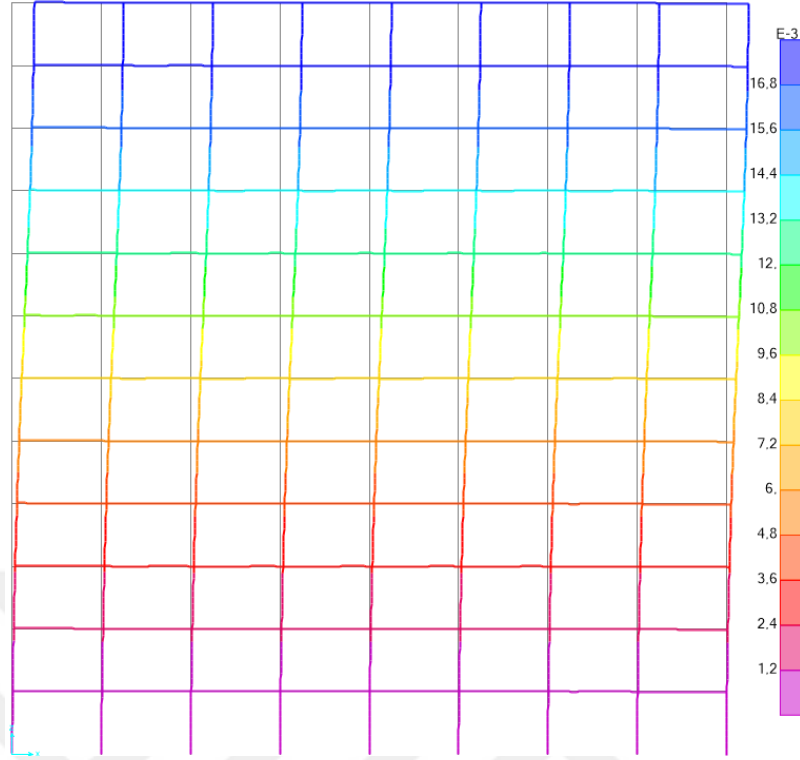
Tablo 5.15 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri

Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
12	42	0,019876	0,017936	0,54345
11	38,5	0,019155	0,017214	0,51411
10	35	0,018042	0,016092	0,46708
9	31,5	0,016488	0,014524	0,41632
8	28	0,014873	0,013698	0,42694
7	24,5	0,013995	0,012895	0,47998
6	21	0,012771	0,011705	0,50104
5	17,5	0,01118	0,010102	0,49873
4	14	0,009327	0,008126	0,49599
3	10,5	0,008398	0,00588	0,46498
2	7	0,007826	0,003514	0,33182
1	3,5	0,007318	1,30E-03	0,13529
0	0	0,007533	0	0

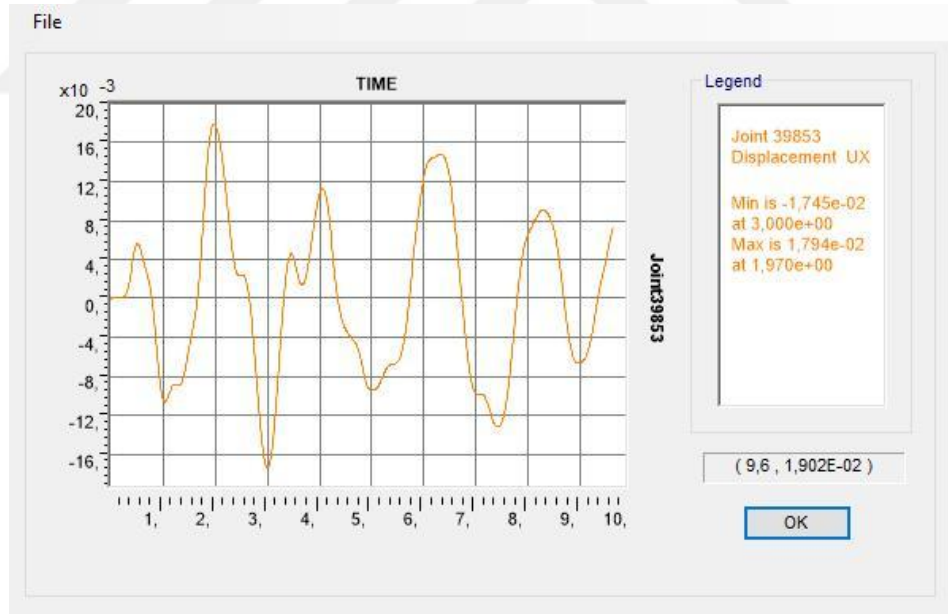
Bu yapıda analiz sonuçları incelenmek üzere A-1 aksındaki düğüm noktaları seçilmiştir. Analizden elde edilen deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.15’de verilmiştir.

Analiz sonucunda yapı Şekil 5.59’daki gibi deformasyona uğramıştır. En büyük yerdeğiştirme 1,97 sn anında tepe noktası 17,94 mm deplasman gerçekleştirdiği için bu zamana ait yerdeğiştirme dikkate alınmıştır.

Rijit mesnetli yapının A-1 aksı 12. katındaki ilgili düğüm noktası tepe noktası deplasmanının sonuçlarına ulaşmak için seçilmiştir. Bu düğüm noktası vasıtasıyla zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için grafik elde edilerek Şekil 5.60’da sunulmuştur. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 1,97 sn anında 17,94 mm, ters doğrultuda en büyük yerdeğiştirme ise 3,00 sn anında -17,45 mm olarak verilmiştir.

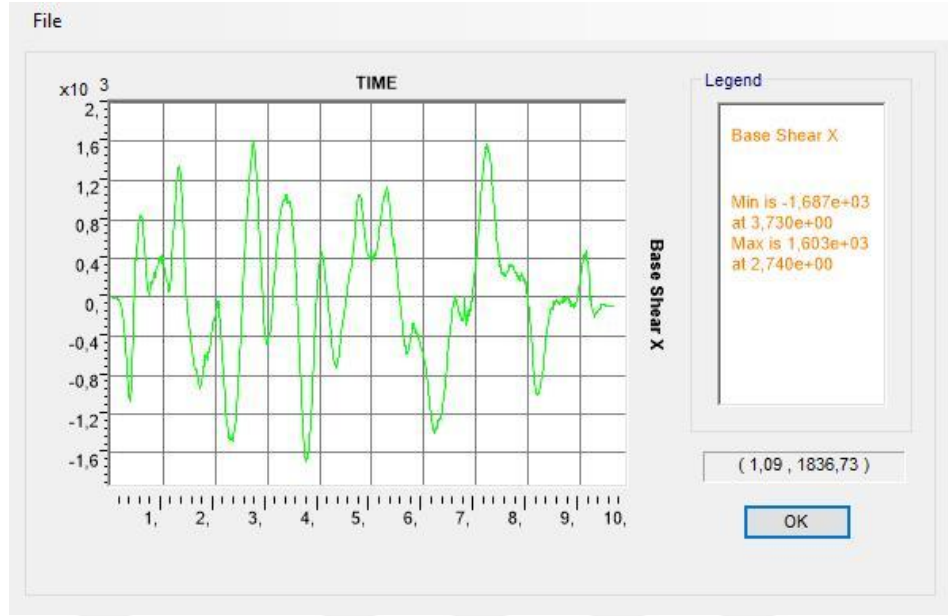


Şekil 5.59 Rijit mesnetli yapının 1,97 sn anındaki yerdeğiştirmesi



Şekil 5.60 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Rijit mesnetli yapının analizi neticesinde elde edilen taban kesme kuvveti grafiği Şekil 5.61’de verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 2,74 sn anında 1630 kN, ters yöndeki en yüksek taban kesme kuvveti ise 3,73 sn anında -1687 kN olarak bulunmuştur.



Şekil 5.61 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

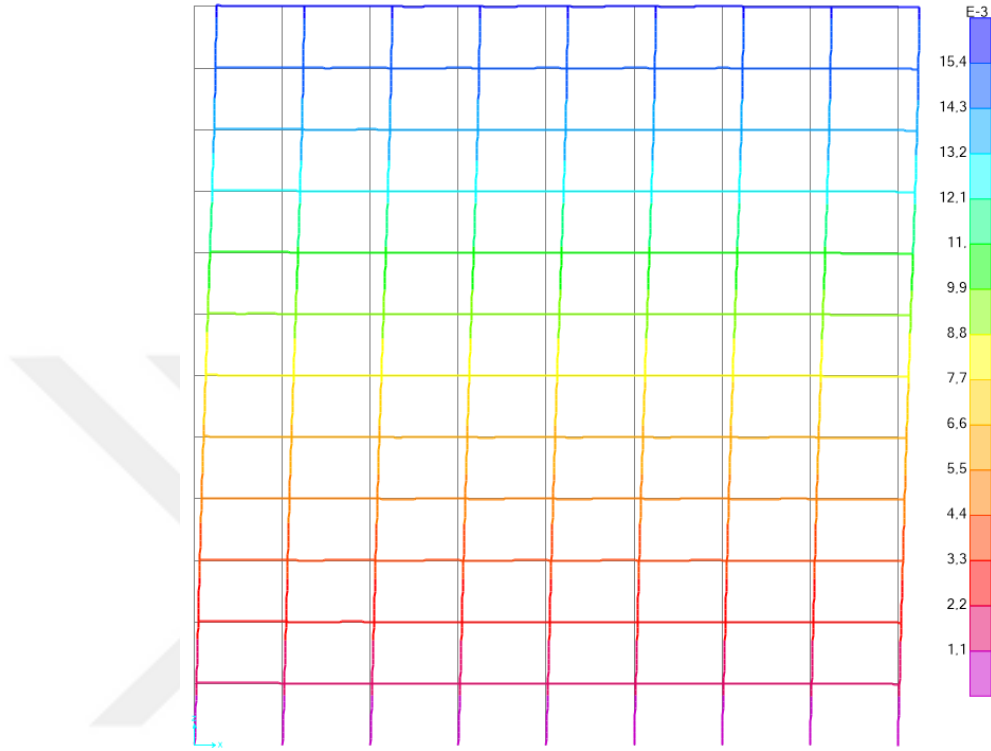
5.2.3.2 İzolatörlü yapı analizi

12 katlı betonarme çerçeveli yapıda radye temel üzerine sismik izolatör yerleştirilmek suretiyle analiz tekrarlanmıştır. Bu sismik izolatörlü yapıya ait deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.16’da verilmiştir.

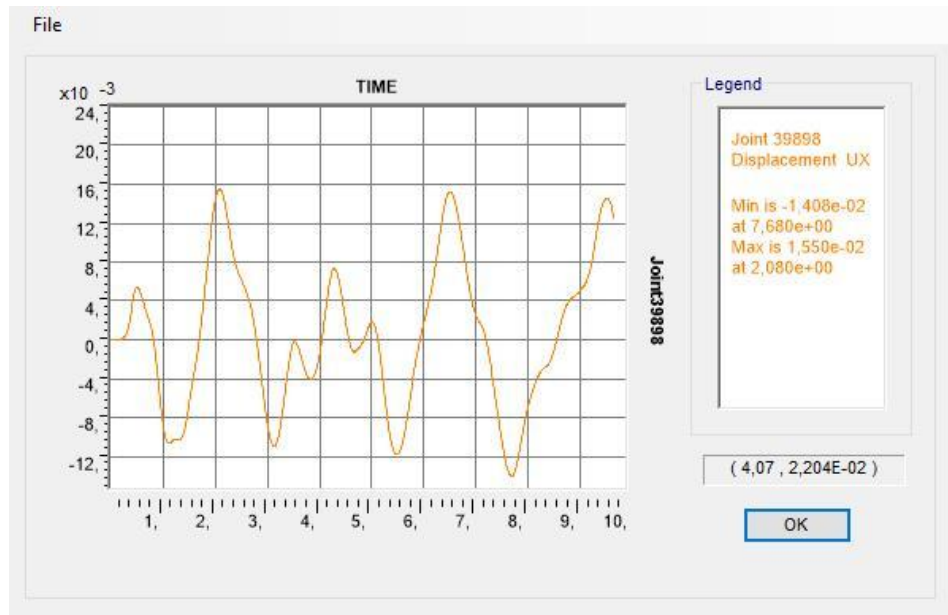
Tablo 5.16 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri

Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
12	42	0,017879	0,015498	0,37887
11	38,5	0,017178	0,014801	0,28298
10	35	0,016138	0,013878	0,26432
9	31,5	0,014799	0,012828	0,31694
8	28	0,013385	0,011876	0,4029
7	24,5	0,013006	0,010853	0,48174
6	21	0,012611	0,009801	0,52595
5	17,5	0,012093	0,008905	0,53505
4	14	1,14E-02	0,007852	0,50366
3	10,5	1,06E-02	0,00685	0,4372
2	7	0,009531	0,005335	0,36357
1	3,5	0,008186	3,16E-03	0,23552
0	0	0,007533	0	0

Yapı sismik izolatör sistemi kullanıldığı durumda Şekil 5.62'deki gibi deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme 2,08 sn anında gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme seçilerek sunulmuştur.



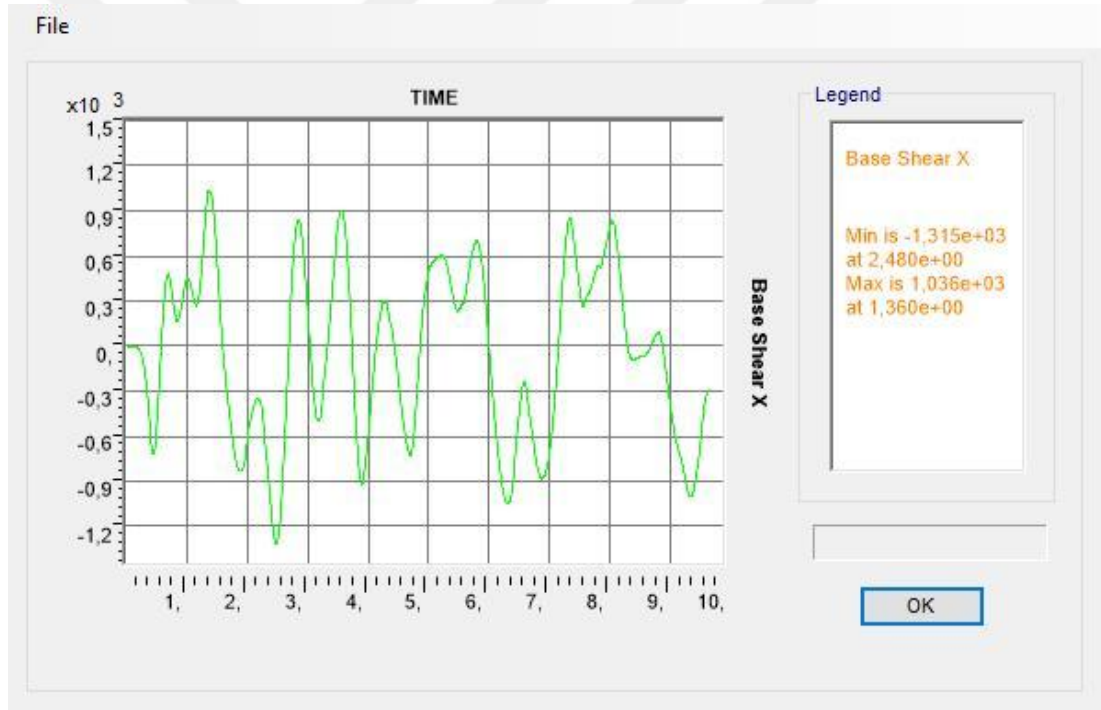
Şekil 5.62 İzolatörlü yapının 2,08 sn anında yerdeğiştirmesi



Şekil 5.63 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları

İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanı verilerini almak için A-1 aksının 12. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.63’de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 2,08sn anında 15,55 mm, en büyük ters yöndeki yerdeğiştirme ise 7,68 sn anında -14,08 mm olarak verilmiştir.

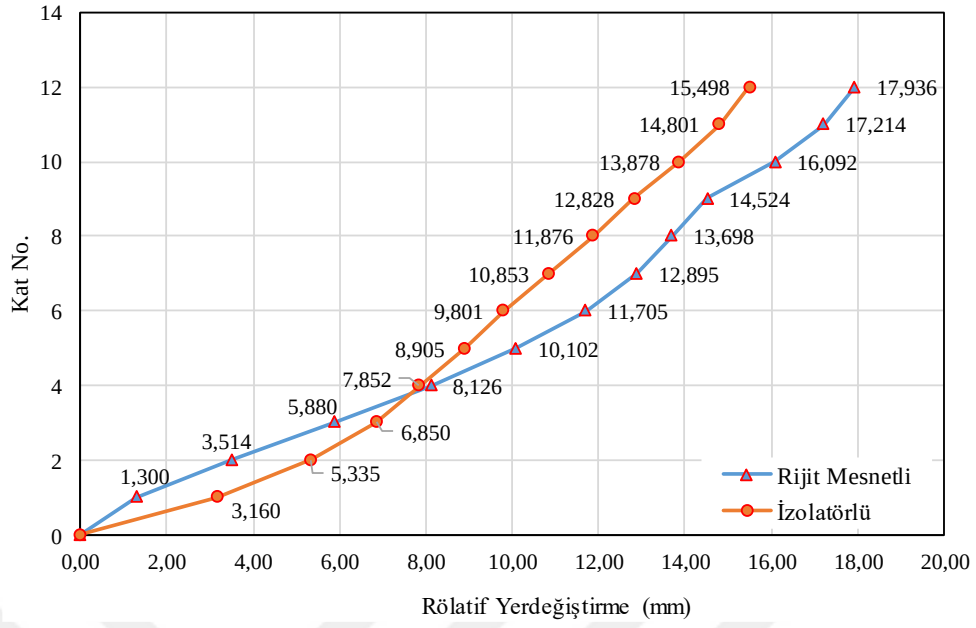
İzolatörlü yapının program üzerinden analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti grafiği Şekil 5.64’de verilmiştir. Bu grafiğe göre en büyük taban kesme kuvveti 1,36 sn anında 1036 kN olarak meydana gelirken, tam tersi doğrultuda en büyük taban kesme kuvveti ise 2,48 sn anında -1315 kN olarak analizler neticesinde hesaplanmıştır.



Şekil 5.64 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri

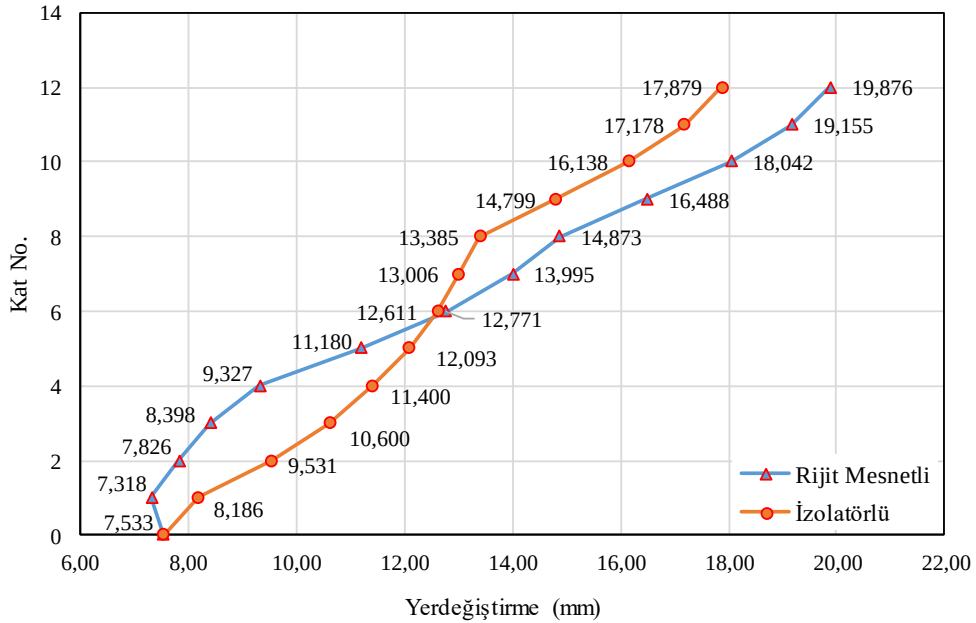
5.2.3.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Rijit mesnetli ve izolatörlü yapı için dikkate alınan 1977 Kastamonu depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.



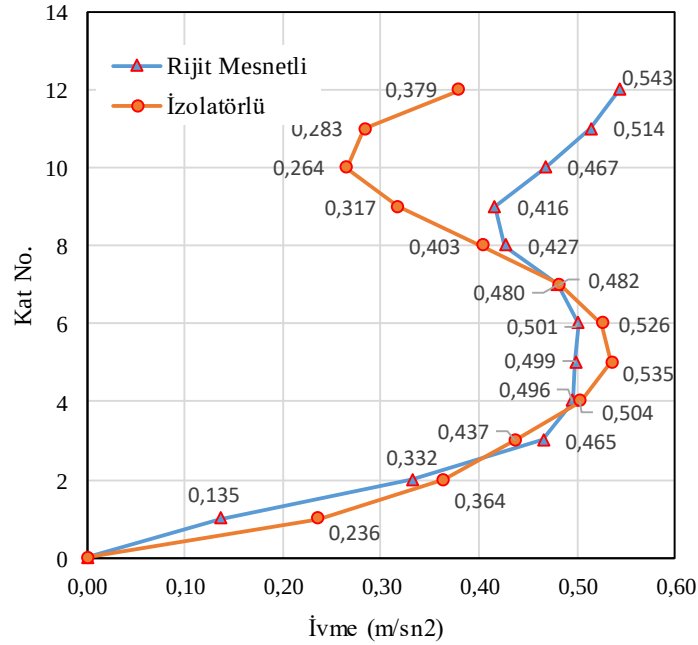
Şekil 5.65 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri

Şekil 5.65’de verilen grafikte, genel olarak rölatif yerdeğiştirmenin rijit mesnetli yapıda izolatörlü yapıdan daha yüksek olduğu görölmektedir. Üst katlarda (9-12. katlar) izolatörlü yapıda rölatif yerdeğiştirme değerleri yaklaşık %15 daha düşüktür. Orta katlarda (5-8. katlar) rölatif yerdeğiştirme değerleri izolatörlü yapıda hızla artarak rijit mesnetli yapıyla yakın değerler gösterse de yine de %1 oranında daha düşük olduğu görölmektedir.



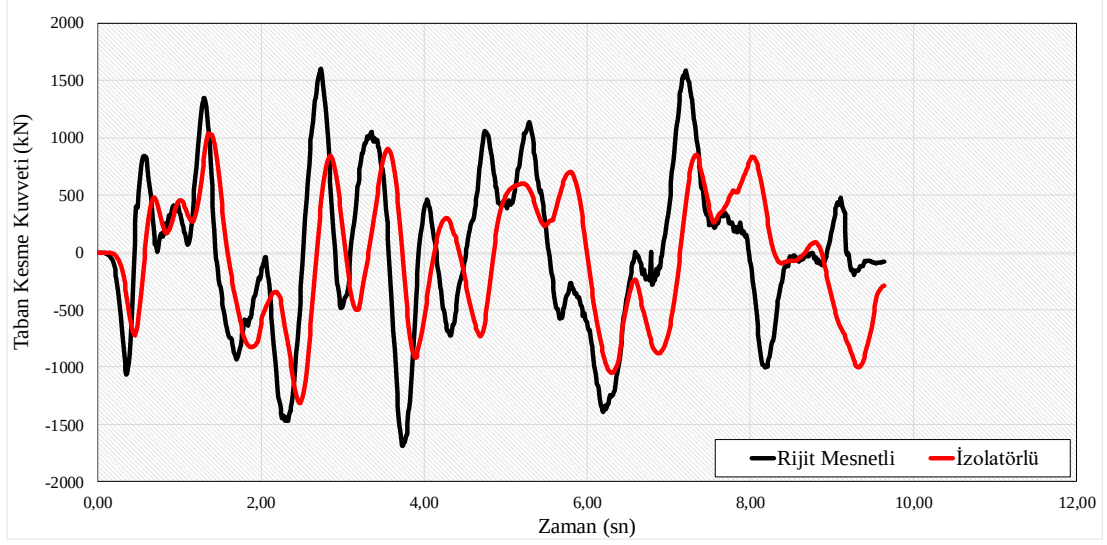
Şekil 5.66 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri

Şekil 5.66’da verilen grafik, genel olarak özellikle üst katlarda yerdeğiştirmenin rijit mesnetli yapıda daha yüksek olduğunu göstermektedir. İzolatörlü yapı, alt katlarda izolatörlü yapıdaki yerdeğiştirme değerleri rijit mesnetli yapıya kıyasla %10-12 daha yüksektir. Orta katlarda yerdeğiştirmeler birbirine yaklaşmakta ve yapının 6. katta ise neredeyse eşitlenmektedir. Üst katlarda izolatör yerdeğiştirme değerlerini rijit mesnetli yapıya kıyasla yaklaşık %10 azaltmaktadır. Bu durum, izolatörlerin sismik enerjiyi tabanda sönümlemesi nedeniyle alt katlarda yerdeğiştirmelerin artmasına, üst katlarda rijit mesnetli yapıya göre daha dengeli bir yapı davranışına yol açtığını göstermektedir. İzolatörler, sismik yükleri yapı boyunca dağıtarak üst katlarda güvenliği artırmaktadır.



Şekil 5.67 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri

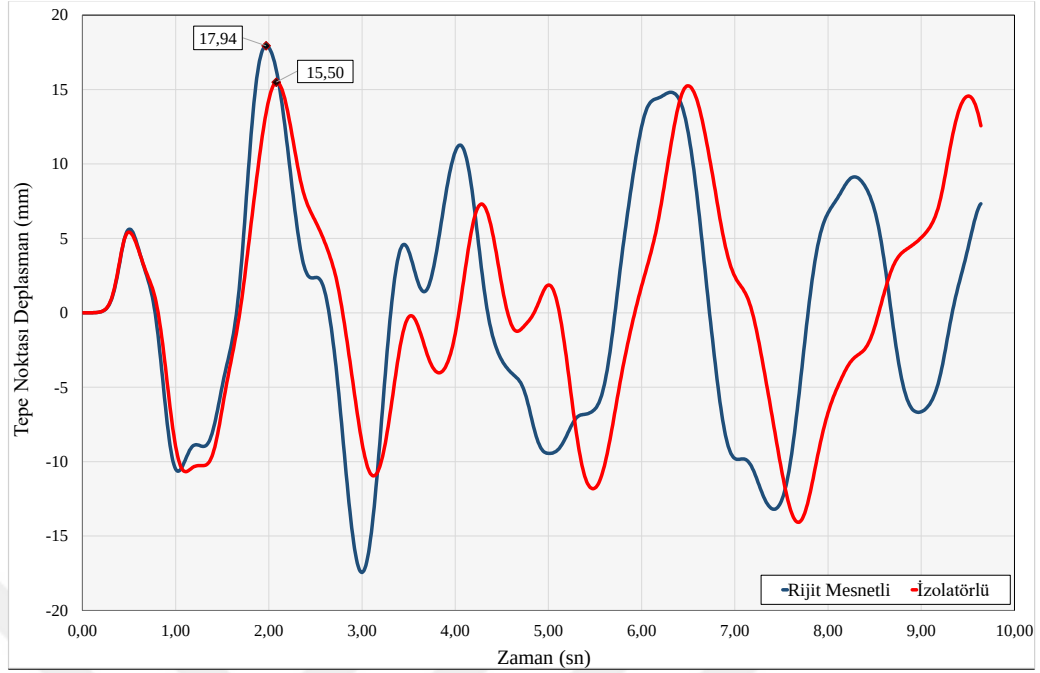
Şekil 5.67’de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda 12. kat ivmesi $0,543 \text{ m/s}^2$, izolatörlü yapıda ise $0,379 \text{ m/s}^2$ olarak ölçülmüştür. Başka bir ifadeyle izolatörlü yapı %30 daha az kat ivmesine sahip olmaktadır. Fakat rijit mesnetli yapının 10. katı için ivme değeri $0,47 \text{ m/s}^2$ hesaplanırken, izolatörlü yapı için aynı katta ivme değerinin $0,26 \text{ m/s}^2$ olduğu görülmüştür. İzolatör kat ivmesini yaklaşık %45 oranında azaltılmasını sağlamıştır. Ayrıca 3. katta rijit mesnetli yapı için $0,46 \text{ m/s}^2$, izolatörlü yapı için $0,44 \text{ m/s}^2$ olduğu görülmüştür. Alt katlarda neredeyse eşitlendiğini gözlemlenebilmektedir. Rijit mesnetli yapıya kıyasla ivme genliklerini azaltarak yapının deprem yüklerine karşı daha sünek ve dengeli bir tepki vermesini sağlamıştır. Üst katlarda ise ivmeleri azaltarak deprem yükünü etkili bir şekilde sönümlemiştir.



Şekil 5.68 İzolotörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

Şekil 5.68, rijit mesnetli yapıda maksimum taban kesme kuvvetinin 1686 kN, izolotörlü yapıda ise 1315 kN olduğunu ve izolotörün kesme kuvvetlerini yaklaşık %25 oranında azalttığını göstermektedir. Rijit mesnetli yapı için taban kesme kuvveti 1686 kN ile -1603 kN arasında değişmekteyken; izolotörlü yapı için 1035 kN ile -1315 kN arasında değişmektedir. Bu durum bize deprem yükünün yaklaşık % 30 civarında sönmüldüğünü göstermektedir. İzolotörlü yapıda düşük frekanslı ve düzenli bir salınım gözlemlenirken, rijit mesnetli yapıda ise yüksek frekanslı ve daha düzensiz bir kuvvet değişimi görülmüştür. Zamana bağlı olarak rijit mesnetli sistem daha yüksek genlikli ve düzensiz salınımlar sergilerken, izolotörlü sistem daha düşük genlikli ve düzenli bir kuvvet dağılımı ile daha kontrol edilebilir bir davranış göstermiştir.

Şekil 5.69’da görüldüğü üzere rijit mesnetli sistemde tepe noktası yerdeğiştirmesinin maksimum 17,94 mm, izolotörlü sistemde ise 15,50 mm olduğu ve izolotörün maksimum tepe noktası yerdeğiştirmesini yaklaşık %30 oranında azalttığını görülmektedir. Rijit mesnetli yapıda yerdeğiştirme genlikleri daha yüksek ve düzensiz salınımlar gözlemlenirken, izolotörlü sistem daha düşük genlik ve düzenli bir davranış sergilemiştir. İzolotör, deprem enerjisini sönmülemiş ve yerdeğiştirme genliklerini kontrol altına alarak yapı performansını artırmıştır. Bu sonuç, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik performansı iyileştirmedeki etkinliğini doğrulamaktadır.



Şekil 5.69 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

5.3 24 Katlı Betonarme Çerçevesel Yapı Analizi

24 katlı betonarme çerçevesel yapının rijit mesnetli ve sismik taban yalıtımlı olarak Kocaeli-Gölcük, Kahramanmaraş-Pazarcık ve Kastamonu depremlerine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır.

Tablo 5.17 Modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot (sn)	UX	UY	UZ	TopUX	TopUY	TopUZ
1	4,9349	0,0000	0,7852	0,0000	0,0000	0,7852	0,0000
2	4,3963	0,7961	0,0000	0,0000	0,7961	0,7852	0,0000
3	4,0599	0,0000	0,0000	0,0000	0,7961	0,7852	0,0000
4	1,4662	0,0000	0,1105	0,0000	0,7961	0,8958	0,0000
5	1,3820	0,1004	0,0000	0,0000	0,8965	0,8958	0,0000
6	1,2974	0,0000	0,0000	0,0000	0,8965	0,8958	0,0000
7	0,8392	0,0000	0,0331	0,0000	0,8965	0,9289	0,0000
8	0,8043	0,0333	0,0000	0,0000	0,9298	0,9289	0,0000
9	0,7562	0,0000	0,0000	0,0000	0,9298	0,9289	0,0000
10	0,5794	0,0000	0,0190	0,0000	0,9298	0,9478	0,0000
11	0,5585	0,0185	0,0000	0,0000	0,9483	0,9478	0,0000
12	0,5249	0,0000	0,0000	0,0000	0,9483	0,9478	0,0000

Rijit mesnetli yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları Tablo 5.17’de verilmiştir. Analiz sonucuna göre yapının hâkim periyodu 4,9349 sn olarak bulunmuştur.

Tablo 5.18 İzolatörlü yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları

Mod	Periyot (sn)	UX	UY	UZ	TopUX	TopUY	TopUZ
1	5,2362	0,0000	0,7573	0,0000	0,0000	0,7573	0,0000
2	4,6862	0,7708	0,0000	0,0000	0,7708	0,7573	0,0000
3	4,3255	0,0000	0,0000	0,0000	0,7708	0,7573	0,0000
4	1,5853	0,0000	0,0996	0,0000	0,7708	0,8569	0,0000
5	1,4866	0,0871	0,0000	0,0000	0,8580	0,8569	0,0000
6	1,3904	0,0000	0,0000	0,0000	0,8580	0,8569	0,0000
7	0,8938	0,0000	0,0200	0,0000	0,8580	0,8769	0,0000
8	0,8571	0,0193	0,0000	0,0000	0,8773	0,8769	0,0000
9	0,8051	0,0000	0,0000	0,0000	0,8773	0,8769	0,0000
10	0,6214	0,0000	0,0012	0,0000	0,8773	0,8782	0,0000
11	0,5997	0,0000	0,0000	0,0000	0,8773	0,8782	0,0000
12	0,5601	0,0000	0,0000	0,0000	0,8773	0,8782	0,0000

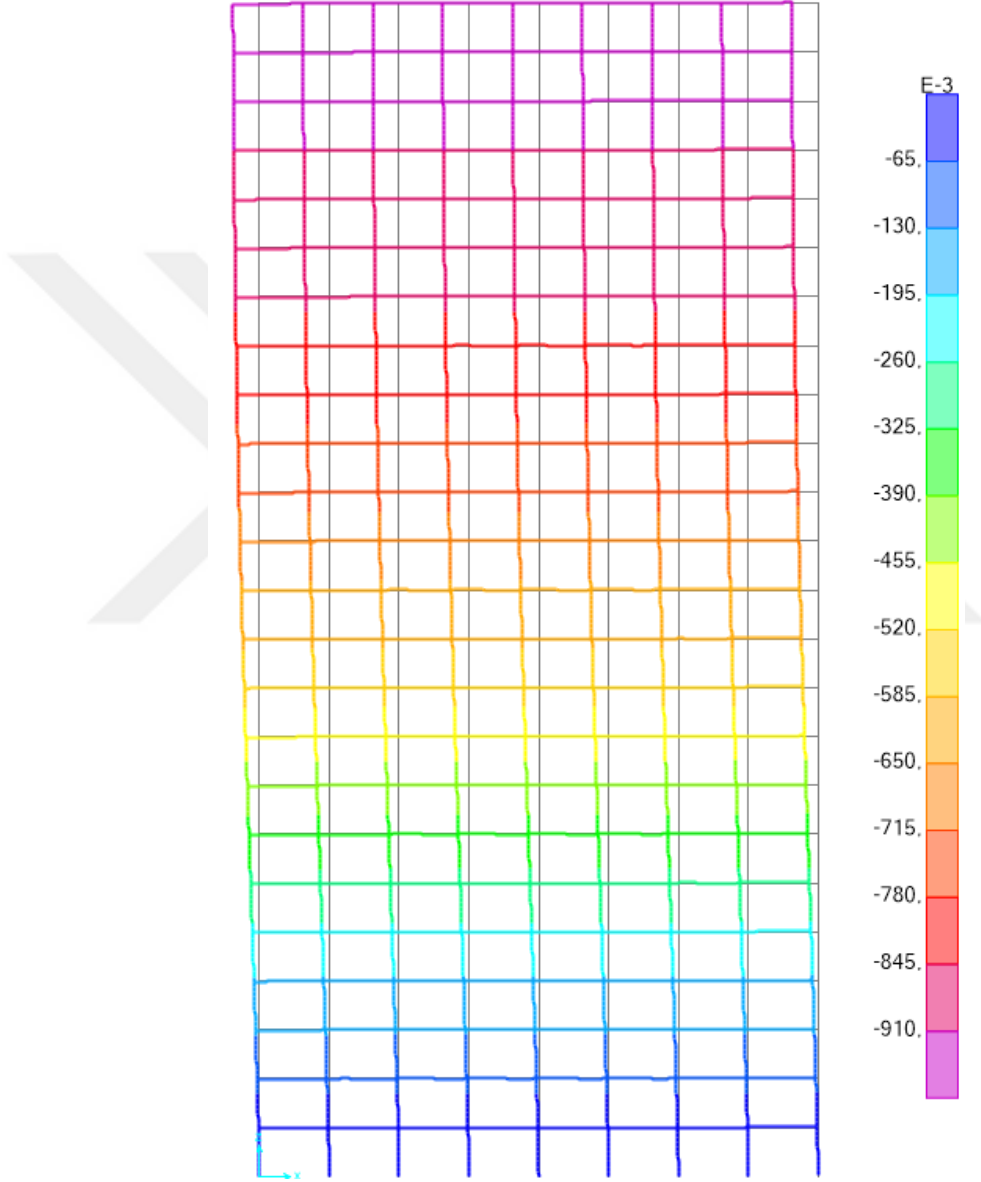
24 katlı izolatörlü yapının modal analiz sonuçları, periyot ve kütle katılım oranları Tablo 5.18’de verilmiştir. Analiz sonucuna göre yapının hâkim periyodu 5,2362 sn olarak elde edilmiştir.

5.3.1 Kocaeli-Gölcük Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Bu kısımda, 24 katlı 84 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçeveli yapıya 1999 Kocaeli-Gölcük depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapıda izolatör kullanılmamış rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Daha sonra yapı izolatörlü olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.3.1.1 Rijit mesnetli yapı analizi

Bu bölümde yapı sadece rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Şekil 5.70’de ki gibi yapı deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme 17,26 sn anında 0,944 m değerinde gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme durumu verilmiştir.



Şekil 5.70 Rijit Mesnetli yapının 17,26 sn anında yerdeğiştirmesi

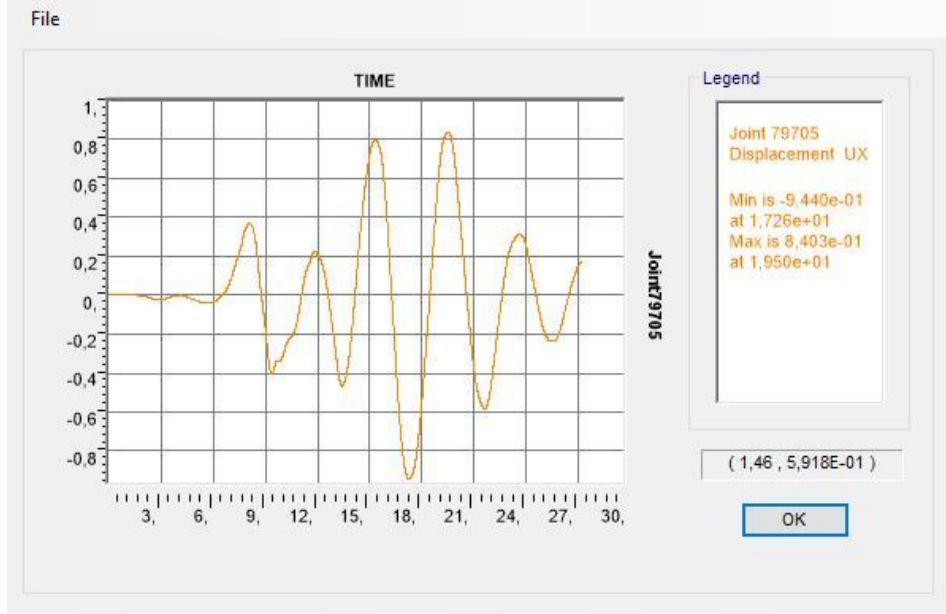
Bu yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları seçilmiştir. Deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.19’da verilmiştir.

Tablo 5.19 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri

Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
24	84	-0,979489	-0,944003	-3,08991
23	80,5	-0,970065	-0,934568	-3,01136
22	77	-0,958649	-0,923138	-2,90691
21	73,5	-0,944876	-0,909347	-2,79414
20	70	-0,928566	-0,893019	-3,02834
19	66,5	-0,909535	-0,873978	-3,22194
18	63	-0,887552	-0,851993	-3,32812
17	59,5	-0,862334	-0,826775	-3,32414
16	56	-0,833565	-0,798009	-3,21163
15	52,5	-0,800943	-0,76539	-3,01611
14	49	-0,764226	-0,728674	-2,78109
13	45,5	-0,723292	-0,687735	-2,55035
12	42	-0,678183	-0,642614	-2,37529
11	38,5	-0,629141	-0,59355	-2,7498
10	35	-0,576631	-0,540985	-3,00057
9	31,5	-0,521279	-0,485543	-3,12899
8	28	-0,463906	-0,427979	-3,15421
7	24,5	-0,435321	-0,369092	-3,4472
6	21	-0,414509	-0,309664	-3,82586
5	17,5	-0,391871	-0,25061	-3,88998
4	14	-0,367132	-0,193908	-3,56262
3	10,5	-0,340448	-0,137356	-2,83946
2	7	-0,313257	-0,081532	-1,80866
1	3,5	-0,294561	-0,030717	-0,68611
0	0	-0,292666	0	0

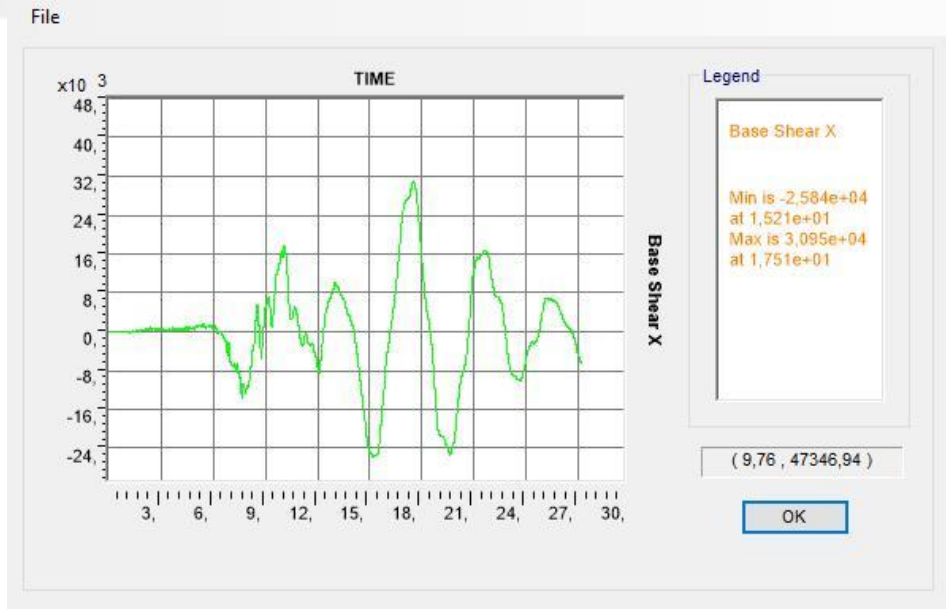
Tepe noktası için A-1 aksının 24. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için bu düğüm noktasının sonuçlarından elde edilen grafik Şekil 5.71’de verilmiştir.

Buna göre en büyük yerdeğiştirme 19,5 sn anında 0,840 m, ters yönde en büyük yerdeğiştirme ise 17,26 sn anında -0,944 m olarak bulunmuştur.



Şekil 5.71 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.72’de verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 17,51 sn anında 30950 kN, ters doğrultuda en yüksek taban kesme kuvveti ise 15,21 sn anında -25840 kN olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.72 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

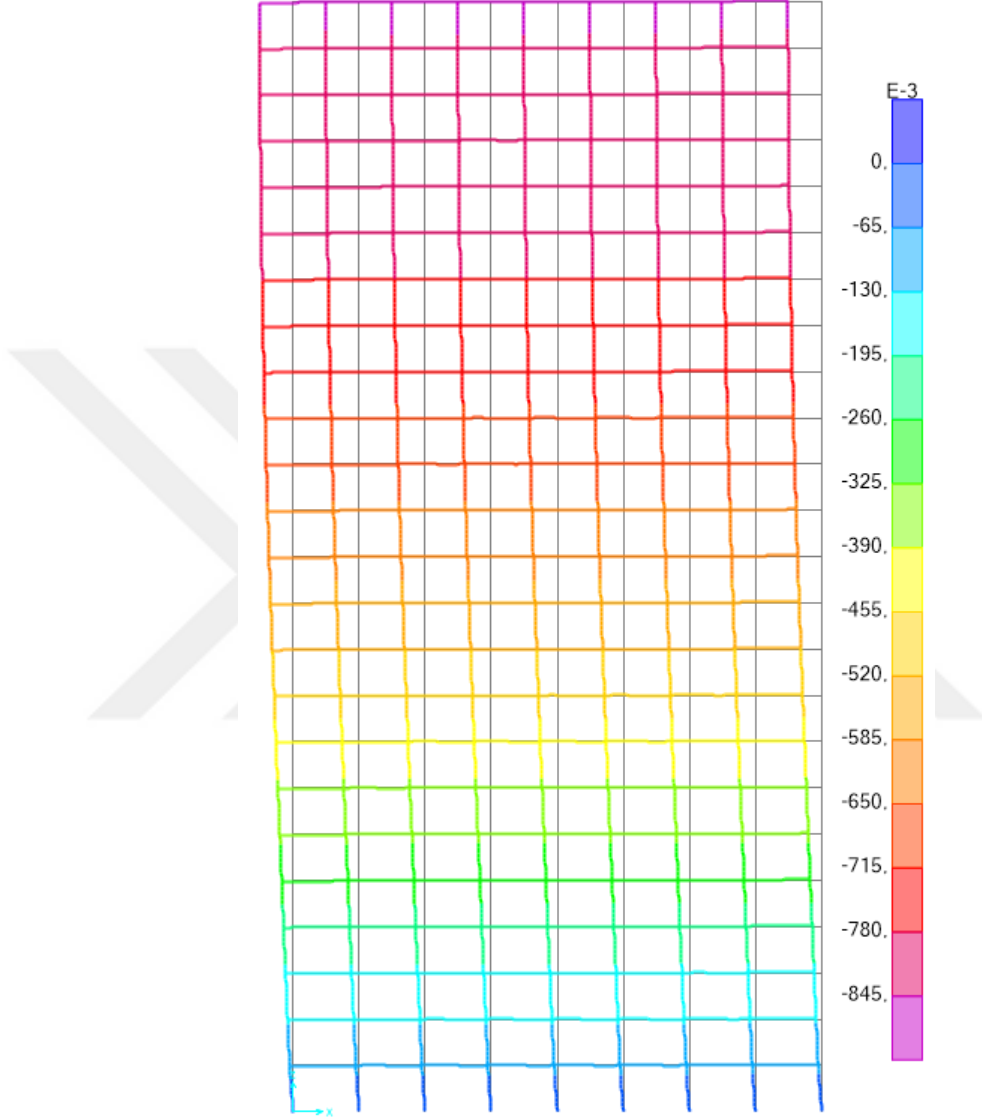
5.3.1.2 İzolatörlü yapı analizi

24 katlı betonarme çerçeve yapı izolatör kullanılarak analiz tekrar edilmiştir. Yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları analizleri karşılaştırılmak üzere seçilmiştir. Bu yapıya ait analizde bulunan deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.20’de verilmiştir.

Tablo 5.20 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri

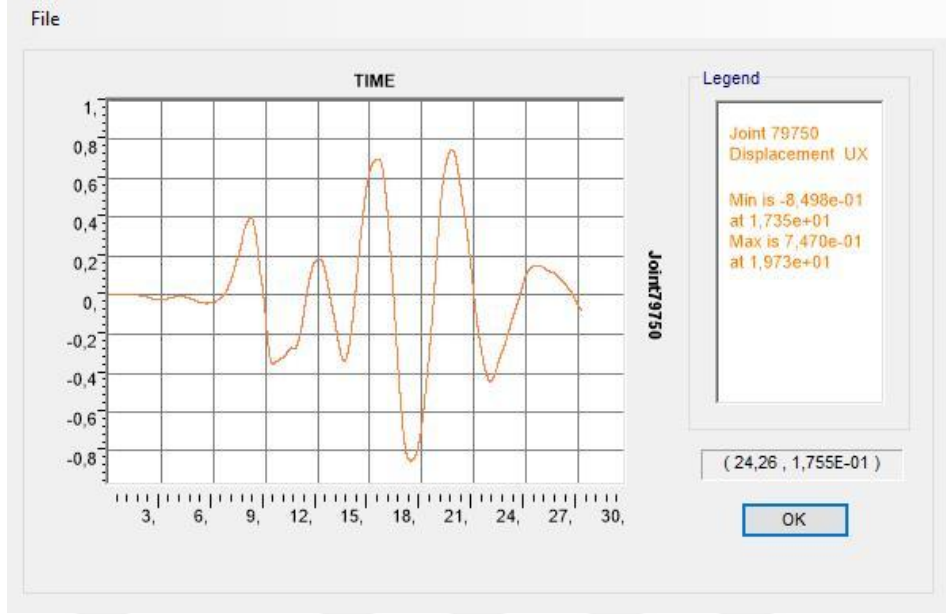
Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
24	84	-0,889044	-0,849781	-2,83701
23	80,5	-0,881641	-0,84237	-2,79411
22	77	-0,873156	-0,833892	-2,77847
21	73,5	-0,862985	-0,823719	-2,76481
20	70	-0,850823	-0,811534	-2,75558
19	66,5	-0,836306	-0,796965	-2,75282
18	63	-0,819082	-0,779655	-2,75754
17	59,5	-0,798842	-0,759294	-2,76916
16	56	-0,775361	-0,735656	-2,78521
15	52,5	-0,748534	-0,708623	-2,80129
14	49	-0,718382	-0,678197	-2,81143
13	45,5	-0,685064	-0,644539	-2,80864
12	42	-0,648893	-0,607948	-2,78721
11	38,5	-0,610295	-0,568852	-2,74048
10	35	-0,569776	-0,527825	-2,66211
9	31,5	-0,527818	-0,485531	-2,54913
8	28	-0,489425	-0,442375	-2,68364
7	24,5	-0,47441	-0,398272	-2,8083
6	21	-0,456682	-0,352889	-2,83061
5	17,5	-0,436159	-0,305899	-2,73906
4	14	-4,13E-01	-2,57E-01	-2,53421
3	10,5	-3,87E-01	-2,06E-01	-2,18972
2	7	-0,358145	-0,15177	-1,70341
1	3,5	-0,325075	-0,089243	-1,03784
0	0	-0,292605	0	0

Yapı izolatör kullanıldığı durumda Şekil 5.73'deki gibi deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme değeri 0,850 m olarak 17,35 sn anında gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme durumu dikkate alınmıştır.



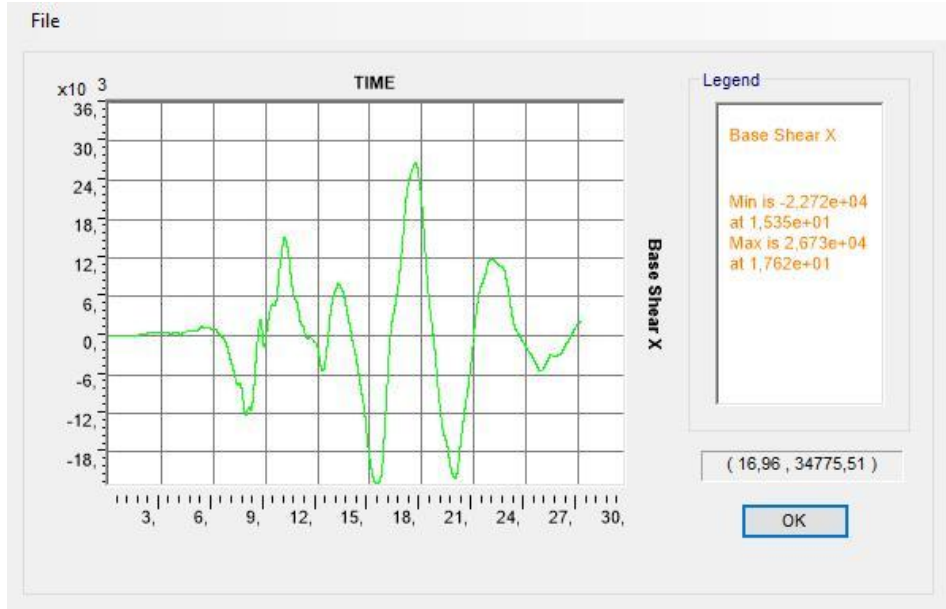
Şekil 5.73 İzolatörlü yapının 17,35 sn anında yerdeğiştirmesi

Tepe noktası için yine A-1 aksının 24. katındaki ilgili düğüm noktası seçilerek zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.74'de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 19,73 sn anında 0,747 m, aksi yönde en büyük yerdeğiştirme ise 17,35 sn anında -0,850 m olarak verilmiştir.



Şekil 5.74 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanı

İzolatörlü yapının analiz sonuçlarına göre en yüksek taban kesme kuvveti 17,62 sn anında 26730 kN, ters yöndeki en yüksek taban kesme kuvveti ise 15,35 sn anında -22720 kN olarak verilmiştir. Taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.75’de verilmiştir.

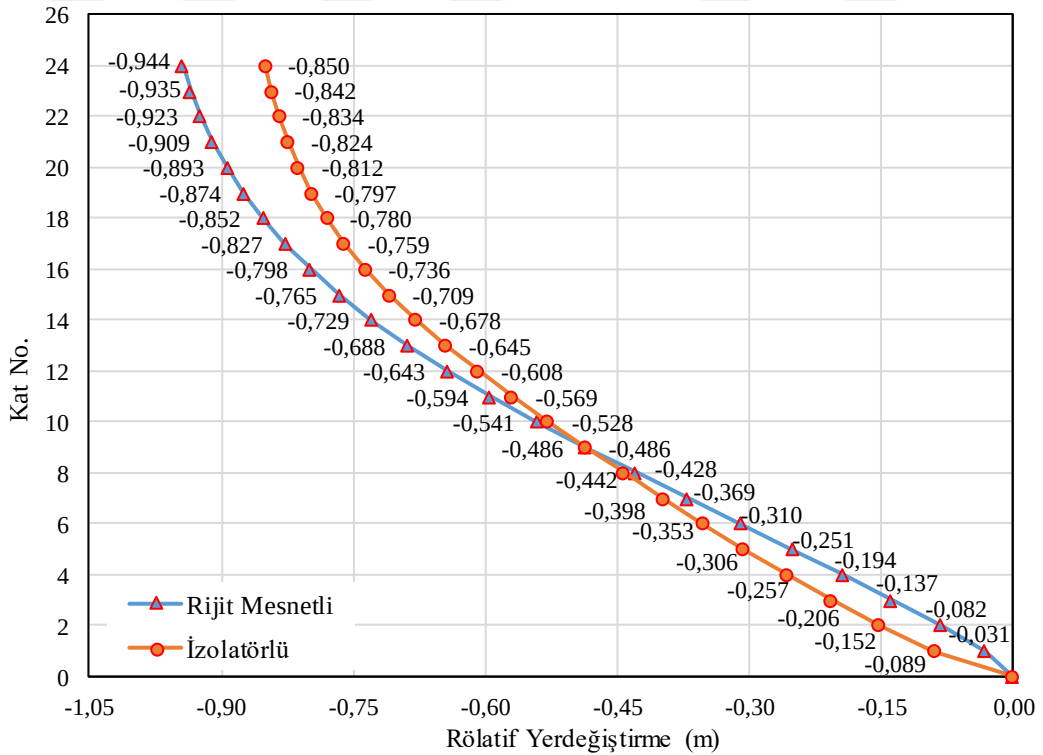


Şekil 5.75 İzolatörlü yapının taban kesme kuvveti

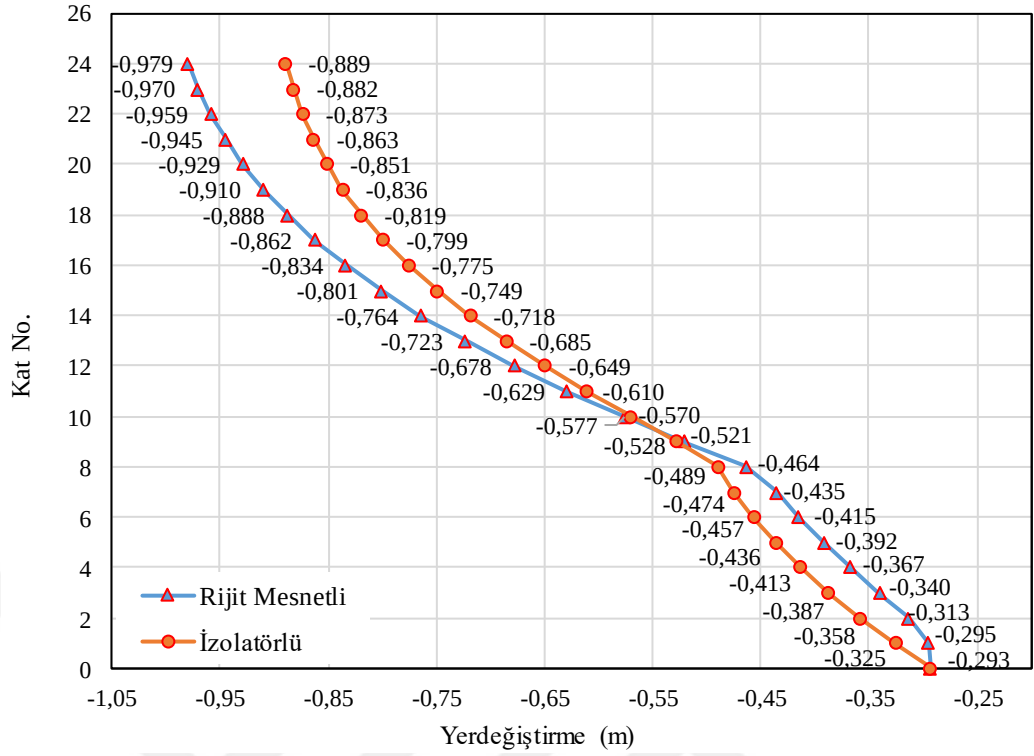
5.3.1.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Rijit mesnetli ve izolatörlü yapı için dikkate alınan 1999 Kocaeli-Gölcük depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.

Şekil 5.76’da verilen grafik incelendiğinde, izolatörlü yapıdaki rölatif yerdeğiştirme değerlerinin rijit mesnetli yapıya göre özellikle 9. kattan sonra daha düşük olduğu görülmektedir. 24. katta rijit mesnetli yapıda rölatif yerdeğiştirme -0,944 m iken, izolatörlü yapıdaki değer -0,850 m olup yaklaşık %10 oranında daha azdır. 9. katta rijit mesnetli ve izolatörlü yapı rölatif yerdeğiştirmeleri -0,486 m değerinde eşitlenmektedir. Alt katlarda rijit mesnetli yapıda rölatif yerdeğiştirme, izolatörlü yapıdan daha küçük elde edilmiştir. Bu durum, izolatörlü yapının deprem enerjisini tabanda sünek davranış göstererek sönmülemiş ve alt katlarda daha fazla salınım yapmıştır. Ancak üst katlarda rijit mesnete göre daha iyi performans sergilediğini göstermektedir.

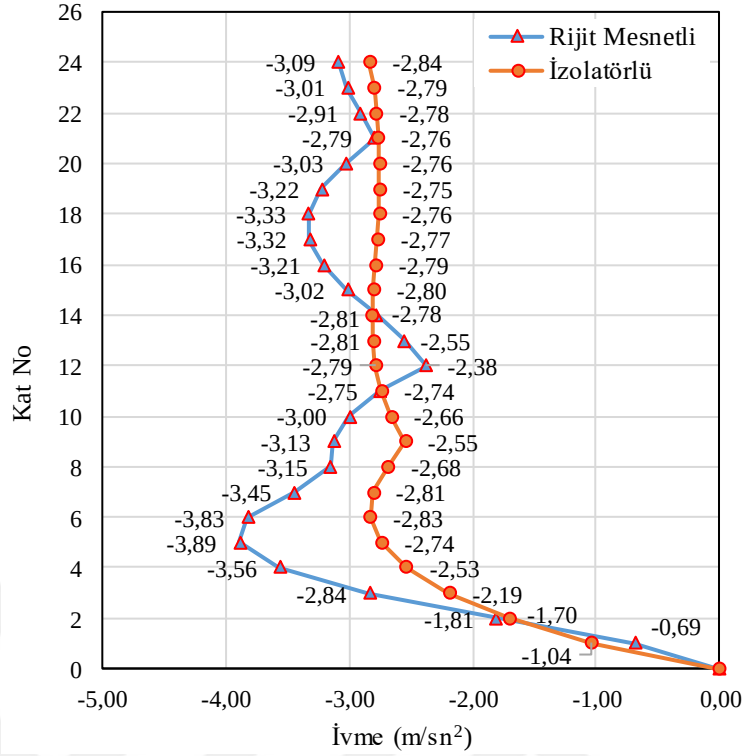


Şekil 5.76 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri



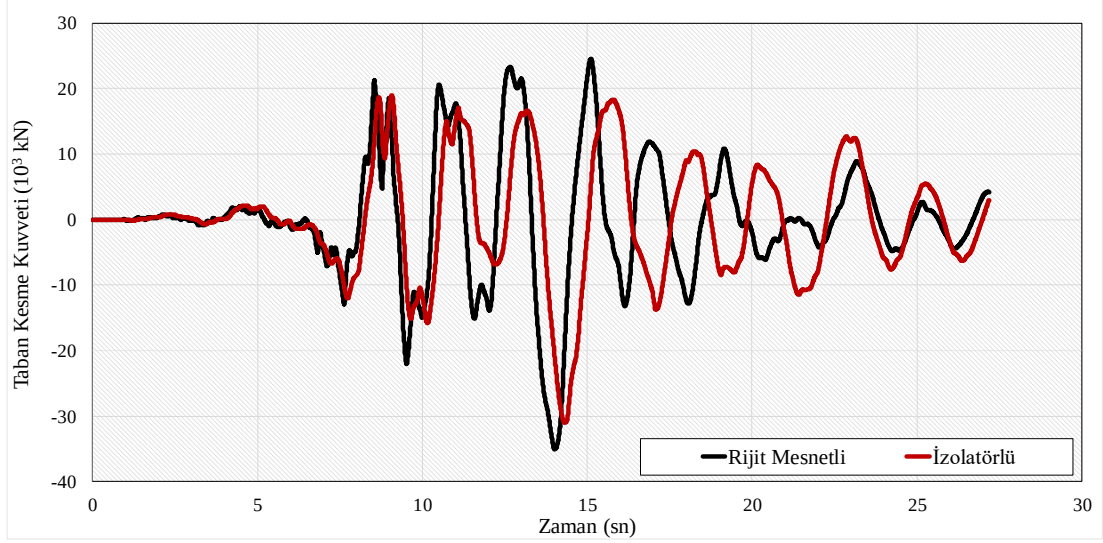
Şekil 5.77 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri

Şekil 5.77’de verilen grafikte, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik yükler altındaki performansını açıkça göstermektedir. Genel olarak rijit mesnetli yapı ile izolatörlü yapı arasındaki mutlak yerdeğiştirme davranışı karşılaştırılmaktadır. Rijit mesnetli yapı için yerdeğiştirmeler -0,979 m seviyesinden başlayarak alt katlarda -0,293 m seviyelerine düşmektedir. İzolatörlü yapıda yerdeğiştirmeler kat yüksekliğine bağı olarak değışim göstermekte ve -0,889 m seviyesinden başlayarak alt katlarda -0,293 m seviyelerine düşmektedir. Üst katlarda izolatörlü yapıdaki yerdeğiştirme değeri rijit mesnetli yapıya göre yaklaşık %9 oranında daha küçüktür. Bu, izolatörün yükü üst katlara daha az aktardığını göstermektedir. Orta katlarda izolatörlü yapının yerdeğiştirmesi rijit yapı ile genel olarak birbirine yaklaşmakla birlikte %7 daha düşük elde edilmiştir. Alt katlarda rijit mesnetli yapı izolatörlü yapıya göre genel olarak daha düşük yerdeğiştirme göstermektedir. İzolatörlü yapı, kat yüksekliği boyunca sismik enerjiyi daha etkin şekilde sönümleyerek yerdeğiştirme değeriğini yaklaşık %9 oranına kadar azalttığını göstermektedir.



Şekil 5.78 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri

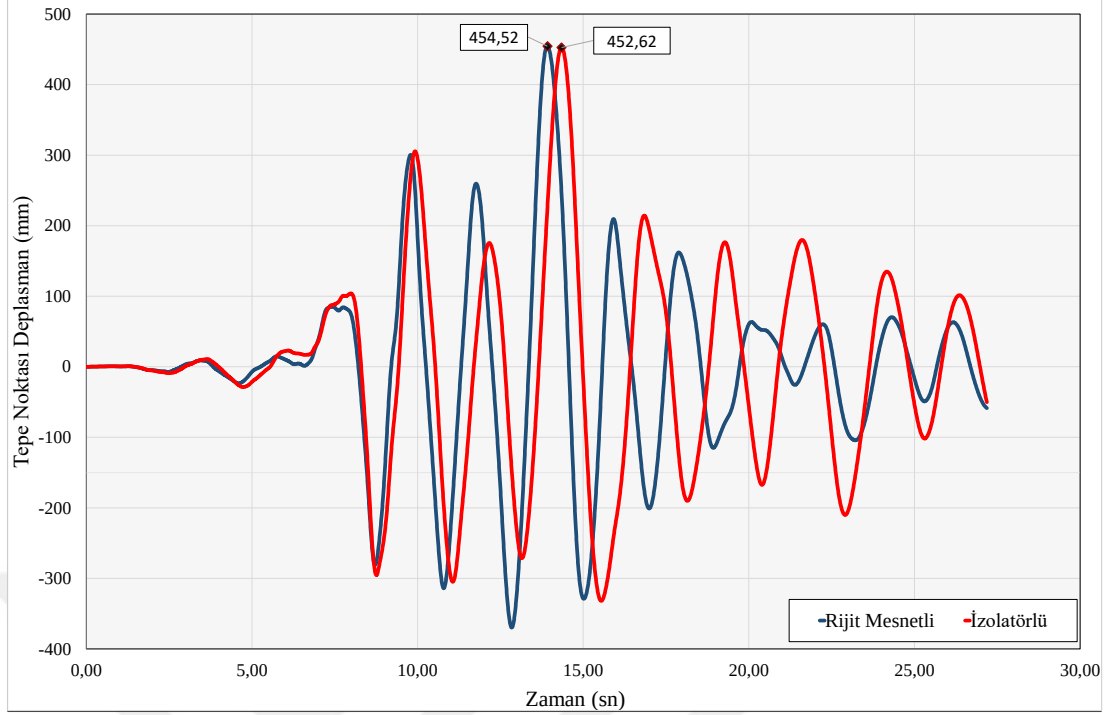
Şekil 5.78 incelendiğinde, rijit mesnet ve izolatörlü yapıların kat ivmeleri açısından ciddi bir farklılık gösterdiği gözlemlenmektedir. Rijit mesnetli yapıda ivmeler izolatörlü yapıya göre alt katlarda belirgin şekilde arttığı, orta katlarda azalma eğilimine girdiği ve üst katlarda tekrar artmaya başladığı gözlemlenmektedir. İzolatörün ivme değerlerini büyük ölçüde sınırladığı ve kat yüksekliği boyunca genel olarak azalttığı görülmektedir. Özellikle alt katlarda kat ivmeleri arasındaki fark daha belirgin hale gelmektedir. Bu durum, izolatörün deprem yüklerini sönümleyerek kat ivmelerini azaltmada etkili olduğunu göstermektedir. Rijit mesnetli yapıda, kat yüksekliği arttıkça ivme değerlerinde düzensizlik gözlemlenirken, izolatörlü yapı ivmelerinde daha kontrollü ve homojen bir dağılım göstermektedir. Sonuç olarak, izolatör kullanımı ivme büyüklüğünü düşürerek yapıya gelen deprem etkilerini önemli ölçüde hafifletmiştir.



Şekil 5.79 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

Şekil 5.84, rijit mesnetli yapıda maksimum taban kesme kuvvetinin 35000 kN, izolatörlü yapıda ise 31000 kN olduğunu ve izolatörün kesme kuvvetlerini yaklaşık %10 oranında azalttığını göstermektedir. Zamana bağlı olarak rijit mesnetli yapı daha yüksek genlikli ve düzensiz salınımlar sergilerken, izolatörlü yapı daha düşük genlikli ve düzenli bir kuvvet dağılımı ile daha kontrol edilebilir bir davranış göstermiştir. Bu durum, izolatörün deprem yüklerini sönmüleyerek yapı üzerindeki etkileri azaltmak suretiyle yapı güvenliğini artırmada etkili olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 5.85’de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda tepe noktası yerdeğiştirmesinin maksimum 454,52 mm, izolatörlü yapıda ise 452,62 mm olduğunu ve izolatörün tepe noktası yerdeğiştirmeyi genel olarak azalttığını göstermektedir. İzolatörlü yapı, tepe noktası deplasmanlarında daha düşük değerler göstermektedir. Bu durum, izolatörlerin yapıya etki eden yerdeğiştirme taleplerini azaltarak, yapı üzerindeki deprem yükü ve deformasyonları büyük ölçüde kontrol ettiğini göstermektedir. Zamanla dalgalanmaların büyüklüğü incelendiğinde, izolatörlü yapıda daha yumuşak ve sönmümlü bir deplasman davranışı olduğu, rijit mesnetli yapıda ise daha ani ve geniş genlikli salınımlar olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum yapının performansını iyileştirerek hasar riskini minimize etmektedir. İzolatör, deprem enerjisini sönmülemiş ve yerdeğiştirme genliklerini kontrol altına alarak yapı performansını artırmıştır. Bu sonuç, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik performansı iyileştirmedeki etkinliğini doğrulamaktadır.



Şekil 5.80 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

5.3.2 Kahramanmaraş-Pazarcık Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Bu kısımda, 24 katlı 84 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçeveli yapıya 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapıda izolatör kullanılmamış rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Daha sonra yapı izolatörlü olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

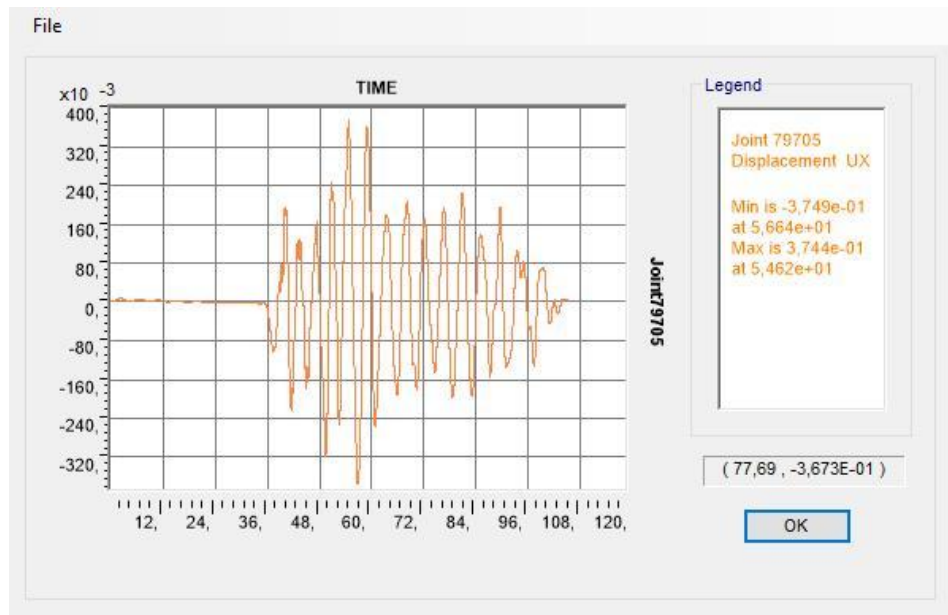
5.3.2.1 Rijit mesnetli yapı analizi

Bu bölümde betonarme çerçeveli 24 katlı yapı sismik taban yalıtım kullanılmadan sadece rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Öncelikle yapı yalnızca rijit mesnetli olarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz edilmiştir. Bu yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları seçilmiştir.

Bu rijit mesnetli yapıya ait deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.21'de verilmiştir.

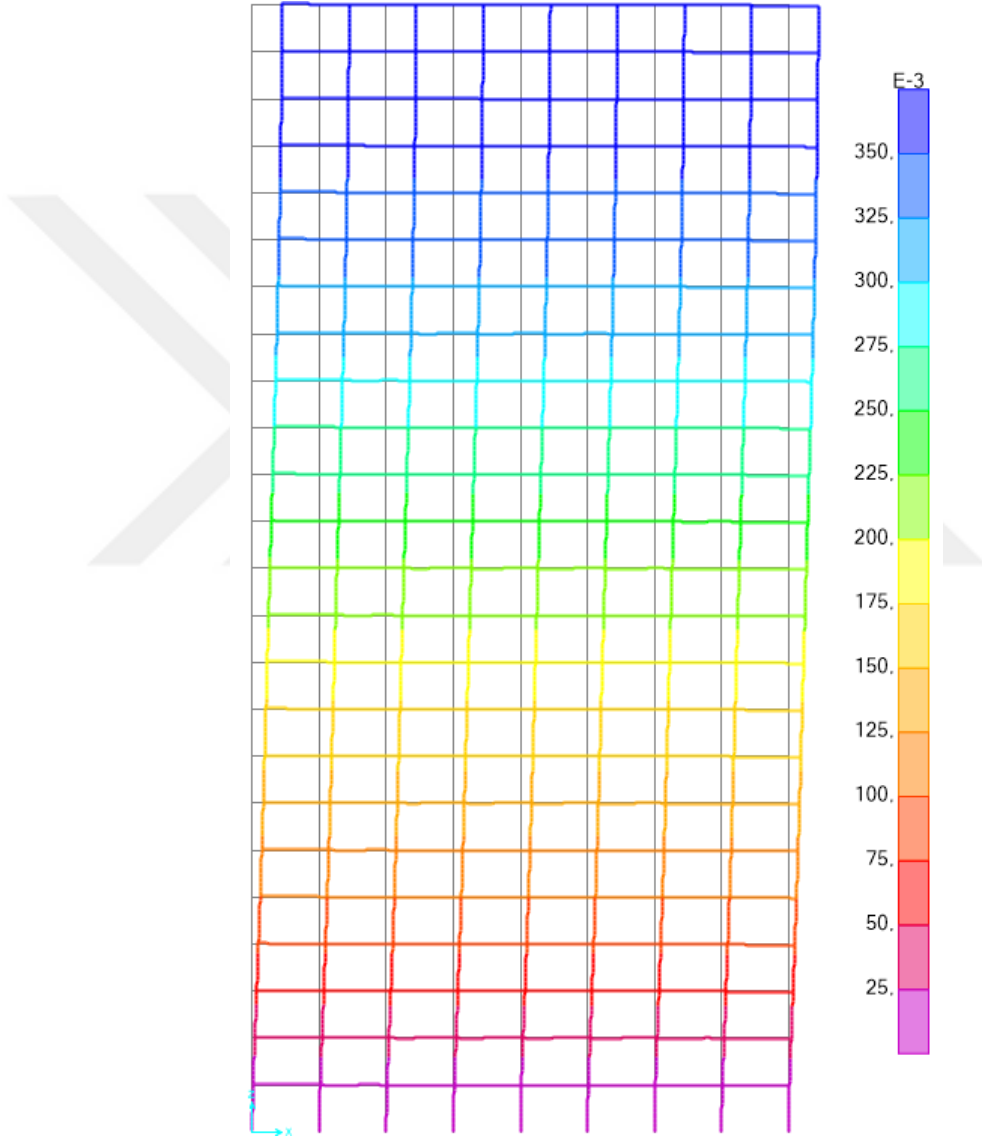
Tablo 5.21 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri

Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
24	84	2,686286	0,374439	20,88929
23	80,5	2,68411	0,369884	21,34041
22	77	2,681854	0,363976	22,0564
21	73,5	2,680864	0,356438	22,87712
20	70	2,680333	0,34719	23,56999
19	66,5	2,679313	0,336014	23,92032
18	63	2,677479	0,322934	23,79477
17	59,5	2,674614	0,308118	23,18142
16	56	2,670606	0,291882	22,20032
15	52,5	2,66542	0,275131	21,08214
14	49	2,659112	0,260373	20,11824
13	45,5	2,651793	0,244457	19,59229
12	42	2,64361	0,227355	19,70754
11	38,5	2,634723	0,209162	20,52588
10	35	2,625291	0,19437	21,93262
9	31,5	2,615563	0,181322	23,63625
8	28	2,605583	0,167328	25,20567
7	24,5	2,595083	0,151861	26,13926
6	21	2,583949	0,134337	25,95411
5	17,5	2,572096	0,114252	24,27936
4	14	2,55964	0,09149	20,93863
3	10,5	2,546956	0,066372	16,01696
2	7	2,535471	0,039949	9,94184
1	3,5	2,52601	0,015032	3,73291
0	0	2,525006	0	0



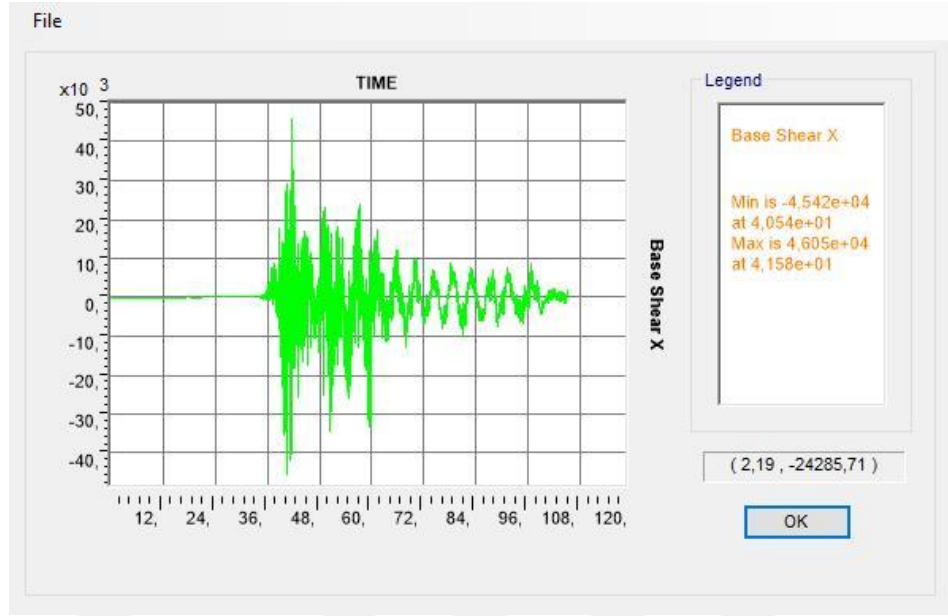
Şekil 5.81 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Tepe noktası için yine A-1 aksının 24. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.81’de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 54,62 sn anında 0,374 m, ters yönde en büyük yerdeğiştirme ise 56,64 sn anında -0,374 m olarak verilmiştir. Şekil 5.82’de ki gibi yapı deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme 54,62 sn anındaki gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme dikkate alınmıştır.



Şekil 5.82 Rijit mesnetli yapının 54,62 sn anındaki yerdeğiştirmesi

Analiz sonucunda oluşan taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.83’de verilmiştir. Buna göre en büyük taban kesme kuvveti 41,58 sn anında 46050 kN, zıt doğrultudaki en büyük taban kesme kuvveti ise 40,54 sn anında -45420 kN olarak verilmiştir.



Şekil 5.83 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

5.3.2.2 İzolatörlü yapı analizi

Yapıda izolatör kullanılarak analiz tekrar edilmiştir. Yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları karşılaştırılmak üzere seçilmiştir. Deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.22’de verilmiştir.

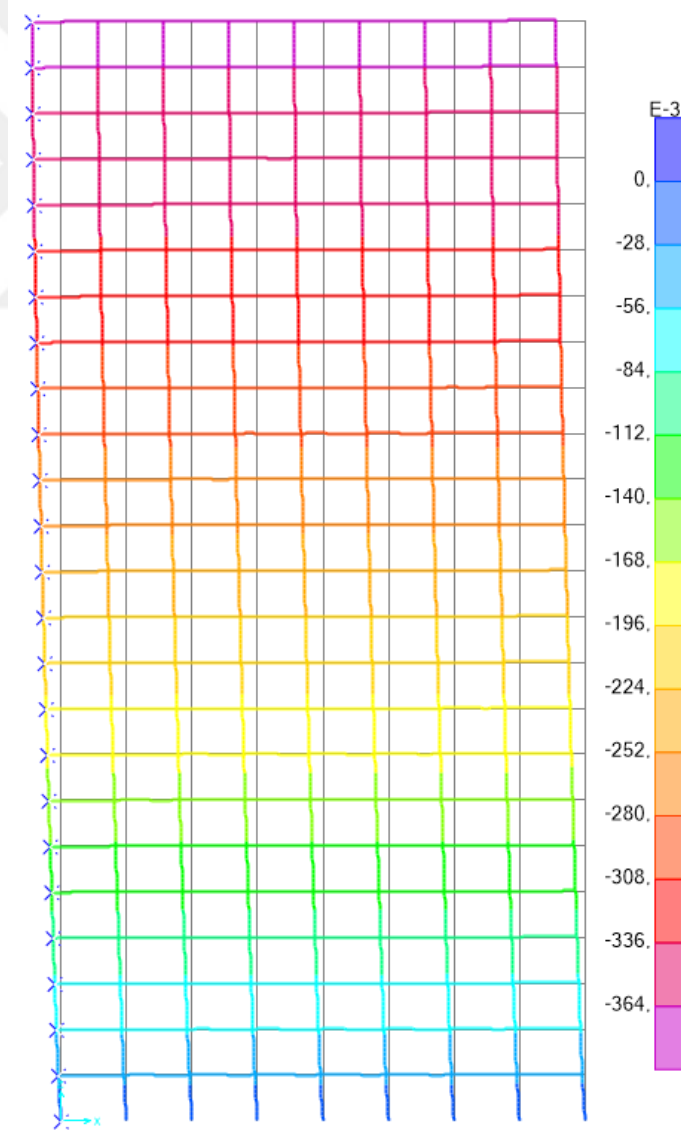
Tablo 5.22 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri

Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
24	84	-1,768243	-0,368743	-20,52001
23	80,5	-1,767795	-0,364177	-20,22975
22	77	-1,767328	-0,358376	-19,82578
21	73,5	-1,766894	-0,351117	-19,33174
20	70	-1,766439	-0,342486	-18,80809
19	66,5	-1,765861	-0,332606	-18,32696
18	63	-1,765097	-0,321621	-17,96184
17	59,5	-1,764114	-0,309677	-17,77745
16	56	-1,762915	-0,296911	-17,82078
15	52,5	-1,761532	-0,283441	-18,11368
14	49	-1,760163	-0,270535	-18,64766
13	45,5	-1,758999	-0,257437	-19,38157
12	42	-1,75797	-0,243667	-20,24244
11	38,5	-1,757026	-0,229209	-21,12958
10	35	-1,75605	-0,214043	-21,92171
9	31,5	-1,754986	-0,198099	-22,48657
8	28	-1,753751	-0,181692	-22,69206

Tablo 5.22'nin devamı

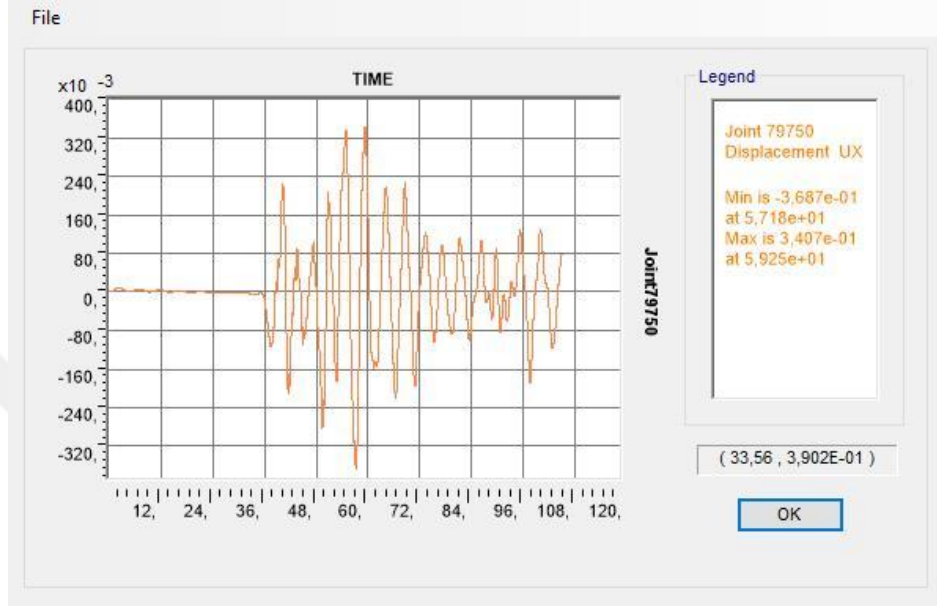
7	24,5	-1,752351	-0,164781	-22,41845
6	21	-1,750888	-0,146725	-21,56996
5	17,5	-1,74943	-0,12759	-20,07916
4	14	-1,75E+00	-1,07E-01	-17,91765
3	10,5	-1,75E+00	-8,63E-02	-15,07919
2	7	-1,745537	-0,064156	-11,52375
1	3,5	-1,744301	-0,038068	-6,95166
0	0	-1,74278	0	0

Yapı izolatör kullanıldığı durumda Şekil 5.84'deki gibi deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme 0,369 m değerinde 57,18 sn anında gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme dikkate alınmıştır.

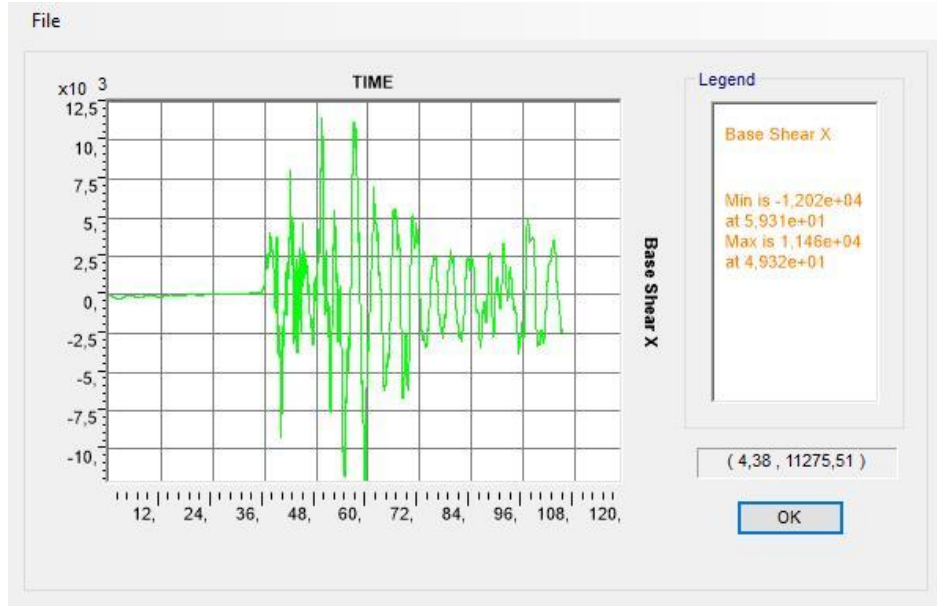


Şekil 5.84 İzolatörlü yapının 57,18 sn anında yerdeğiştirmesi

Tepe noktası için A-1 aksının 24. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.85’de verilmiştir. Buna göre en büyük tepe noktası yerdeğiştirme 59,25 sn anında 0,341 m, zıt doğrultuda en büyük yerdeğiştirme ise 57,18 sn anında -0,369m olarak verilmiştir.



Şekil 5.85 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları

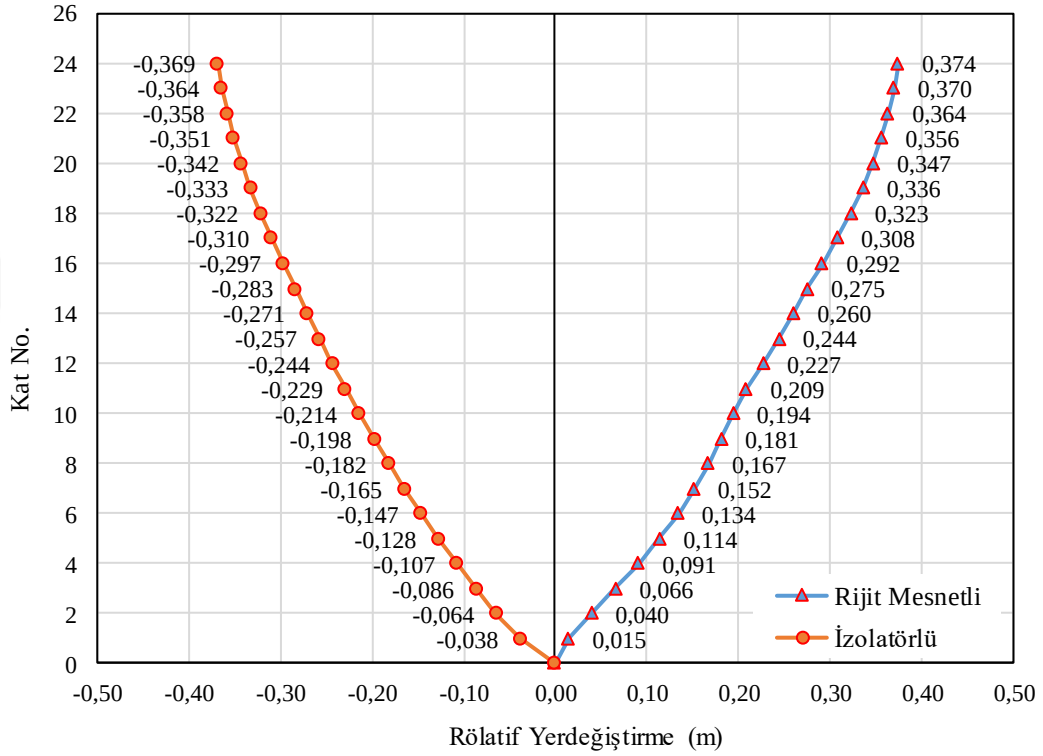


Şekil 5.86 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri

Taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.86’da verilmiştir. Buna göre en büyük taban kesme kuvveti 49,32 sn anında 11460 kN, zıt doğrultudaki en büyük taban kesme kuvveti ise 59,31 sn anında -12020 kN olarak elde edilmiştir.

5.3.2.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

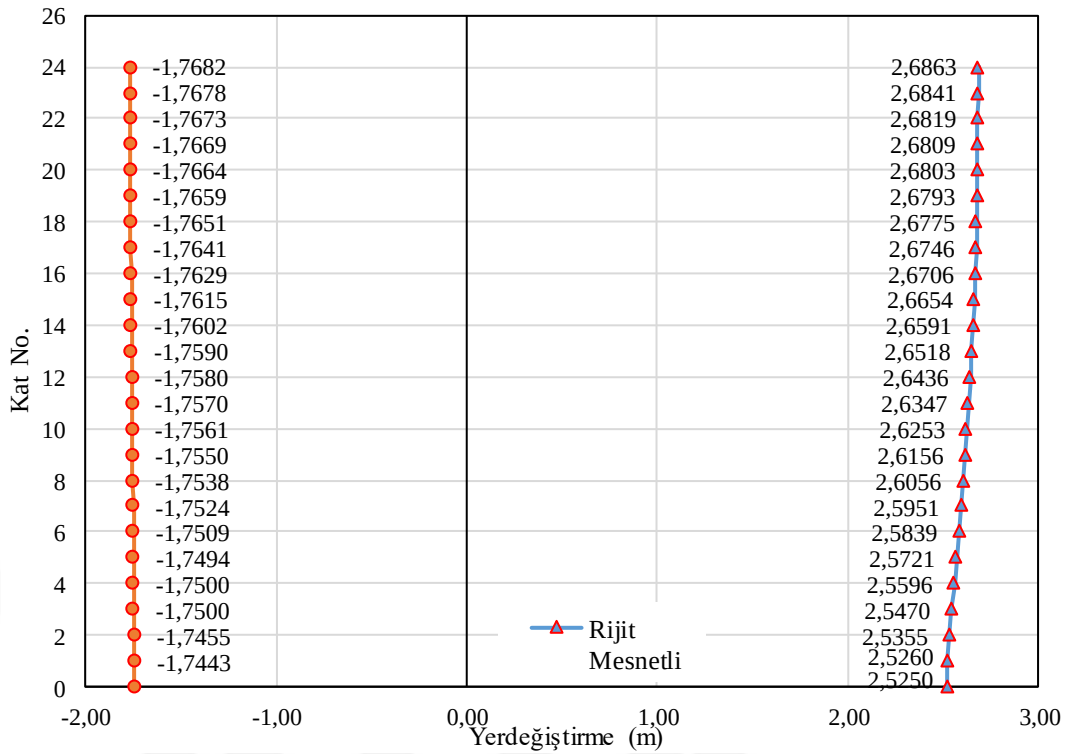
Rijit mesnetli ve izolatörlü yapı için dikkate alınan 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.



Şekil 5.87 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri

Şekil 5.87’de verilen grafiğe göre üst katlarda her iki yapıda rölatif yerdeğiştirme değerleri neredeyse eşit olup 0,30 – 0,37 m seviyesindedir. Orta ve alt katlarda izolatörlü yapıda yerdeğiştirme değerleri rijit mesnetli yapıya göre az da olsa artış göstermiştir. Bununla birlikte rijit mesnetli ve izolatörlü yapı rölatif yerdeğiştirme değerleri çok benzer bir davranış sergilemektedir.

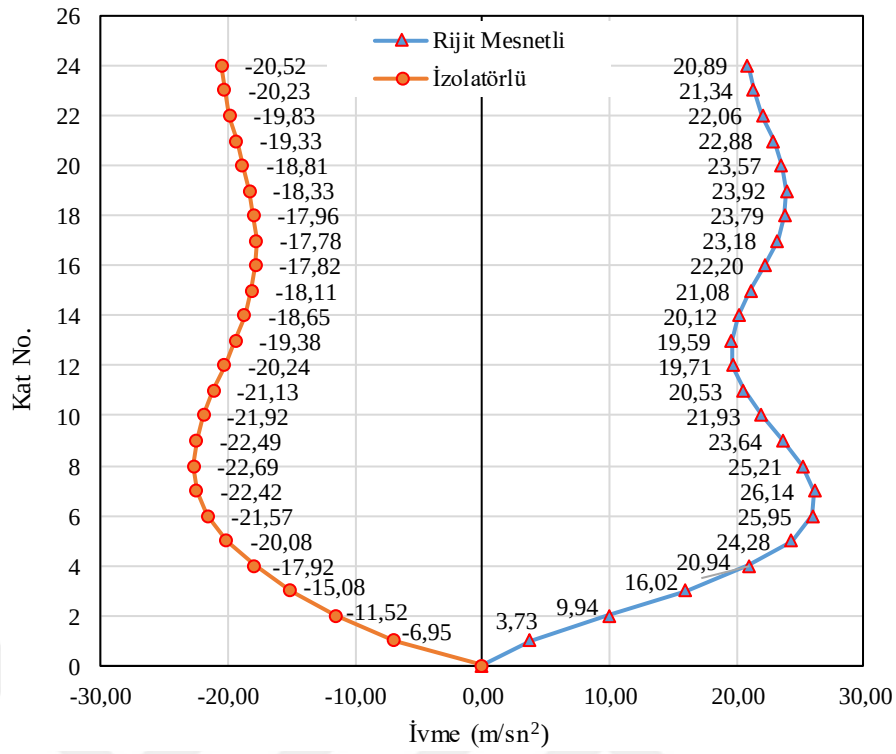
Şekil 5.88’de verilen grafikte rijit mesnetli yapı ile izolatörlü yapı arasındaki yerdeğiştirme davranışı karşılaştırılmaktadır. Rijit mesnetli yapı için tüm katlarda yerdeğiştirme değerleri yaklaşık 2,52 m ile 2,69 m arasında kalırken, izolatörlü yapıda yerdeğiştirme değerleri yaklaşık 1,74 m ile 1,77 m arasında kalmıştır. İzolatörlü yapıdaki yerdeğiştirme değerleri rijit mesnetli yapıya göre yaklaşık %35 oranında daha küçük elde edilmiştir.



Şekil 5.88 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri

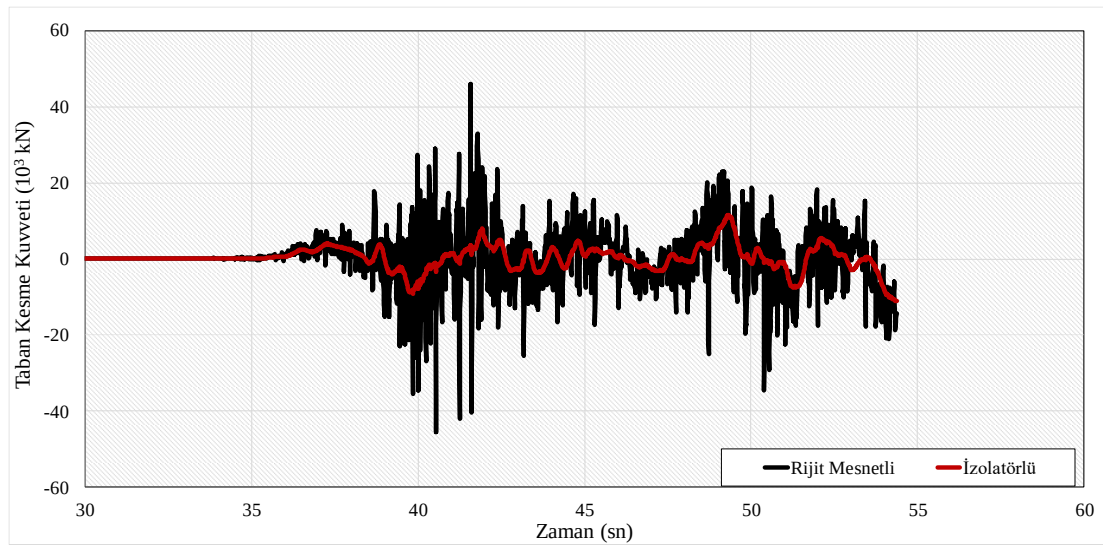
Bu, izolatörün deprem yükünü bütün katlara daha az aktardığını göstermektedir. Tabanda ise rijit mesnetli yapı 2,52 m değerinde sabit kalırken, izolatörlü yapı alt katlarda -1,74 m'ye kadar düşmektedir. Bu fark, izolatörlü yapının taban seviyesindeki sismik enerjiyi sönümleyerek yapı üzerindeki yük aktarımını azalttığını göstermektedir. İzolatörlü yapı, kat yüksekliği boyunca sismik enerjiyi daha etkin şekilde sönümleyerek yerdeğiştirme değerlerini %30-35 oranında azaltmıştır. Rijit mesnetli yapı ise tüm katlarda benzer seviyede yüksek yerdeğiştirme göstermektedir. Bu sonuç, izolatörlerin yapı performansını iyileştirerek deformasyonları sınırladığını kanıtlamaktadır.

Şekil 5.89 incelendiğinde, rijit mesnet ve izolatörlü yapıların kat ivmeleri açısından ciddi bir farklılık gösterdiği gözlemlenmektedir. Rijit mesnetli yapıda üst katlarda ivmeler $20,89 \text{ m/s}^2$ ile $23,95 \text{ m/s}^2$ arasında değişirken, ivme en büyük değerini $26,14 \text{ m/s}^2$ ile 7. katta almaktadır. İzolatörlü yapıda ivme değerleri $-20,52 \text{ m/s}^2$ ile $-22,69 \text{ m/s}^2$ arasında değişmektedir. Maksimum ivme, 8. Katta $-22,69 \text{ m/s}^2$ olarak gözlemlenmiştir. Her iki yapı için de kat ivmeleri maksimum değerini orta katlarda almıştır. İzolatörlü yapının ivme değerleri rijit mesnetli yapıya oranla yaklaşık %18 - %25 daha düşük elde edilmektedir.



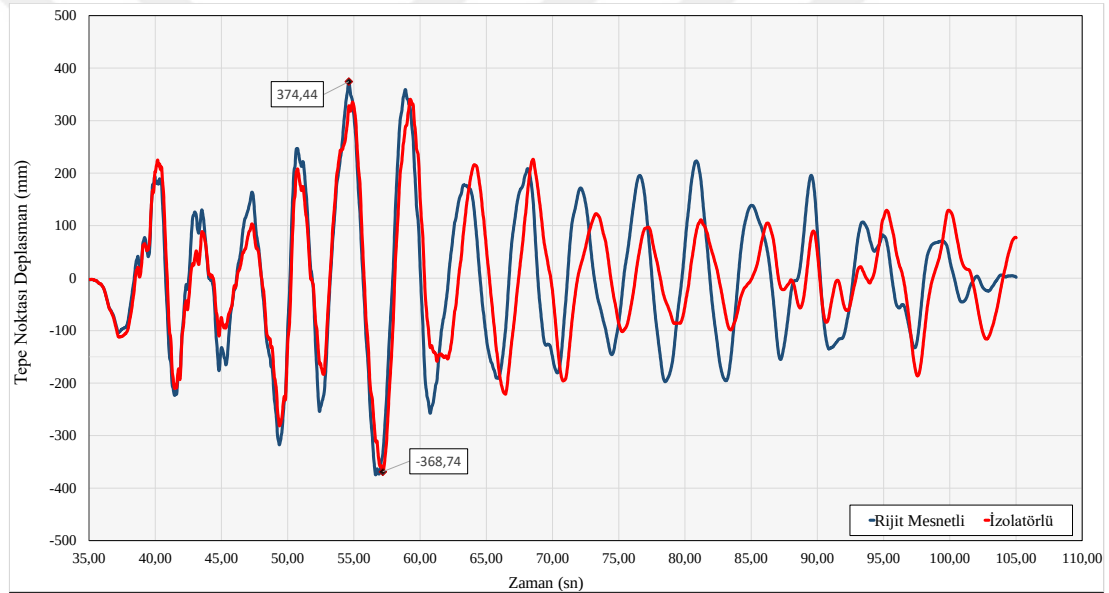
Şekil 5.89 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri

Bu durum, izolatörün deprem yüklerini sönmüleyerek kat ivmelerini azaltmada etkili olduğunu göstermektedir. Rijit mesnetli yapıda, kat yüksekliği arttıkça ivme değerlerinde düzensizlik gözlemlenirken, izolatörlü yapı ivmelerinde daha kontrollü ve homojen bir dağılım göstererek yapıya gelen deprem etkilerini önemli ölçüde hafiflettiği söylenebilir.



Şekil 5.90 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

Analizler sonucunda rijit mesnetli yapıda maksimum taban kesme kuvvetinin 46000 kN, izolatörlü yapıda ise 11500 kN olduğu ve izolatörün kesme kuvvetlerini yaklaşık %75 oranında azalttığı Şekil 5.90’da gösterilmektedir. Rijit mesnetli yapı için taban kesme kuvveti -46000 kN ile 45000 kN arasında değişmekteyken; izolatörlü yapı için 11500 kN ile -11000 kN arasında değişmektedir. Bu durum bize deprem yükünün %75 civarında sönümlendiğini göstermektedir. Zamana bağlı olarak rijit mesnetli yapı daha yüksek genlikli ve düzensiz salınımlar sergilerken, izolatörlü yapı daha düşük genlikli ve düzenli bir kuvvet dağılımı ile daha kontrol edilebilir bir davranış göstermiştir. Bu durum, izolatörün deprem yüklerini sönümleyerek yapı üzerindeki etkileri azaltarak yapı güvenliğini artırmada etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.91 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Şekil 5.91’de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda tepe noktası yerdeğiştirmesinin maksimum 374,44 mm, izolatörlü yapıda ise 368,74 mm olduğunu ve izolatörün yerdeğiştirmeyi yaklaşık %1 oranında azalttığını göstermektedir. İzolatörlü yapıda genel olarak tepe noktası deplasmanları daha düşük değerler olarak elde edilmiştir. Bu durum, izolatörlerin yapıya etki eden deplasman taleplerini azaltarak, yapı üzerindeki deprem yükü ve deformasyonları büyük ölçüde kontrol ettiğini göstermektedir. Zamanla dalgalanmaların büyüklüğü incelendiğinde, izolatörlü yapıda daha yumuşak ve sönümlü bir deplasman davranışı olduğu, rijit mesnetli yapıda ise daha ani ve büyük genlikli salınımlar olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum yapının performansını iyileştirerek hasar riskini minimize etmektedir.

İzolatör, deprem enerjisini sönümlemiş ve yerdeğiştirmeleri kontrol altına alarak yapı performansını artırmıştır. Bu sonuç, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik performansı iyileştirmedeki rolünü ifade etmektedir.

5.3.3 Kastamonu Depremi için Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Bu kısımda, 24 katlı 84 m yüksekliğinde tasarlanan betonarme çerçevesel yapıya 1977 Kastamonu depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yapıda izolatör kullanılmamış rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Daha sonra yapı izolatörlü olarak tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Son kısımda ise elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.3.3.1 Rijit mesnetli yapı analizi

Bu bölümde yapı sadece rijit mesnetli olarak analiz edilmiştir. Bu yapıda A-1 aksındaki düğüm noktaları seçilerek elde edilen deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.23’de verilmiştir.

Tablo 5.23 Rijit mesnetli yapı deplasman ve ivme değerleri

Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
24	84	0,020221	0,022809	0,424
23	80,5	0,019776	0,022359	0,3995
22	77	0,019165	0,021741	0,36264
21	73,5	0,018431	0,021042	0,31568
20	70	0,017826	0,020531	0,29321
19	66,5	0,017786	0,020278	0,27463
18	63	0,017873	0,020152	0,27376
17	59,5	0,017887	0,019998	0,27055
16	56	0,01777	0,01974	0,26567
15	52,5	0,017507	0,019344	0,26159
14	49	0,017102	0,018799	0,25877
13	45,5	0,016561	0,018126	0,25815

Tablo 5.23'ün devamı

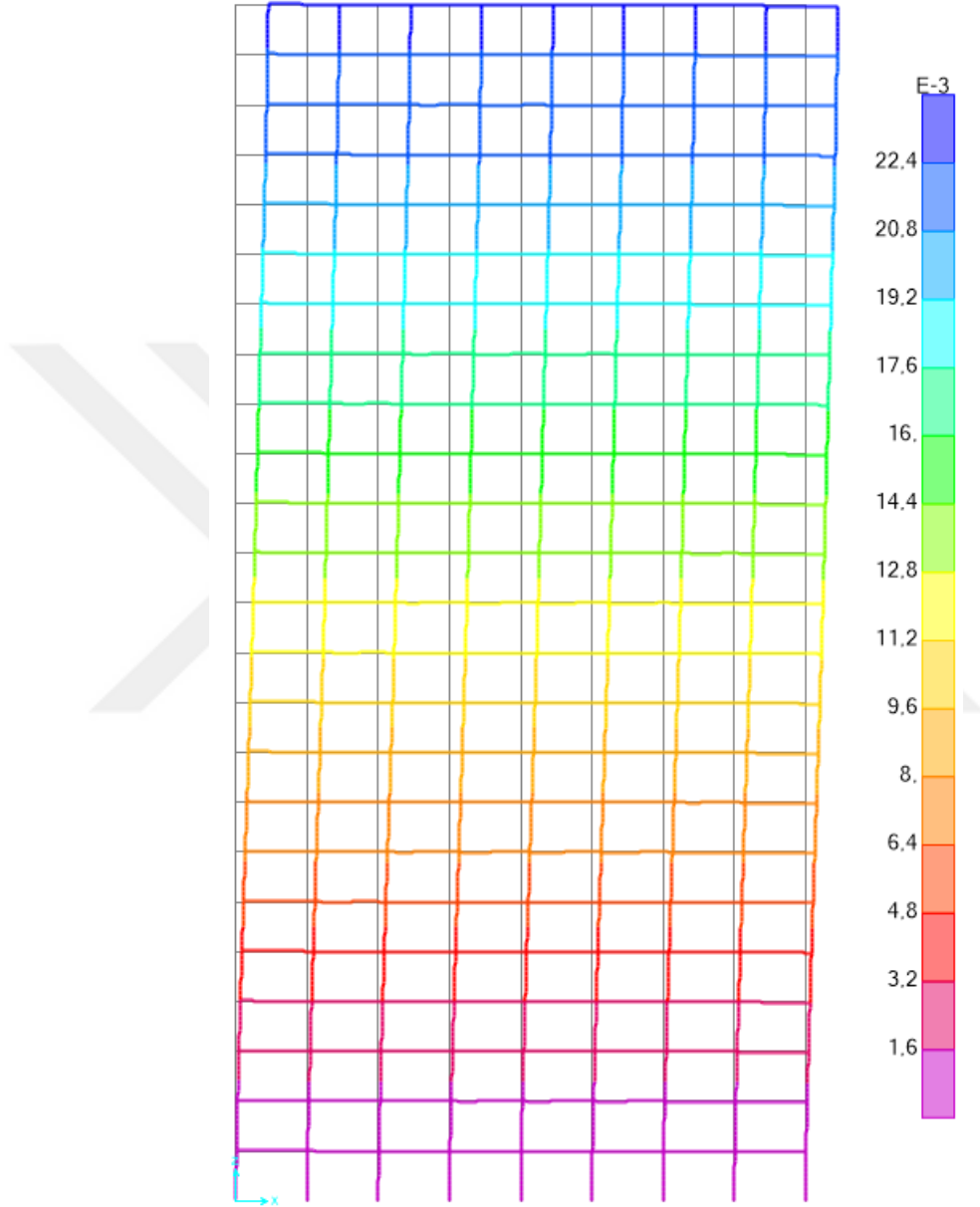
12	42	0,015883	0,017344	0,26026
11	38,5	0,015056	0,016485	0,26481
10	35	0,014066	0,015551	0,27057
9	31,5	0,012903	0,014467	0,2997
8	28	0,011571	0,013216	0,32866
7	24,5	0,011091	0,011796	0,37042
6	21	0,010608	0,010215	0,42281
5	17,5	0,009776	0,008952	0,4361
4	14	8,59E-03	0,007411	0,40246
3	10,5	7,40E-03	0,005507	0,32218
2	7	0,007339	0,003356	0,20562
1	3,5	0,007395	1,24E-03	0,07803
0	0	0,007533	0	0

Tepe noktası deplasmanı için A-1 aksının 24. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.93'de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 7,78 sn anında 22,81 mm, ters yöndeki en büyük yerdeğiştirme ise 5,89 sn anında -25,98 mm olarak verilmiştir.



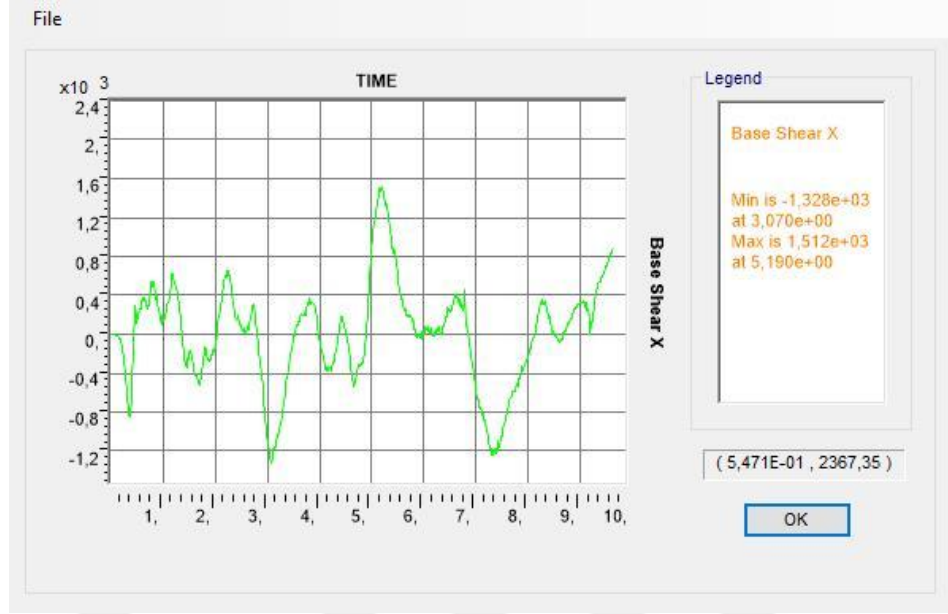
Şekil 5.92 Rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Analiz sonucunda yapı Şekil 5.92'deki gibi deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme 7,78 sn anında 22,81 mm değerinde gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme dikkate alınmıştır.



Şekil 5.93 Rijit mesnetli yapının 7,78 sn anındaki yerdeğiştirmesi

Elde edilen taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.101'de verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 5,19 sn anında 1512 kN, ters yöndeki en yüksek taban kesme kuvveti ise 3,07 sn anında -1328 kN olarak verilmiştir.



Şekil 5.94 Rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri

5.3.3.2 İzolatörlü yapı analizi

Yapıda izolatör kullanılarak analiz tekrar edilmiştir. Yapının A-1 aksındaki düğüm noktaları karşılaştırılmak üzere seçilerek deplasman, rölatif deplasman ve kat ivme değerleri Tablo 5.24’de verilmiştir.

Tablo 5.24 İzolatörlü yapı deplasman ve ivme değerleri

Kat	Yükseklik (m)	Deplasman (m)	Rölatif Deplasman (m)	Kat İvmeleri (m/sn ²)
24	84	-0,021108	-0,024653	-0,5166
23	80,5	-0,020599	-0,024196	-0,5071
22	77	-0,01993	-0,023607	-0,4934
21	73,5	-0,019158	-0,022914	-0,47627
20	70	-0,018469	-0,022203	-0,4577
19	66,5	-0,018162	-0,021584	-0,44012
18	63	-0,018174	-0,021142	-0,42604
17	59,5	-0,018234	-0,020994	-0,41771
16	56	-0,018225	-0,020887	-0,41685
15	52,5	-0,018106	-0,020673	-0,42438
14	49	-0,01787	-0,020322	-0,44029
13	45,5	-0,017539	-0,019834	-0,46352
12	42	-0,017153	-0,019222	-0,49198

Tablo 5.24'ün devamı

11	38,5	-0,016749	-0,018516	-0,52266
10	35	-0,016337	-0,017724	-0,5519
9	31,5	-0,015882	-0,016852	-0,5756
8	28	-0,015317	-0,015893	-0,58966
7	24,5	-0,014584	-0,014825	-0,59027
6	21	-0,013642	-0,013609	-0,57435
5	17,5	-0,012472	-0,0122	-0,53968
4	14	-1,11E-02	-0,010566	-0,48524
3	10,5	-9,49E-03	-0,008691	-0,41077
2	7	-0,007787	-0,006533	-0,31524
1	3,5	-0,006366	-3,90E-03	-0,19068
0	0	-0,006599	0	0

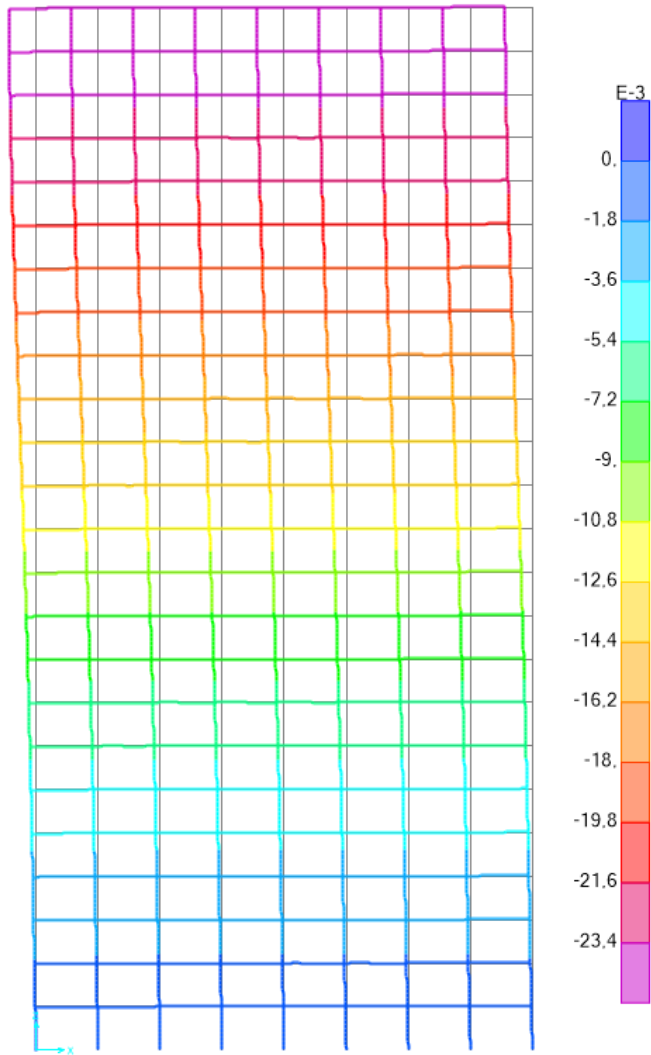
Tepe noktası için A-1 aksının 24. katındaki ilgili düğüm noktası seçilmiştir. Zamana bağlı tepe noktası deplasmanı için elde edilen grafik Şekil 5.95'de verilmiştir. Buna göre en büyük yerdeğiştirme 8,07 sn anında 19,63 mm, zıt doğrultuda en büyük yerdeğiştirme ise 5,98 sn anında -26,65 mm olarak verilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti grafiği ise Şekil 5.97'de verilmiştir. Buna göre en yüksek taban kesme kuvveti 5,44 sn anında 1249 kN, ters yöndeki en yüksek taban kesme kuvveti ise 3,25 sn anında -1100 kN olarak verilmiştir.



Şekil 5.95 İzolatörlü yapının tepe noktası deplasmanları



Şekil 5.96 İzolatörlü yapının taban kesme kuvvetleri

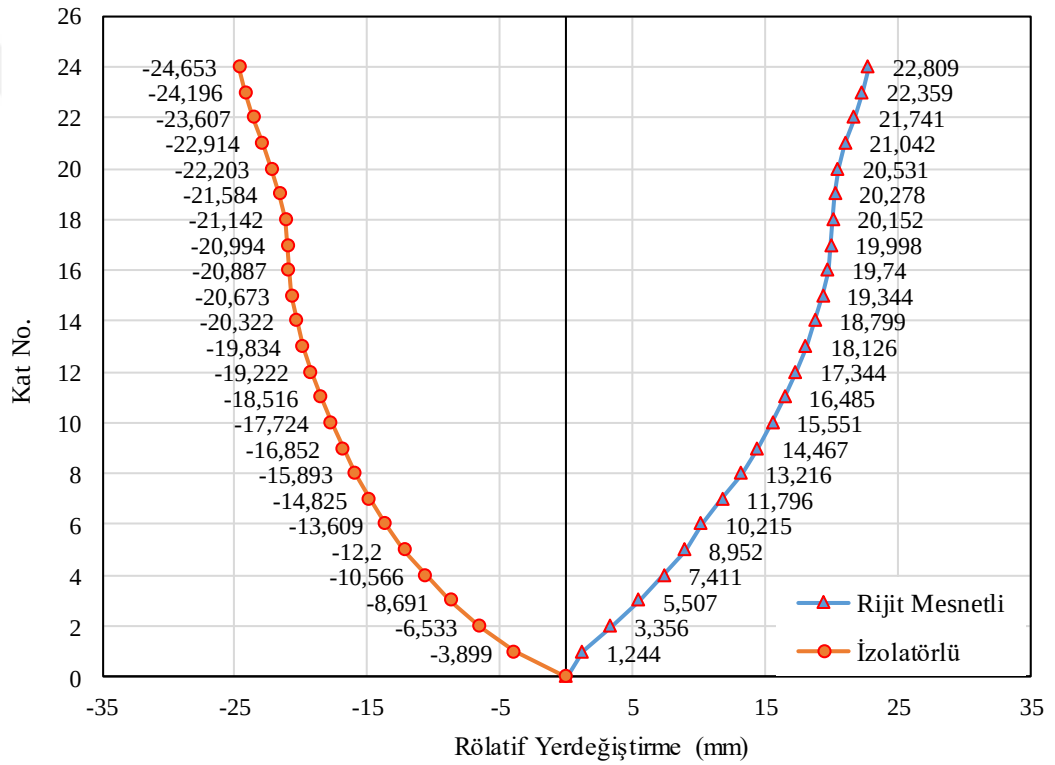


Şekil 5.97 İzolatörlü yapının 5,98 sn anında yerdeğiştirmesi

Yapı izolatör kullanıldığı durumda Şekil 5.96'daki gibi yapı deformasyona uğramıştır. En yüksek yerdeğiştirme 5,98 sn anında 26,65 mm değerinde gerçekleştiği için bu zamana ait yerdeğiştirme dikkate alınmıştır.

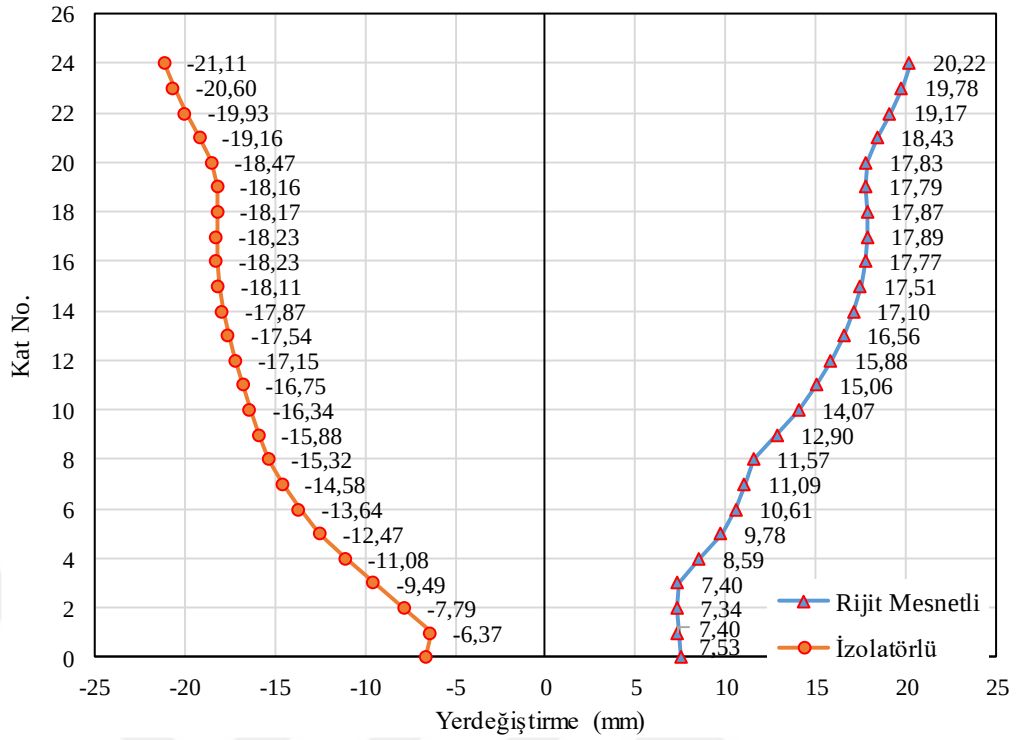
5.3.3.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Rijit mesnetli ve izolatörlü yapı için dikkate alınan 1977 Kastamonu depreminin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması bu bölümde sunulmaktadır.



Şekil 5.98 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının rölatif yerdeğiştirmeleri

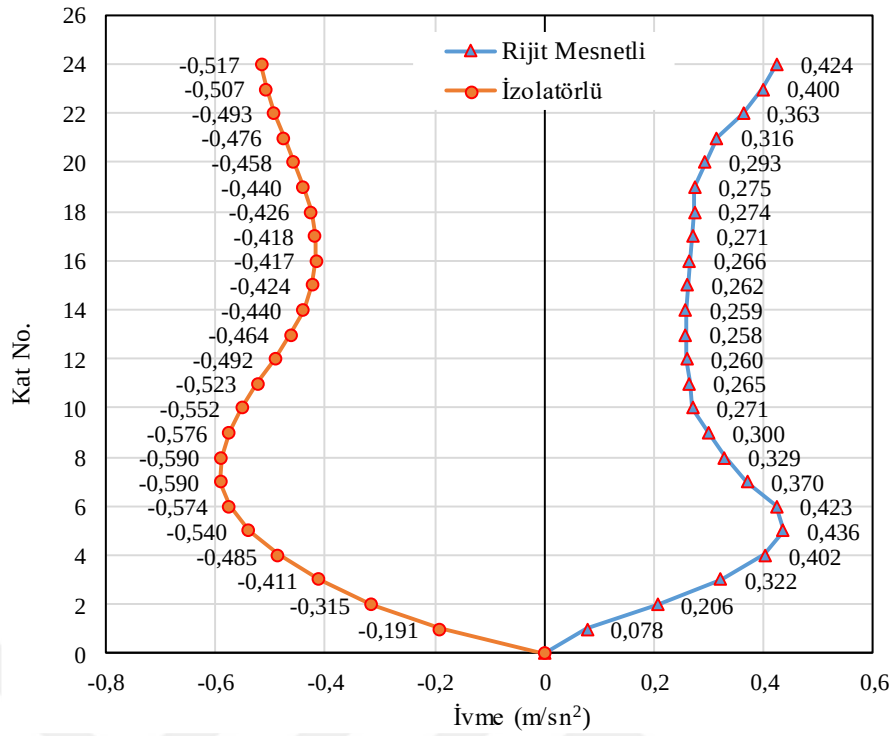
Şekil 5.98'de verilen grafik, üst katlarda her iki yapıda rölatif yerdeğiştirme değerleri neredeyse eşit olup 24,6-22,8 mm seviyesindedir. Orta ve özellikle alt katlarda izolatörlü yapıda yerdeğiştirme değerleri rijit mesnetli yapıya göre artış göstermiştir. Alt katlarda izolatörlü yapıda yerdeğiştirme değerlerinin negatif yönde artışı, izolatörlü yapının deprem enerjisini tabanda sünek davranış göstererek sönmlediğini göstermektedir. Rijit mesnetli yapı ise rijitliği nedeniyle sönmleme kapasitesi düşük bir davranış sergilemiştir.



Şekil 5.99 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının yerdeğiştirmeleri

Rijit mesnetli yapı ile izolatörlü yapı arasındaki deplasman davranışı Şekil 5.99'da karşılaştırılmaktadır. Alt katlarda izolatörlü yapıdaki yerdeğiştirme değerleri rijit mesnetli yapıya kıyasla daha yüksektir. Alt katlarda izolatörün sönümlemesi sonucu daha yüksek değerler meydana gelmiştir. Orta katlarda yerdeğiştirmeler birbirine yaklaşıırken üst katlarda neredeyse eşitlenmektedir. Bu durum, izolatörlerin enerjiyi tabanda absorbe etmesi nedeniyle alt katlarda yerdeğiştirmelerin artmasına, üst katlarda ise daha dengeli bir yapı davranışına yol açtığını göstermektedir. Yerdeğiştirme değerleri dikkate alındığında, analizi yapılan buradaki 24 katlı yapıda olduğu gibi, yapı yüksek bina sınıfına girdikçe temel seviyesine yerleştirilen izolatörün üst katlardaki sismik etkileri azaltmada yetersiz kaldığı ve istenen performansı gösteremediği söylenebilir.

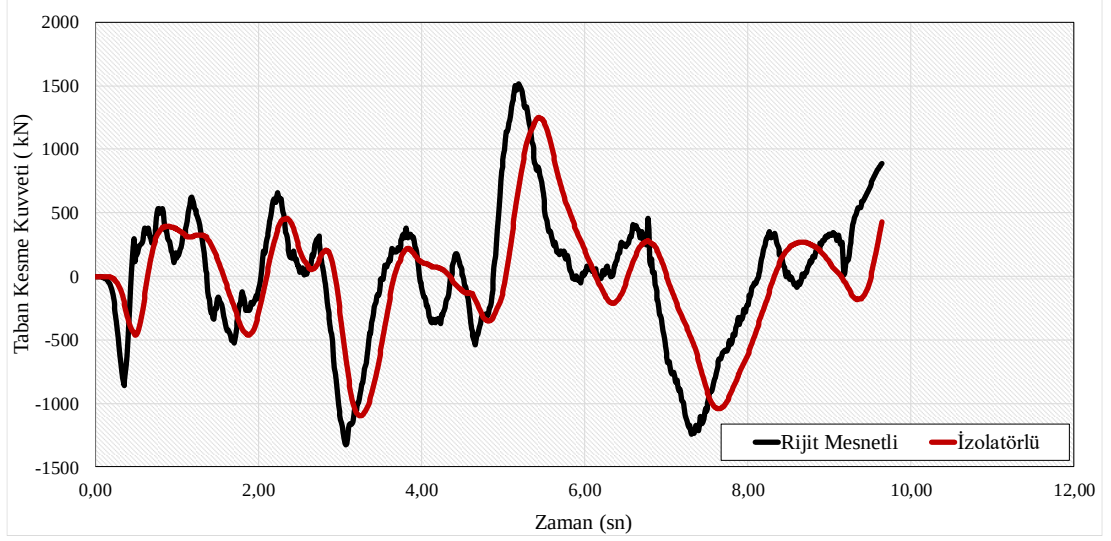
Şekil 5.100 incelendiğinde, rijit mesnet ve izolatörlü yapıların kat ivmeleri açısından ciddi bir farklılık gösterdiği gözlemlenmektedir. İzolatörlü yapıda ivme en büyük değerini 7. katta $0,590 \text{ m/s}^2$ olarak alırken; rijit mesnetli yapıda 5. katta $0,436 \text{ m/s}^2$ olarak gözlemlenmiştir. Her iki yapı için de kat ivmeleri maksimum değerini orta katlarda almıştır. İzolatörlü yapının ivme değerleri rijit mesnetli yapıya oranla daha yüksek elde edilmiştir.



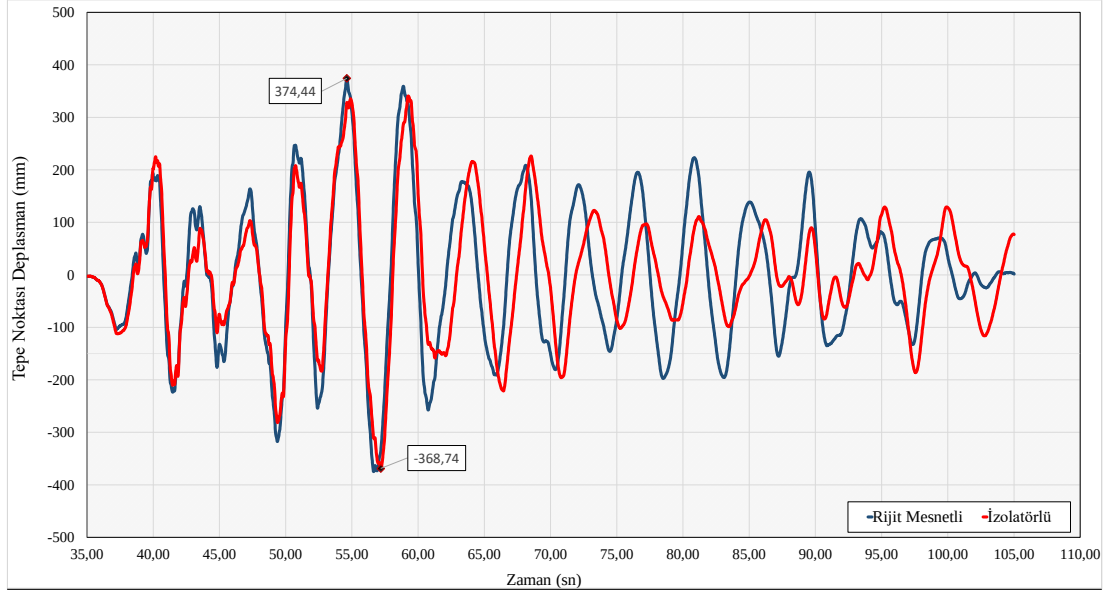
Şekil 5.100 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının kat ivmeleri

İvme değerleri dikkate alındığında, analizi yapılan buradaki yapıda olduğu gibi bina yüksekliği arttıkça temel seviyesine yerleştirilen izolatörün sismik etkileri azaltmada yetersiz kaldığı ve beklenen performansı gösteremediği ifade edilebilir. Ayrıca Kastamonu depremindeki ivme kaydı veri sayısı azlığının bu sonuç üzerinde etkisi olabileceği düşünülmektedir.

Şekil 5.101, rijit mesnetli yapıda maksimum taban kesme kuvvetinin 1500 kN, izolatörlü yapıda ise 1250 kN olduğunu ve izolatörün kesme kuvvetlerini yaklaşık %17 oranında azalttığını göstermektedir. Rijit mesnetli yapı için taban kesme kuvveti 1500 kN ile -1400 kN arasında değişmekteyken; izolatörlü yapı için 1250 kN ile -1100 kN arasında değişmektedir. Bu durum bize deprem yükünün %25 civarında sönümlendiğini göstermektedir. İzolatörlü yapıda düşük frekanslı ve düzenli bir salınım gözlemlenirken, rijit mesnetli yapıda ise yüksek frekanslı ve daha düzensiz bir kuvvet değişimi görülmüştür. Zamana bağlı olarak rijit mesnetli yapı daha yüksek genlikli ve düzensiz salınımlar sergilerken, izolatörlü yapı daha düşük genlikli ve düzenli bir kuvvet dağılımı ile daha kontrol edilebilir bir davranış göstermiştir. Bu durum, izolatörün deprem yüklerini sönümleyerek yapı üzerindeki etkileri azaltarak yapı güvenliğini artırmada etkili olduğunu kanıtlamaktadır.



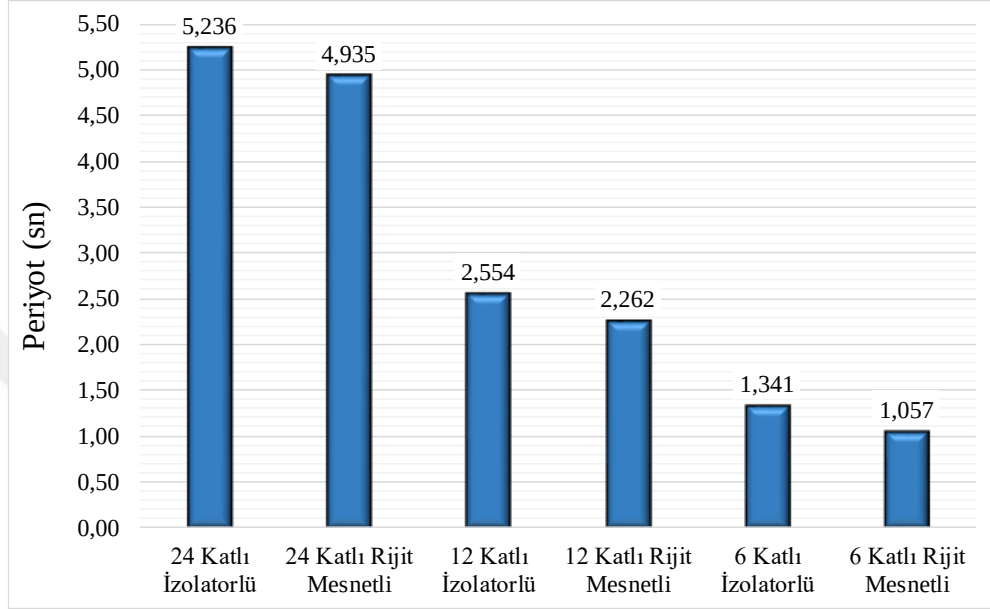
Şekil 5.101 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının taban kesme kuvvetleri



Şekil 5.102 İzolatörlü ve rijit mesnetli yapının tepe noktası deplasmanları

Şekil 5.102'de görüldüğü üzere rijit mesnetli yapıda tepe noktası yerdeğiştirmesinin maksimum 25,98 mm, izolatörlü yapıda ise 24,65 mm olduğunu ve izolatörün yerdeğiştirmeyi yaklaşık %1 azalttığını göstermektedir. İzolatörlü yapı, tepe noktası deplasmanlarında daha düşük maksimum değerler göstermektedir. Bu durum, izolatörlerin yapıya etki eden deplasman taleplerini azaltarak, yapı üzerindeki deprem yükü ve deformasyonları büyük ölçüde kontrol ettiğini göstermektedir. Zamanla dalgalanmaların büyüklüğü incelendiğinde, izolatörlü yapıda daha yumuşak ve sönümlü bir deplasman davranışı olduğu, rijit mesnetli yapıda ise daha ani ve geniş genlikli salınımlar olduğu dikkat çekmektedir.

Bu durum yapının performansını iyileştirerek hasar riskini minimize etmektedir. İzolatör, deprem enerjisini sönümlemiş ve yerdeğiştirme genliklerini kontrol altına alarak yapı performansını artırmıştır. Bu sonuç, sismik taban yalıtımı sistemlerinin sismik performansı iyileştirmedeki etkinliğini doğrulamaktadır.



Şekil 5.103 Yapıların periyot değerleri

Şekil 5.103'te, 6,12 ve 24 katlı yapıların izolatörlü ve rijit mesnetli durumlarındaki periyot değerleri karşılaştırılmaktadır. İzolatör kullanımı, yapıların periyotlarını artırarak deprem frekansı ile yapı frekansının çakışmasını yani rezonansı önleyerek sismik etkileri azaltmaktadır. 6 katlı yapılarda periyot artışı %27'yi bulurken, 24 katlı yapılarda bu oran %6 seviyesindedir. Kat sayısı arttıkça periyot artış oranı azalmakta, ancak yüksek katlı yapılar doğal olarak daha uzun periyotlara sahip olduğundan izolatörlerin etkisi sınırlı kalmaktadır. İzolatörler, düşük katlı yapılarda enerji sönümleme kapasitesini artırarak yapı deformasyonunu azaltmakta ve yapıyı daha güvenli hale getirmektedir. Bu durum, özellikle düşük katlı yapıların rijit mesnetli yapılara kıyasla daha fazla rezonansa girme riski taşıdığı ve izolatörlerin bu riski azaltmada kritik bir rol oynadığı görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kastamonu lokasyonunda bulunan 6, 12 ve 24 katlı betonarme çerçeve üç adet yapının rijit temelli ve sismik taban yalıtımlı durumları dikkate alınarak; 1999 Kocaeli-Gölcük, 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık ve 1977 Kastamonu depremlerine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde ortaya çıkan sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

Sismik taban yalıtımı kullanılan yapının alt katlarında rijit mesnete göre daha yüksek rölatif yerdeğiştirme değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Ancak üst katlara doğru ilerledikçe taban yalıtımı etkisi azalmakta ve rölatif yerdeğiştirme değerleri rijit mesnetten elde edilen değerlere yaklaşmaktadır. Bu durum, sismik taban yalıtımının yapının alt kısımlarındaki sismik etkileri daha etkin bir şekilde sönümleme eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Sismik taban yalıtımlı yapıda mutlak yer değıştirme değerleri, rijit mesnetli yapıya göre genel olarak daha düşük elde edilmiştir. Rijit mesnetli yapıda mutlak yer değıştirme değerlerinin daha büyük olması, bu yapı türünün zemine rijit bağlanması nedeniyle daha şiddetli salınımlara maruz kaldığını göstermektedir. Bu durum, izolatörlerin deprem hareketini sönümleyici etkisini kanıtlar niteliktedir.

Sismik taban yalıtım sistemlerinin yapının kat ivme değerlerini büyük ölçüde azalttığı açıkça görülmektedir. İzolatörler, özellikle alt katlarda etkili bir sönümleme sağlayarak hem yapısal güvenliğini artırmakta hem de üst katlara ulaşan ivme değerlerini azaltmaktadır. Rijit mesnetli yapılar ise, katlar arası ivme farklılıklarının yüksek olması nedeniyle daha şiddetli bir sismik performans sergilemektedir.

Yapılan analizler neticesinde, sismik etkiler altında taban yalıtım sistemlerinin yapıya gelen taban kesme kuvvetlerini büyük ölçüde azalttığı sonucuna ulaşılmaktadır. İzolatörler, taban kesme kuvvetlerinin genliklerini ve titreşim şiddetini kontrol altında tutarak, yapının hem daha güvenli çalışmasını hem de yapıda oluşacak potansiyel hasarın azaltılmasını sağlamaktadır. Rijit mesnetli yapılar ise daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kaldıkları için yapıya etki eden taban kesme kuvvetleri ve

meydana gelen deformasyonlar daha yüksek olmaktadır. Bu durum taban yalıtım sistemlerinin sismik yükler altındaki etkinliğini açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle büyük deprem yüklerine maruz yapılar için taban yalıtım sistemlerinin uygulanması önem arz etmektedir.

Sismik taban yalıtımının, yapının tepe noktasındaki en büyük yer değiştirme değerlerinin azaltılmasında ve titreşimlerin kontrol edilmesinde oldukça etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Taban yalıtımlı yapı daha düşük genlik değerleri göstermiş ve daha dengeli bir performans sergilemiştir. Rijit mesnetli yapılar ise daha büyük genliklere ve düzensiz titreşimlere maruz kalarak daha yüksek bir hasar riski taşımaktadır.

Çalışmada dikkate alınan 6, 12 ve 24 katlı yapıların hepsinde sismik taban yalıtımı uygulanan yapıların rijit mesnetli yapılara göre elde edilen yapı periyotlarının arttığı görülmektedir. Bu beklenen ve arzu edilen bir sonuçtur. İzolatör, depremin frekansı ile yapının frekansının çakışmasını önleyerek rezonansa girmesini engellemektedir. Periyodun artmasıyla yapıya gelen deprem etkisi azalmakta ve büyük hasarların oluşması izolatör sayesinde önlenmektedir.

Periyotlardaki artış 6 ve 12 katlı yapılarda 24 katlı yapıya göre daha fazladır. Bunun nedeninin yapı yüksekliği arttığında ve yüksek yapı sınıfına girdiğinde sadece temel seviyesinde yerleştirilen izolatörlerin üst katlara etkisinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek yapılarda izolatör kullanımı yalnızca temel seviyesinde değil uygun ara katlarda da uygulanması yüksek yapının sismik davranışını daha da iyileştireceği düşünülmektedir.

Yapılan bu tez çalışması, sismik yükler altında izolatörlerin bir yapının yapısal performansını nasıl artırdığını net bir şekilde ortaya koymaktadır. İzolatörler sismik titreşimlere karşı yapıyı daha kararlı hale getirmekte ve deprem etkilerini büyük ölçüde sönmlemektedir.

Gelecek çalışmalarda, yapı yüksekliğinin izolatör performansı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla binanın kat sayısında daha farklı değişiklikler yapılabilir. Bunun yanında yatay ve düşey deprem etkisinde simetrik olmayan ve düzensiz yapılar dikkate

alınabilir. Özellikle yüksek yapıların sismik davranışını iyileştirmek için ara katlara izolatör ya da viskoz sönümleyiciler gibi pasif sönümleme sistemlerinin yerleşimi çalışılabilir. Bununla birlikte yapıların sismik davranışına farklı izolatör tipi etkisi araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- Ahmadipour, M., & Alam, M. S. (2017). Sensitivity analysis on mechanical characteristics of lead-core steel-reinforced elastomeric bearings under cyclic loading. *Engineering Structures*, 140, 39-50.
- Albaş, M. Y. (2021). *TBDY 2018'e göre sismik yalıtımlı yapının tasarlanması*. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ali, A., Zhang, C., Bibi, T., Zhu, L., Cao, L., Li, C., & Hsiao, P.-C. (2022). Investigation of five different low-cost locally available isolation layer materials used in sliding base isolation systems. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 154, 107127.
- Ali, M. M., & Moon, K. S. (2018). Advances in structural systems for tall buildings: Emerging developments for contemporary urban giants. *Buildings*, 8(8), 104.
- Altalabani, D., Hejazi, F., Rashid, R. S. B. M., & Abd Aziz, F. N. A. (2021). *Development of new rectangular rubber isolators for a tunnel-form structure subjected to seismic excitations*. 32, 1522-1542.
- Arguc, S., Avsar, O., & Ozdemir, G. (2017). Effects of lead core heating on the superstructure response of isolated buildings. *Journal of Structural Engineering*, 143(10), 04017145.
- Askarzadeh, A. (2016). A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm. *Computers & structures*, 169, 1-12.
- Astroza, R., Conte, J., Restrepo, J., Ebrahimian, H., & Hutchinson, T. (2013). *Shake table testing of a full-scale five-story building: System identification of the five-story test structure*. 1472-1484.
- Avinash, A. R., Krishnamoorthy, A., Kamath, K., & Chaithra, M. (2022). Sliding isolation systems: Historical review, modeling techniques, and the contemporary trends. *Buildings*, 12(11), 1997.
- Banović, I., Radnić, J., Grgić, N., & Matešan, D. (2018). The use of limestone sand for the seismic base isolation of structures. *Advances in Civil Engineering*, 2018(1), 9734283.
- Barbat, A., Rodellar, J., Ryan, E., & Molinares, N. (1995). Active control of nonlinear base-isolated buildings. *Journal of Engineering Mechanics*, 121(6), 676-684.
- Becker, T. C., & Mahin, S. A. (2012). Experimental and analytical study of the bi-directional behavior of the triple friction pendulum isolator. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 41(3), 355-373.
- Bibi, T., Ali, A., Naeem, A., Zhang, C., & Ahmad, N. (2024). To investigate different parameters of economic sliding based seismic isolation system. *Journal of Earthquake Engineering*, 28(3), 659-688.
- Bielak, J. (1978). Dynamic response of non-linear building-foundation systems. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 6(1), 17-30.
<https://doi.org/10.1002/eqe.4290060104>

- Bolisetti, C., Whittaker, A. S., & Coleman, J. L. (2018). Linear and nonlinear soil-structure interaction analysis of buildings and safety-related nuclear structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 107, 218-233.
- Braga, F., & Laterza, M. (2004). Field testing of low-rise base isolated building. *Engineering structures*, 26(11), 1599-1610.
- Brewick, P. T., Johnson, E. A., Sato, E., & Sasaki, T. (2020). Modeling the dynamic behavior of isolation devices in a hybrid base-isolation layer of a full-scale building. *Journal of Engineering Mechanics*, 146(11), 04020127.
- Buckle, I. G., & Mayes, R. L. (1990). Seismic isolation: History, application, and performance—A world view. *Earthquake spectra*, 6(2), 161-201.
- Calvi, P. M., & Calvi, G. M. (2018). Historical development of friction-based seismic isolation systems. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 106, 14-30. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.12.003>
- Calvi, P. M., Moratti, M., & Calvi, G. M. (2016). Seismic isolation devices based on sliding between surfaces with variable friction coefficient. *Earthquake Spectra*, 32(4), 2291-2315.
- Calvi, P. M., & Ruggiero, D. M. (2016). Numerical modelling of variable friction sliding base isolators. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14, 549-568.
- Cardone, D., Narjabadifam, P., & Nigro, D. (2011). Shaking table tests of the smart restorable sliding base isolation system (SRSBIS). *Journal of Earthquake Engineering*, 15(8), 1157-1177.
- Casablanca, O., Ventura, G., Garesci, F., Azzerboni, B., Chiaia, B., Chiappini, M., & Finocchio, G. (2018). Seismic isolation of buildings using composite foundations based on metamaterials. *Journal of Applied Physics*, 123(17).
- Castaldo, P., & Alfano, G. (2020). Seismic reliability-based design of hardening and softening structures isolated by double concave sliding devices. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 129, 105930.
- Chalhoub, & Kelly. (1990). Comparison of SEAONC base isolation tentative code to shake table tests. *Journal of Structural Engineering*, 116(4), 925-938.
- Charleson, A., & Guisasola, A. (2016). *Seismic isolation for architects*. Routledge.
- Charmpis, D. C., Komodromos, P., & Phocas, M. C. (2012). Optimized earthquake response of multi-storey buildings with seismic isolation at various elevations. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 41(15), 2289-2310.
- Cho, K. H., Kim, M. K., Lim, Y. M., & Cho, S. Y. (2004). Seismic response of base-isolated liquid storage tanks considering fluid–structure–soil interaction in time domain. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(11), 839-852.
- Chopra, A. K. (2007). *Dynamics of structures*. Pearson Education India.
- Clarke, C. S., Buchanan, R., Efthymiou, M., & Shaw, C. (2005). *Structural platform solution for seismic arctic environments-Sakhalin II offshore facilities*. OTC-17378.

- Constantinou, M. (2007). *Performance of Seismic Isolation Hardware under Service and Seismic Loading*.
- Crandall, S., Lee, S., & Williams Jr, J. (1974). *Accumulated slip of a friction-controlled mass excited by earthquake motions*.
- Çerçevik, A. E., Avşar, Ö., & Hasańcebi, O. (2020). Optimum design of seismic isolation systems using metaheuristic search methods. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 131, 106012.
- Dao, N. D., Ryan, K. L., Sato, E., Okazaki, T., Mahin, S. A., Zahgi, A. E., Kajiwara, K., & Matsumori, T. (2011). *Experimental evaluation of an innovative isolation system for a lightweight steel moment frame building at E-defense*. 2951-2962.
- Das, A., Dutta, A., & Deb, S. K. (2015). Performance of fiber-reinforced elastomeric base isolators under cyclic excitation. *Structural Control and Health Monitoring*, 22(2), 197-220.
- De Luca, A., & Guidi, L. G. (2019). State of art in the worldwide evolution of base isolation design. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 125, 105722. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105722>
- Dong, W., Shi, Y., Wang, Q., Wang, Y., & Yan, J.-B. (2023). Development of a long-period vertical base isolation device with variable stiffness for steel frame structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 164, 107638.
- Doudoumis, I., Gravalas, F., & Doudoumis, N. (2005). Analytical modeling of elastomeric lead-rubber bearings with the use of finite element micro models. *Proceedings of GRACM 05*, 10(3), 143.
- Fan, F.-G., Ahmadi, G., Mostaghel, N., & Tadjbakhsh, I. (1991). Performance analysis of aseismic base isolation systems for a multi-story building. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 10(3), 152-171.
- Fenz, D. M., & Constantinou, M. C. (2006). Behaviour of the double concave friction pendulum bearing. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 35(11), 1403-1424.
- Fenz, D. M., & Constantinou, M. C. (2008a). Modeling triple friction pendulum bearings for response-history analysis. *Earthquake Spectra*, 24(4), 1011-1028.
- Fenz, D. M., & Constantinou, M. C. (2008b). Spherical sliding isolation bearings with adaptive behavior: Experimental verification. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 37(2), 185-205.
- Ferraioli, M., & Mandara, A. (2016). Base isolation for seismic retrofitting of a multiple building structure: Evaluation of equivalent linearization method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016(1), 8934196.
- Forcellini, D. (2022). *The assessment of the interaction between base isolation (BI) technique and soil structure interaction (SSI) effects with 3D numerical simulations*. 45, 1452-1460.

- Forcellini, D., & Kalfas, K. (2023). Inter-story seismic isolation for high-rise buildings. *Engineering Structures*, 275, 115175. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115175>
- Fu, W., Zhang, C., Sun, L., Askari, M., Samali, B., Chung, K. L., & Sharafi, P. (2017). Experimental investigation of a base isolation system incorporating MR dampers with the high-order single step control algorithm. *Applied Sciences*, 7(4), 344.
- Geem, Z. W. (2008). Novel derivative of harmony search algorithm for discrete design variables. *Applied mathematics and computation*, 199(1), 223-230.
- Gu, Z., Lei, Y., Qian, W., Xiang, Z., Hao, F., & Wang, Y. (2021). An Experimental Study on the Mechanical Properties of a High Damping Rubber Bearing with Low Shape Factor. *Applied Sciences*, 11(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/app112110059>
- Gueraud, R., Noel-Leroux, J.-P., Livolant, M., & Michalopoulos, A. (1985). Seismic isolation using sliding-elastomer bearing pads. *Nuclear Engineering and Design*, 84(3), 363-377.
- Han, X., & Marin-Artieda, C. (2015). *A case study on the seismic protection of equipment using lead-rubber bearings*. 1962-1974.
- Harvey Jr, P. S., & Kelly, K. C. (2016). A review of rolling-type seismic isolation: Historical development and future directions. *Engineering Structures*, 125, 521-531.
- He, W., Qiao, J., Xu, H., & Huang, J. (2023). Experiment investigation and dynamic responses of three-dimensional isolation system with high-static-low-dynamic stiffness. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 165, 107679.
- Hosseini, M., & Farsangi, E. N. (2012). Telescopic columns as a new base isolation system for vibration control of high-rise buildings. *Earthquakes and Structures*, 3(6), 853-867.
- Hoşbaş, A. B. (2006). *Çok Katlı Betonarme Yapının Sismik İzolatörlerle Modellenmesi ve Yapının Perdelerle Güçlendirilmiş Durumu ile Karşılaştırılması*.
- Housner. (1957). Dynamic pressures on accelerated fluid containers. *Bulletin of the seismological society of America*, 47(1), 15-35.
- Huang, Y., & Whittaker, A. (2009). *Response of conventional and base isolated nuclear power plants to blast loading*. 9-14.
- Hwang, J.-S., & Hsu, T.-Y. (2000). Experimental study of isolated building under triaxial ground excitations. *Journal of Structural Engineering*, 126(8), 879-886.
- Iizuka, M. (2000). A macroscopic model for predicting large-deformation behaviors of laminated rubber bearings. *Engineering structures*, 22(4), 323-334.
- Jain, S. K., & Thakkar, S. K. (2004). *Application of base isolation for flexible buildings*. 1-6.
- Jangid, R., & Datta, T. (1995). Seismic Behaviour Of Base-Isolated Buildings: A State-Of-The Art Review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 110(2), 186-203.

- Jennings, P. C., & Bielak, J. (1973). Dynamics of building-soil interaction. *Bulletin of the seismological society of America*, 63(1), 9-48.
- Ji, X., Fenves, G. L., Kajiwar, K., & Nakashima, M. (2011). Seismic damage detection of a full-scale shaking table test structure. *Journal of Structural Engineering*, 137(1), 14-21.
- Jing, W., Feng, J., Wang, S., & Song, S. (2023). *Failure probability of a liquid storage tank with three-dimensional base-isolation under earthquake action*. 58, 105633.
- Kageyama, M., Iba, T., Umeki, K., Somaki, T., & Moro, S. (2003). *Development of Three-Dimensional Base Isolation System with Cable Reinforcing Air Spring (K145)*.
- Kalpakidis, I. V. (2008). *Effects of heating and load history on the behavior of lead-rubber bearings*. State University of New York at Buffalo.
- Kalpakidis, I. V., & Constantinou, M. C. (2009). Effects of heating on the behavior of lead-rubber bearings. I: Theory. *Journal of Structural Engineering*, 135(12), 1440-1449.
- Kalpakidis, I. V., & Constantinou, M. C. (2010). Principles of scaling and similarity for testing of lead-rubber bearings. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 39(13), 1551-1568.
- Kanbir, Z., Özdemir, G., & Alhan, C. (2018). Modeling of Lead Rubber Bearings via 3D-BASIS, SAP2000, and OpenSees Considering Lead Core Heating Modeling Capabilities. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 7(4), 294-301.
- Kandemir, E. C., & Mortazavi, A. (2022). Optimization of seismic base isolation system using a fuzzy reinforced swarm intelligence. *Advances in Engineering Software*, 174, 103323.
- Kangda, M. Z., & Bakre, S. (2019). Positive-phase blast effects on base-isolated structures. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44, 4971-4992.
- Karimi, & Kordachi. (2020). Assessing the three-dimensional seismic behavior of the multi-degree-of-freedom (MDOF) structure with LCRB and LRB control systems. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21, 871-884.
- Kashiwazaki, A., Shimada, T., Fujiwaka, T., & Moro, S. (2003). *Study on 3-dimensional base isolation system applying to new type power plant reactor (hydraulic 3-dimensional base isolation system: No. 1)(K148)*.
- Katsaras, C. P., Panagiotakos, T. B., & Koliass, B. (2008). Restoring capability of bilinear hysteretic seismic isolation systems. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 37(4), 557-575.
- Kelly, J. (1988). Base isolation in Japan. *Technology Transfer Package on Seismic Base Isolation*, 3.
- Kelly, J. M. (1986). Aseismic base isolation: Review and bibliography. *Soil Dynamics and earthquake engineering*, 5(4), 202-216.
- Kelly, J. M., & Marsico, M. R. (2013). Tension buckling in rubber bearings affected by cavitation. *Engineering structures*, 56, 656-663.

- Khan, B. L., Azeem, M., Usman, M., Farooq, S. H., Hanif, A., & Fawad, M. (2019). Effect of near and far field earthquakes on performance of various base isolation systems. *Procedia Structural Integrity*, 18, 108-118.
- Kılınç, F. (2011). *Taban izolatörlü yapıların deprem davranışı* [Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Kilar, V., Petrovčić, S., Koren, D., & Šilih, S. (2013). Cost viability of a base isolation system for the seismic protection of a steel high-rack structure. *International Journal of Steel Structures*, 13, 253-263.
- Kim, Y.-S., & Yun, C.-B. (2007). Seismic response characteristics of bridges using double concave friction pendulum bearings with tri-linear behavior. *Engineering Structures*, 29(11), 3082-3093.
- Kumar, M., & Whittaker, A. (2013). *Mechanical properties of elastomeric seismic isolation bearings for analysis under extreme loadings*.
- Kumar, M., Whittaker, A. S., & Constantinou, M. C. (2015). Characterizing friction in sliding isolation bearings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(9), 1409-1425.
- Lal, K. M., Parsi, S. S., Kosbab, B. D., Ingersoll, E. D., Charkas, H., & Whittaker, A. S. (2022). Towards standardized nuclear reactors: Seismic isolation and the cost impact of the earthquake load case. *Nuclear Engineering and Design*, 386, 111487.
- Lee, Cho, M. S., & Park, J. Y. (2011). *Developing Lead Rubber Bearing for Seismic Isolation of Nuclear Power Plants*. 15th World Conference on Earthquake Engineering.
- Lee, D., & Constantinou, M. C. (2016). Quintuple friction pendulum isolator: Behavior, modeling, and validation. *Earthquake Spectra*, 32(3), 1607-1626.
- Lee, E., Jung, D., Rhee, I., & Kim, J. (2021). A nonlinear soil-structure interaction analysis technique based on seismic isolation design response spectrum for seismically isolated nuclear structures with rigid basemat. *Nuclear Engineering and Design*, 381, 111334.
- Li, Y., & Li, J. (2019). Overview of the development of smart base isolation system featuring magnetorheological elastomer. *Smart Structures and Systems*, 24(1), 37-52.
- Liu, Y., Li, J., & Lin, G. (2023). Seismic performance of advanced three-dimensional base-isolated nuclear structures in complex-layered sites. *Engineering Structures*, 289, 116247.
- Losanno, D., Calabrese, A., Madera-Sierra, I., Spizzuoco, M., Marulanda, J., Thomson, P., & Serino, G. (2022). Recycled versus natural-rubber fiber-reinforced bearings for base isolation: Review of the experimental findings. *Journal of Earthquake Engineering*, 26(4), 1921-1940.
- Losanno, D., Ravichandran, N., Parisi, F., Calabrese, A., & Serino, G. (2021). Seismic performance of a Low-Cost base isolation system for unreinforced brick Masonry buildings in developing countries. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 141, 106501.

- Lu, X., Zhou, Y., & Lu, W. (2007). Shaking table model test and numerical analysis of a complex high-rise building. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 16(2), 131-164.
- Luco, J. E. (2014). Effects of soil–structure interaction on seismic base isolation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 167-177.
- Madhekar, S. N., & Vairagade, H. (2019). Innovative base isolators from scrap tyre rubber pads. *Proceedings of ukieri concrete congress*, 1-15.
- Mahmoud, S., Austrell, P.-E., & Jankowski, R. (2012). Simulation of the response of base-isolated buildings under earthquake excitations considering soil flexibility. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 11, 359-374.
- Marzec, I., Bobiński, J., Tejchman, J., & Schönnagel, J. (2021). Finite element analysis on failure of reinforced concrete corner in sewage tank under opening bending moment. *Engineering Structures*, 228, 111506.
- Matsagar, V. A., & Jangid, R. (2008). Base isolation for seismic retrofitting of structures. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 13(4), 175-185.
- Maureira, N., De la Llera, J., Oyarzo, C., & Miranda, S. (2017). A nonlinear model for multilayered rubber isolators based on a co-rotational formulation. *Engineering Structures*, 131, 1-13.
- Maureira-Carsalade, N., Pardo, E., Oyarzo-Vera, C., & Roco, A. (2020). A roller type base isolation device with tensile strength. *Engineering Structures*, 221, 111003.
- Mazza, F., & Pucci, D. (2016). Static vulnerability of an existing rc structure and seismic retrofitting by CFRP and base-isolation: A case study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 84, 1-12.
- Mei, R., Li, J., Lin, G., Pan, R., & Zhu, X. (2020). Evaluation of the vibration response of third generation nuclear power plants with isolation technology under large commercial aircraft impact. *Progress in Nuclear Energy*, 120, 103230.
- Mei, R., Li, J., Lin, G., & Zhu, X. (2018). Dynamic assessment of the seismic isolation influence for various aircraft impact loads on the CPR1000 containment. *Nuclear Engineering and Technology*, 50(8), 1387-1401.
- Meng, X., Li, X., Xu, X., Zhang, J., Zhou, W., & Zhou, D. (2019). Earthquake response of cylindrical storage tanks on an elastic soil. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 7, 433-444.
- Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software*, 95, 51-67.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in engineering software*, 69, 46-61.
- Mitropoulou, C. C., & Lagaros, N. D. (2016). Life-cycle cost model and design optimization of base-isolated building structures. *Frontiers in Built Environment*, 2, 27.

- Moeindarbari, H., & Taghikhany, T. (2014). Seismic optimum design of triple friction pendulum bearing subjected to near-fault pulse-like ground motions. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 50, 701-716.
- Mohebbi, M., & Dadkhah, H. (2020). Optimal design of base isolation system under blast loading. *Int. J. Optim. Civil Eng*, 10(1), 101-115.
- Mokha, A. (1990). Experimental study and theoretical prediction of a earthquake response of a sliding isolation system with a spherical surface. *NCEER-90-0020*.
- Mokha, A. S., Amin, N., Constantinou, M. C., & Zayas, V. (1996). Seismic isolation retrofit of large historic building. *Journal of Structural Engineering*, 122(3), 298-308.
- Moslemi, M., Kianoush, M. R., & Pogorzelski, W. (2011). Seismic response of liquid-filled elevated tanks. *Engineering Structures*, 33(6), 2074-2084. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.02.048>
- Mostaghel, N., & Khodaverdian, M. (1987). Dynamics of resilient-friction base isolator (R-FBI). *Earthquake engineering & structural dynamics*, 15(3), 379-390.
- Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: From theory to practice*. John Wiley & Sons.
- Nakamura, Y., & Okada, K. (2019). Review on seismic isolation and response control methods of buildings in Japan. *Geoenvironmental Disasters*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0123-y>
- Nakamura, Y., Saruta, M., Wada, A., Takeuchi, T., Hikone, S., & Takahashi, T. (2011). Development of the core-suspended isolation system. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 40(4), 429-447.
- National Research Council, Division on Engineering, Physical Sciences, Board on Infrastructure, the Constructed Environment, & Committee to Review the Security Design Criteria of the Interagency Security Committee. (2003). *ISC security design criteria for new federal office buildings and major modernization projects: A review and commentary*.
- Neethu, B., & Das, D. (2019). Effect of dynamic soil–structure interaction on the seismic response of bridges with elastomeric bearings. *Asian Journal of Civil Engineering*, 20, 197-207.
- Nigdeli, S. M., Bekdaş, G., & Alhan, C. (2014). Optimization of seismic isolation systems via harmony search. *Engineering optimization*, 46(11), 1553-1569.
- Ounis, H. M., & Ounis, A. (2013). Parameters influencing the response of a base-isolated building. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 21(3), 31-42.
- Ozbulut, O. E., & Hurlbaas, S. (2011). Optimal design of superelastic-friction base isolators for seismic protection of highway bridges against near-field earthquakes. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 40(3), 273-291.
- Ozdemir, G., Avsar, O., & Bayhan, B. (2011). Change in response of bridges isolated with LRBs due to lead core heating. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(7), 921-929.

- Patel, D., Pandey, G., Mourya, V. K., & Kumar, R. (2024). Sustainable base isolation: A review of techniques, implementation, and extreme events. *Sāadhanā*, 49(2), 173. <https://doi.org/10.1007/s12046-024-02511-1>
- Ponzo, F. C., Di Cesare, A., Leccese, G., & Nigro, D. (2017). Shake table testing on restoring capability of double concave friction pendulum seismic isolation systems. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46(14), 2337-2353.
- Quaglini, V., Bocciarelli, M., Gandelli, E., & Dubini, P. (2014). Numerical assessment of frictional heating in sliding bearings for seismic isolation. *Journal of Earthquake Engineering*, 18(8), 1198-1216.
- Quaranta, G., Marano, G. C., Greco, R., & Monti, G. (2014). Parametric identification of seismic isolators using differential evolution and particle swarm optimization. *Applied Soft Computing*, 22, 458-464.
- Robinson, W. H. (1982). Lead-rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 10(4), 593-604.
- Sachdeva, G., Chakraborty, S., & Ray-Chaudhuri, S. (2018). Seismic response control of a structure isolated by flat sliding bearing and nonlinear restoring spring: Experimental study for performance evaluation. *Engineering Structures*, 159, 1-13.
- Saedniya, M., & Talaeitaba, S. B. (2019). Numerical modeling of elastomeric seismic isolators for determining force–displacement curve from cyclic loading. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 11(3), 361-376.
- Saiful Islam, A., Jameel, M., Rahman, M., & Jumaat, M. Z. (2011). Earthquake time history for Dhaka, Bangladesh as competent seismic record. *International Journal of Physical Sciences*, 6(16), 3921-3926.
- Salic, R., Garevski, M., & Milutinovic, Z. (2008). *Response of Lead-Rubber Bearing Isolated Structure. 14 World Conf Earthq Eng.*
- Santos, S. P., Modena, C., Vientzileou, E., Tomazevic, M., Lourenço, P., Capozucca, R., Chidiac, S., & Jaeger, W. (2010). *Guide for the structural rehabilitation of heritage buildings.*
- Sato, N., Kato, A., Fukushima, Y., & Iizuka, M. (2002). Shaking table tests on failure characteristics of base isolation system for a DFBR plant. *Nuclear engineering and design*, 212(1-3), 293-305.
- Shang, J., Tan, P., Zhang, Y., Han, J., & Mi, P. (2021). Seismic isolation design of structure using variable friction pendulum bearings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 148, 106855.
- Sheikh, H., Van Engelen, N. C., & Ruparathna, R. (2022). A review of base isolation systems with adaptive characteristics. 38, 1542-1555.
- Showalter, J. (2007). *ASCE/SEI 7 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.*
- Spencer, B. F., & Nagarajaiah, S. (2003). State of the Art of Structural Control. *Journal of Structural Engineering*, 129(7), 845-856. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2003\)129:7\(845\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:7(845))

- Su, L., Ahmadi, G., & Tadjbakhsh, I. G. (1989). Comparative study of base isolation systems. *Journal of engineering mechanics*, 115(9), 1976-1992.
- Su, L., Ahmadi, G., & Tadjbakhsh, I. G. (1991). Performance of sliding resilient-friction base-isolation system. *Journal of Structural Engineering*, 117(1), 165-181.
- Suhara, J., Tamura, T., Ohta, K., Okada, Y., & Moro, S. (2003). *Research on 3-D Base Isolation System Applied to New Power Reactor 3-D Seismic Isolation Device with Rolling Seal Type Air Spring: Part 1 (K141)*.
- Suhara, J., Tamura, T., Okada, Y., & Umeki, K. (2002). *Development of three dimensional seismic isolation device with laminated rubber bearing and rolling seal type air spring*. 46563, 43-48.
- Tagliafierro, B., Montuori, R., & Castellano, M. G. (2021). Shake table testing and numerical modelling of a steel pallet racking structure with a seismic isolation system. *Thin-Walled Structures*, 164, 107924. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.107924>
- Touaillon J 1870 Improvement in buildings. US Pat No 99,973—Google Akademik. (t.y.). Geliş tarihi 10 Kasım 2024, gönderen https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=Touaillon+J+1870+Improvement+in+buildings.+US+Pat+No+99%2C973&btnG=
- Tsai, C., Lin, Y., & Su, H. (2010). Characterization and modeling of multiple friction pendulum isolation system with numerous sliding interfaces. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 39(13), 1463-1491.
- Tsai, Chiang, & Chen. (2003). *Shaking table tests of a full scale steel structure isolated with MFPS*. 4157, 41-47.
- Tsipianitis, A., & Tsompanakis, Y. (2021). Optimizing the seismic response of base-isolated liquid storage tanks using swarm intelligence algorithms. *Computers & Structures*, 243, 106407.
- Tsopelas, P., & Constantinou, M. C. (1994). *NCEER-Taisei corporation research program on sliding seismic isolation systems for bridges: Experimental and analytical study of a system consisting of sliding bearings and fluid restoring force/damping devices*. National Center for Earthquake Engineering Research Buffalo, NY.
- Tsopelas, P., Constantinou, M., Kim, Y., & Okamoto, S. (1996). Experimental study of FPS system in bridge seismic isolation. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25(1), 65-78.
- Tubaldi, E., Mitoulis, S. A., & Ahmadi, H. (2018). Comparison of different models for high damping rubber bearings in seismically isolated bridges. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 104, 329-345.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. 18 Mart 2018 Tarih ve 30364 Sayılı Resmi Gazete. 2018. 18 Mart 2018
- Usta, P. (2021). Assessment of seismic behavior of historic masonry minarets in Antalya, Turkey. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00665. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00665>

- Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2002). Incremental dynamic analysis. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(3), 491-514.
- Veletsos, A., & Tang, Y. (1990). Soil-structure interaction effects for laterally excited liquid storage tanks. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 19(4), 473-496.
- Villaverde, R. (2017). Base isolation with sliding hydromagnetic bearings: Concept and feasibility study. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(6), 709-721.
- Wang, T., & Wang, F. (2012). *Three-dimensional base-isolation system using thick rubber bearings*. 8341, 751-758.
- Wang, Y., Chen, Q., Zhao, Z., Qiang, H., Yang, K., & Wang, X. (2022). *Design and performance evaluation framework for seismically isolated reinforcement concrete columns subjected to blast loads*. 45, 2239-2252.
- Warn, G. P., & Ryan, K. L. (2012). A review of seismic isolation for buildings: Historical development and research needs. *Buildings*, 2(3), 300-325.
- Wei, X., Li-Zhong, J., Zhi-Hui, Z., & Yao-Zhuang, L. (2021). Introduction of flat-spring friction system for seismic isolation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 145, 106649.
- Weisman, J., & Warn, G. P. (2012). Stability of elastomeric and lead-rubber seismic isolation bearings. *Journal of Structural Engineering*, 138(2), 215-223.
- Whittaker, A. S., Sollogoub, P., & Kim, M. K. (2018). Seismic isolation of nuclear power plants: Past, present and future. *Nuclear Engineering and Design*, 338, 290-299.
- Xiong, W., & Li, Y. (2013). Seismic isolation using granulated tire–soil mixtures for less-developed regions: Experimental validation. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42(14), 2187-2193.
- Xiong, W., Zhang, S., Jiang, L., & Li, Y. (2017). Introduction of the convex friction system (CFS) for seismic isolation. *Structural Control and Health Monitoring*, 24(1), e1861.
- Yang, W., Sun, X., Wang, M., & Liu, P. (2017). Vertical stiffness degradation of laminated rubber bearings under lateral deformation. *Construction and Building Materials*, 152, 310-318.
- Zhang, C., & Ali, A. (2021). The advancement of seismic isolation and energy dissipation mechanisms based on friction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 146, 106746.
- Zhang, C., Ali, A., & Sun, L. (2021). Investigation on low-cost friction-based isolation systems for masonry building structures: Experimental and numerical studies. *Engineering structures*, 243, 112645.
- Zhang, R., & Phillips, B. M. (2016). Performance and protection of base-isolated structures under blast loading. *Journal of Engineering Mechanics*, 142(1), 04015063.
- Zhang, R., Wu, M., Lu, W., Li, X., & Lu, X. (2021). Seismic retrofitting of a historic building by using an isolation system with a weak restoring force. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 148, 106836.

- Zhao, Z., Zhang, R., Wierschem, N. E., Jiang, Y., & Pan, C. (2021). Displacement mitigation-oriented design and mechanism for inerter-based isolation system. *Journal of Vibration and Control*, 27(17-18), 1991-2003.
- Zhou, Y., Chen, P., & Mosqueda, G. (2019). Analytical and numerical investigation of quasi-zero stiffness vertical isolation system. *Journal of Engineering Mechanics*, 145(6), 04019035.
- Zhou, Z., & Wei, X. (2016). Seismic Soil-Structure Interaction Analysis of Isolated Nuclear Power Plants in Frequency Domain. *Shock and Vibration*, 2016(1), 6127895.
- Zhou, Z., Wong, J., & Mahin, S. (2016). Potentiality of using vertical and three-dimensional isolation systems in nuclear structures. *Nuclear Engineering and Technology*, 48(5), 1237-1251.
- Zulfakar, M. (2021). Farklı Sürtünme Yüzeyli Sarkaç İzolatörlerin Yapı Deprem Davranışı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi*.