

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**SİSMİK İZOLASYONLU MEVCUT BİR HASTANE BİNASININ DİNAMİK
DAVRANIŞININ TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Hassan AL COUMA

**HAZİRAN-2025
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**SİSMİK İZOLASYONLU MEVCUT BİR HASTANE BİNASININ DİNAMİK
DAVRANIŞININ TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE
BELİRLENMESİ**

**DETERMINATION OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF AN EXISTING
SEISMIC ISOLATED HOSPITAL BUILDING ACCORDING TO THE
TURKISH BUILDING EARTHQUAKE REGULATION 2018**

YÜKSEK LİSANS

Hassan AL COUMA

**HAZİRAN-2025
GÜMÜŞHANE**



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**SİSMİK İZOLASYONLU MEVCUT BİR HASTANE BİNASININ DİNAMİK
DAVRANIŞININ TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE
BELİRLENMESİ**

**DETERMINATION OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF AN EXISTING
SEISMIC ISOLATED HOSPITAL BUILDING ACCORDING TO THE
TURKISH BUILDING EARTHQUAKE REGULATION 2018**

YÜKSEK LİSANS

Hassan AL COUMA

Danışman: Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR

HAZİRAN-2025

GÜMÜŞHANE



BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Sismik İzolasyonlu Mevcut Bir Hastane Binasının Dinamik Davranışının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e Göre Belirlenmesi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

19/06/2025

.....
Hassan Al COUMA

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı programında gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasında, yakın bir zamanda yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre, İstanbul ilinde inşaatı bitmiş olan Haseki Eğitim Devlet Hastanesinin deprem performansı üzerine farklı tipte izolatör kullanımının etkisi incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitim programı boyunca, bilgi, tecrübe ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, güler yüzlülüğü ve içtenliği ile her zaman bana vakit ayıran, yüksek lisans tezimi tamamlamam noktasında en büyük desteği sağlayan Sayın hocam **Prof. Dr. Özlem ÇAVDAR'a** sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca hiçbir anlamda maddi ve manevi benden desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve tez çalışmam esnasında beni her zaman motive eden canım **aileme** çok teşekkür ederim.

Hassan AL COUMA
GÜMÜŞHANE –2025

ÖZET

Depreme dayanıklı yapı taşıyıcı sistemlerinin yeterli dayanım, rijitlik ve süneklikte, uygun yapı malzemeleri ve tekniklerle emniyetli ve ekonomik olarak tasarımı şeklinde geliştirilen ve sistemlere dinamik elemanların eklenmesi ile hayata geçirilen sismik taban izolatörleri depremlere karşı son derece etkin sistemler olarak bu alanda öne çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda önemli gelişmeler gösteren yapısal kontrol sistemleri Türkiye’de hastane binalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada İstanbul ilinde Haseki Eğitim ve Araştırma Devlet Hastanesi örnek yapı olarak seçilmiştir. Bina yerinde sismik yalıtımlı olarak inşa edilmiş ve uygulanmıştır. Kullanılan taban sismik izolatörleri olarak sürtünmeli sarkaç ve kurşun çekirdekli kauçuk tipi binada birlikte uygulanmıştır. En büyük deprem ve tasarım deprem seviyeleri altında “Kesintisiz Kullanım” performans seviyesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Sismik izolatörün bütünlüğü, periyot katsayıları ve karakteristik dayanım oranı dikkate alınarak doğrulanmıştır. Bina taban yalıtımında her kolon altına birer tane olmak üzere toplamda 248 adet sismik izolatör kullanılmıştır. Bu çalışmada, yalıtım sisteminin tasarımı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 14’te tanımlanan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında hastane binası ankastre mesnetli olarak modellenmiş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. İkinci aşamada sismik izolatörler kullanılması durumunda da zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem davranışı gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda oluşan periyot değerleri, yer değiştirmeler, kat ivmeleri, kesme kuvvetleri ve maksimum eğilme momentleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda deprem yer hareketine karşı dinamik tepkilerin azaltılarak yapı performansının iyileştirilmesinde deprem yalıtımının son derece etkin bir yöntem olduğu sonuçlarla gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ankastre mesnet, Deprem, Kauçuk sismik izolatör, Sürtünmeli sarkaç izolatör, Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz.

SUMMARY

Seismic base isolators, which are developed as a safe and economical design of earthquake-resistant structural systems with sufficient strength, rigidity and ductility, with appropriate building materials and techniques, and implemented by adding dynamic elements to the systems, stand out in this field as highly effective systems against earthquakes. Structural control systems, which have shown significant developments in recent years in particular, have begun to be widely used in hospital buildings in Turkey.

In this study, Haseki Education and Research State Hospital in Istanbul province was selected as a sample building. The building was constructed and implemented with on-site seismic isolation. The base seismic isolators used were friction pendulum and lead rubber bearing type were applied together in the building. It was designed to provide “Uninterrupted Use” performance level under the largest earthquake and design earthquake levels. The integrity of the seismic isolator was verified by considering the period coefficients and characteristic strength ratio. A total of 248 seismic isolators were used in the building base isolation, one under each column. The design of the insulation system was carried out using the Effective Earthquake Load Method defined in Section 14 of the Turkish Building Earthquake Code. Within the scope of the study, the hospital building was modeled as a fixed support and its nonlinear time-domain behavior was examined. In the second stage, nonlinear time-domain earthquake behavior was also realized in the case of using seismic isolators. As a result of the analyses, the period values, displacements, floor accelerations, shear forces and maximum bending moments were comparatively examined. As a result of the analysis performed, it has been shown that earthquake isolation is a highly effective method in improving building performance by reducing dynamic responses to earthquake ground motion.

Keywords: Fixed support, Earthquake, Lead rubber seismic isolator, Friction pendulum isolator, Nonlinear time history.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1.Literatür konu ile ilgili yapılan çalışma	2
1.2. Tezin Amacı ve kapsamı.....	13
1.3. Sismik Taban İzolatörü	14
1.3.1. Sismik İzolasyon Tabakasının Farklı Uygulamaları	16
1.3.2. Sismik İzolasyon Sisteminin Temel İlkesi	18
1.3.3. Sismik İzolasyonlu Yapıların Avantajları ve Dezavantajları.....	21
1.3.4. Sismik Yalıtımın Kullanım Alanları	22
1.4. Sismik İzolatör Türleri	23
1.4.1. Elastomer Esaslı Sistemi	23
1.4.2. Elastomer Esaslı Sistemi	25
1.4.3. Sürtünmeli Sarkaç Sistemi (FPS).....	27
1.4.4. Sönümleyici Damperler	30
1.5. Dünyada Sismik Taban İzolasyonu Uygulamaları.....	32
1.5.1. Yeni Zelanda	32
1.5.2. Amerika Birleşik Devletleri	34
1.5.3. Japonya.....	36
1.5.4. Türkiye’deki Sismik Taban İzolasyonu Uygulamaları	38
1.6. İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri.....	44
1.6.1. Kauçuk Esaslı İzolatörler	44
1.7. Analiz Yöntemleri.....	45

1.8. Yalıtım Birimlerinin Temel Özellikleri	48
1.8.1. Yalıtım Sisteminin Kararlılığı.....	48
1.8.2. Yalıtım Sistemi Hesap Esasları	49
1.8.2.1. Elastomer Yalıtım Birimler	49
1.8.2.1.1. Tasarımda Kullanılacak Alt ve Üst Sınır Değerleri	49
1.8.2.1.2. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim tabll değiştirme Sınırları	50
1.8.2.1.3. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı.....	50
1.8.2.1.4. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Bağlantıları.....	51
2. YAPILAN ÇALIŞMA LAR	52
2.1. Modellenen Yapı Özellikleri	52
2.1.1. Depremsellik Durumu	60
2.1.2. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı	61
2.2. Taban Yalıtımı Özellikleri	61
2.3. Yapısal Analiz Aşamaları	63
2.3.1. Sürtünmeli Sarkaç Tipi izolatör (FPS).....	65
2.3.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Tipi İzolatör (LRB).....	64
2.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi	65
2.4.1. Seçilen Kayıtlara Ait İvme – Zaman Grafikleri ve Tepki Spektrumları.....	70
2.5. İzolatörlerin Modellenmesi	76
2.5.1. İzolatör Maksimum Deplasmanlarının Belirlenmesi	77
3.BULGULAR VE İRDELEMELER.....	80
3.1. Ankastre Mesnetli Binanın Tasarımı	80
3.1.1. Ankastre Mesnetli Binanın Modal Analiz Sonuçları	81
3.1.2. Ankastre Mesnetli Bina İçin Kat İvmeleri Grafikleri	81
3.1.3. Ankastre Mesnetli Taban Kesme kuvvetlei.....	83
3.1.4. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Kesme Kuvvetleri Grafikleri.....	83
3.1.5. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Momentleri Grafikleri	84
3.1.6. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Eksenel Kuvvetleri Grafikleri	85
3.1.7. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Yer değiştirme	86
3.2. Sismik İzolasyonlu Binanın Tasarımı	91
3.2.1. DD-2 Depremi İçin Periyot Değerleri.....	91
3.2.2. DD-1 Depremi İçin Periyot Değerleri.....	92

3.2.3. Sismik İzolasyonlu Binanın Depremi Kat İvmeleri, Kat Kesme Kuvvetleri, Kat Momentleri, Kat Eksenel Kuvvetlerinin ve kat yer değiştirmeleri Grafikleri	93
3.2.4. Sismik İzolasyonlu Kat Yerdeğiştirme Grafikleri	98
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	107
5. KAYNAKLAR	109



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Beton basınç dayanımları ve uygulama alanları.....	55
Tablo 2. Donatı mekanik özellikleri.....	55
Tablo 3. Birim ağırlıklar	56
Tablo 4. Zemin özellikleri.....	56
Tablo 5. Sabit yükleri.....	57
Tablo 6. Kolon ablikasyonları	58
Tablo 7. DD-2 yapısal analizlerde kullanılan yer hareketleri ve özellikleri	68
Tablo 8. DD-1 yapısal analizlerde kullanılan yer hareketleri ve özellikleri	69
Tablo 9. Ankastre mesnetli yapı için periyot değerleri	81
Tablo10 . Ankastre mesnetli modelde taban kesme kuvvetleri.....	83
Tablo11. DD-2 depremi için periyot değerleri	91
Tablo12. DD-1 depremi için periyot değerleri.....	92
Tablo 13. Sismik izolasyon DD-2 taban kesme kuvvetleri	94
Tablo 14. Sismik izolasyon DD-1 taban kesme kuvvetleri.....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi taban izolatörlü kullanılmayan bina (a) ve kullanılan bina (b) arasındaki fark.....	2
Şekil 2. Yalıtımlı olmayan binaların (a) ve sismik yalıtımlı binaların (b) deprem esnasında gösterdiği performans.....	15
Şekil 3. Sismik yalıtılmış ve sismik yalıtılmamış kat ivmeleri değişimi	15
Şekil 4. Bodrum katta izolasyon uygulaması	16
Şekil 5. Kattaki izolasyon, en alt kat kauçuk izolasyon (a), ara katta kauçuk izolasyon uygulaması	17
Şekil 6. Üst katlarda izolasyon uygulaması	18
Şekil 7. Birbirine bağlayan köprü üstü izolasyon	18
Şekil 8. Ankastre mesnetli (a) ve sismik izolatörlü binanın (b) yanal sismik yükleme altındaki davranışı	19
Şekil 9. Deprem esnasında rijit(a) ve esnek(b) bir yapının özellikleri ve davranışı	20
Şekil 10. Temel üst kotunda yerleştirilen izolatörler (URL-2)	21
Şekil 11. Kauçuk izolatörü (HDRB) (URL-3)	24
Şekil 12. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (URL-4)	24
Şekil 13. Kayıcı mesnetli sistemi	26
Şekil 14. Kayıcı izolatör örneği	27
Şekil 15. Sürtünmeli sarkaç sistemi kesiti.	27
Şekil 16. Sürtünme sarkaç sisteminin ana ilkesi.	28
Şekil 17. Atatürk havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç sistemi.....	29
Şekil 18. Viskoz damper bileşenlerinin şematik detaylandırması.	30
Şekil 19. Kullanılan viskoz damper örneği	31
Şekil 20. Sismik izolasyonlu u şekilli damper örneği	31
Şekil 21. İzolatörle kullanılan kurşun ve helisel şekilli damper örneği	32
Şekil 22. William Clayton binası (a) kullanılan kurşun kauçuk mesnet (b)	33
Şekil 23. Te papa müzesi, yeni zellanda	33
Şekil 24. Trafik yönetim merkezi, Kearney mesa, kaliforniya	36
Şekil 25. Acil iletişim merkezi, san diego	35
Şekil 26. USC tıp merkezi, Los Angeles	36

Şekil 27. USC tıp merkezi sismik taban izolasyon yerleşimi	37
Şekil 28. Posta ve telekomünikasyon bakanlığı bilgisayar merkezi	38
Şekil 29. Bolu viyadükleri.....	39
Şekil 30. Atatürk havalimanı dışardan görüntüsü	40
Şekil 31. Antalya havalimanı	40
Şekil 32. Tarabya oteli	41
Şekil 33. Erzurum Devlet Hastanesi	42
Şekil 34. Erzurum devlet hastanesi sismik izolasyon yerleşim planı.....	42
Şekil 35. Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir Hastanesi (URL-5).....	43
Şekil 36. Prof. Dr. Süleyman Yalçın Şehir Hastanesi (URL-6)	43
Şekil 37. Haseki devlet hastanesi bitmiş hali üç boyutlu görünüşü	53
Şekil 38. 3D sonlu eleman modeli	53
Şekil 39. Hastane binasının kat kalıp planı (cm)	54
Şekil 40. FPS sismik izolatör noktaları	61
Şekil 41. LRB sismik izolatör noktaları.....	62
Şekil 42. Basit ölçeklendirme sonucu oluşan spektrumlar	66
Şekil 43. Sismik yalıtımlı bina için ölçülendirilmiş yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketleri düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları	67
Şekil 44. RSN 802 ivme zaman grafiği.....	70
Şekil 45. RSN 1165 ivme zaman grafiği.....	70
Şekil 46. RSN 1184 ivme zaman grafiği.....	71
Şekil 47. RSN 1511 ivme zaman grafiği.....	71
Şekil 48. RSN 1521 ivme zaman grafiği.....	72
Şekil 49. RSN 4864 ivme zaman grafiği.....	72
Şekil 50. RSN 4866 ivme zaman grafiği.....	73
Şekil 51. RSN 4898 ivme zaman grafiği.....	73
Şekil 52. RSN 5818 ivme zaman grafiği.....	74
Şekil 53. RSN 6961 ivme zaman grafiği.....	74
Şekil 54. RSN 8124 ivme zaman grafiği.....	75
Şekil 55. FPS ve LRB tip izolatörlerde p-delta momentlerinin dağılımı.....	75
Şekil 56. FPS tipi izolatörlerin modellenmesi	76
Şekil 57.LRB tipi izolatörlerin modellenmesi	77
Şekil 58. İzolatör izleme noktaları	77
Şekil 59. FBS tipi için izolatör deplasmanları.....	78

Şekil 60. LRB tipi için izolatör deplasmanları.....	79
Şekil 61. Ankastre mesnetli binanın sonlu eleman modeli	80
Şekil62. Ankastre mesnetli binanın tüm depremlerin ortalamaları için X,Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi.....	82
Şekil 63. Ankastre mesnetli binanın kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi	84
Şekil 64. Ankastre mesnetli binanın kat momentlerinin katlara göre değişimi	85
Şekil 65. Ankastre mesnetli binanın maksimum normal kuvvetlerini	86
Şekil 66. Ankastre mesnetli RSN802 RSN1165 RSN1184 katlara göre yer değiştirme değişim	87
Şekil 67. Ankastre mesnetli, RSN1511 RSN1521 RSN4864 katlara göre yer değiştirme değişimi	88
Şekil 68. Ankastre mesnetli RSN4866 RSN4894 RSN5818 katlara göre yer değiştirme değişimi	89
Şekil 69. Ankastre mesnetli rsn6961 rsn8124 katlara göre yer değiştirme değişimi	90
Şekil 70. Sismik izolasyonlu binanın kat ivmelerinin katlara göre değişimi	93
Şekil 71. Sismik izolasyonlu kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi.....	96
Şekil 72. Sismik izolasyonlu binanın kat eğilme momentlerinin değişmesi.....	97
Şekil 73. Sismik izolasyonlu binanın kat eksenel kuvvetlerinin değişmesi.....	98
Şekil 74. Sismik izolasyonlu üst sınır durumu için (DD-2) RSN802, RSN1165 ve RSN1184 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi	99
Şekil 75. Sismik izolasyonlu üst sınır durumu için (DD-2) RSN1511, RSN1521 ve RSN4864 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi	100
Şekil 76. Sismik izolasyonlu üst sınır durumu için (DD-2) RSN4866, RSN4894 ve RSN5818 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi	101
Şekil 77. Sismik izolasyonlu üst sınır durumu için (DD-2) RSN6961 ve RSN8124 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi	102
Şekil 78. Sismik izolasyonlu alt sınır durumu için (DD-1) RSN802, RSN1165 ve RSN1184 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi	103
Şekil 79. Sismik izolasyonlu alt sınır durumu için (DD-1) RSN1511, RSN1521 ve RSN4864 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi	104
Şekil 80. Sismik izolasyonlu alt sınır durumu için (DD-1) RSN4866, RSN4894 ve RSN5818 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi	105
Şekil 81. Sismik izolasyonlu alt sınır durumu için (DD-1) RSN6961 ve RSN8124 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi	106

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B, D	: Yapının plandaki boyutları
Cb	: İzolatör sönümü
D1, D2	: İzolatör yer değiştirmesi
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DD	: İzolatörün tasarım deprem yer hareketi için yer değiştirmesi
DD-1	: Deprem yer hareketi düzeyi-1 (En büyük deprem)
DD-2	: Deprem yer hareketi düzeyi-2 (Tasarım depremi)
DM	: İzolatörün en büyük deprem yer hareketi için yer değiştirmesi
DTD	: Tasarım deprem yer hareketi düzeyinde dikkate alınan doğrultuda izolasyon sistemi etkin rijitlik merkezi
DTM	: En büyük deprem yer hareketi düzeyinde dikkate alı doğrultuda izolasyon sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme
Dy	: Etkin akma yer değiştirmesi
E	: Dışmerkezlik
E	: Elastisite modülü
F	: D yer değiştirmesine karşı gelen kuvvet
FQ, Fy	: Etkin akma dayanımı
h1, h2	: İzolatörün üst ve alt yükseklikleri
HN	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm 'ünü toplam yüksekliği (m)
I	: Bina Önem Katsayısı
K1	: Başlangıç rijitliği
K2	: İkincil rijitlik
Ke	: D yer değiştirmesine karşı gelen rijitlik

K_b	: İzolatör eşdeğer rijitliği
M_b	: İzolatör kütlesi
N	: Hareketli yük azaltma katsayısı
PGA	: En büyük yer ivmesi
PGV	: En büyük yer hızı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	: Elastik deprem yükü azaltma katsayısı
R_1, R_2	: İzolatörün üst ve alt eğrilik yarıçapları
T	: Binanın hâkim periyodu
TD	: Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için doğal titreşim periyod
TM	: En büyük yer değiştirme altında sismik izolasyonlu binanın etkin titreşim periyodu
TP	: Binanın en büyük doğal titreşim periyodu
TV	: İzolatörün Düşeydeki Doğal Titreşim Periyodu
U	: Yer değiştirme
V_b	: İzolatör uzunluğu
VD	: Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan üst yapıya etkiyen kuvvet
VM	: En büyük deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan üst yapıya etkiyen kuvvet
Y	: Hesap yapılan doğrultuda bina rijitlik merkezini en dışta bulunan izolatöre olan dik uzaklığı
β_E	: Yer değiştirme çevriminde sönmölenen enerji,
$\eta \eta_D M$	: Sönmö ölçeklendirme katsayıları
ξ	: Etkin sönmö yüzdesi
μ_1, μ_2	: İzolatörün üst ve alt sürtünme katsayıları
μ_S	: Sürtünme katsayısı

AFAD	: Afet ve acil durum yönetimi başkanlığı
DD-1	: Maksimum deprem yer hareketi
DD-2	: Tasarım deprem yer hareketi
FPS	: Sürtünmeli sarkaç sistemi
KK	: Kesintisiz kullanım performans düzeyi
KH	: Kontrollü hasar performans düzeyi
LRB	: Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör
LRDB	: Düşük sönümlü kauçuk izolatör



1. GİRİŞ

Depremler, doğal afetler arasında insan yaşamı üzerinde büyük etkiler bırakan olaylardır. Özellikle sismik aktivitenin yoğun olduğu alanlarda tarih boyunca yaşanan şiddetli depremler, ciddi can ve mal kayıplarına yol açmakta, toplumların sosyal düzenini derinden sarsmaktadır. Ayrıca bu felaketler ülke ekonomilerine de büyük zararlar verebilmektedir. Bu yüzden, depremlerin yapılar üzerindeki yıkıcı etkilerini minimize etmek, inşaat ve mühendislik alanlarında öncelikli meselelerden biri haline gelmiştir. Depremler, kaçınılmaz doğa olaylarıdır ve insanlar, bu gerçeğe güvenli bir şekilde yaşamayı öğrenmelidir. Bu nedenle, sismik olarak aktif bölgelerdeki ülkeler, depreme dayanıklı yapı tasarımlarına büyük önem vermektedir. Özellikle Türkiye gibi sismik riskin yüksek olduğu ülkelerde, son yıllarda deprem tehlikesine karşı dayanıklı hastane binaları gibi büyük yapılar inşa edilmektedir. Bu yapılar, orta veya büyük ölçekli bir deprem sonrası faaliyetlerine devam edebilmek amacıyla sismik izolasyon teknikleriyle donatılmaktadır. Türkiye, önemli fay hatlarına ev sahipliği yapan bir deprem bölgesi olduğu için, sanayi tesisleri ve fabrikalar da dahil olmak üzere önemli yapılar, aktif deprem bölgelerinde yer almaktadır. Bu sebeple, depremin toplum hayatındaki rolü ve önemi inkâr edilemez bir gerçektir. 6 Şubat 2023'teki büyük Kahramanmaraş depremi, ülkede ciddi yıkıma yol açmış, birçok binanın yıkılmasına, ağır yaralanmalara ve can kayıplarına sebep olmuştur. Hastaneler, fabrikalar, veri merkezleri gibi kritik yapılar hasar görmüş, bu durum ülkenin ekonomik ve sosyal yapısına büyük zararlar vermiştir.

Binaların tasarımında, yapısal ve yapısal olmayan bileşenlerin deprem dayanıklılığına olan katkıları giderek daha fazla anlaşılmaktadır. Özellikle günlük yaşamda kritik öneme sahip olan veri merkezleri, hastaneler gibi yapıların hem yapısal hem de yapısal olmayan unsurlarını koruyacak sismik izolasyon teknikleri, modern inşaat pratiklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de Sağlık Bakanlığı, yüksek sismik bölgelerde tasarlanan hastaneler için sismik taban izolasyonunun kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Sonuç olarak, ülkede sismik taban izolasyonunun kullanımı, özellikle hastane binalarının tasarımında önemli ölçüde artmıştır. Bu yaklaşım, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'de (TBDY-2018) de önemli bir yer tutmaktadır ve deprem dayanıklı yapı tasarımı konusunda artan farkındalığı yansıtmaktadır. Bu yönetmelik, sismik izolasyon yöntemlerinin uygulanmasını teşvik ederek, deprem riski yüksek bölgelerdeki yapıların daha güvenli hale getirilmesine önemli katkılar

sağlamaktadır. Şekil 1’de gösterildiği gibi taban izolatörlerini ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 1. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi taban izolatörlü kullanılmayan bina (a) ve kullanılan bina (b) arasındaki fark (URL-1).

1.1. Literatürde Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Pek Gökğöz (2007), çalışmalarında 6 katlı bir betonarme yapının ankastre mesnetli ve sismik izolatörlü sistemi İDECAD ve ETABS paket programları kullanılarak analiz yapılmıştır. 2007 deprem yönetmeliğine göre 1. derece deprem bölgesinde olduğu varsayılan. Ayrıca sismik izolasyon uygulamasının o günün şartlarında %40-45 arası ek bir maliyet getireceğini göstermiştir.

Tirsi (2010), sismik izole edilmiş kesme çerçeve yapılarının davranışını incelemiştir. Her kattaki diyaframın merkezinde toplanan kütleler ve izolatörlerin çift

doğrusal modeli dikkate alınarak çok serbestlik dereceli “MDOF” modeli için algoritma çözümü yazılmıştır. Algoritmayı doğrulamak için “Visual Basic” kullanılarak bir bilgisayar programı yazılmıştır ve sayısal bir örnek çözülmüştür. Sonuçlar “SAP 2000” Programı kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

İslam ve Jameel (2011), bina yapısında kurşun kauçuk yatak (LRB), yüksek sönümlü kauçuk yatak (HDRB), sürtünmeli sarkaç sistemlerini (FPS) araştırmışlardır. Bu çalışmada ayrıca izolasyon sistemi, özellikleri, çeşitli cihaz kategorilerinin özellikleri, tanınması ve bunun bina yapıları üzerindeki etkisi ile ilgili ayrıntılı bilgiler ele alınmıştır. Yer değiştirme ve akma, izolasyon cihazları seviyesinde yoğunlaşır ve üst yapı, rijit bir gövdeye çok benzer şekilde davranır. Bu araştırmada sismik izolasyon sistemlerinin sıralı. Geliştirilmesine ilişkin kapsamlı bir revizyon yapılmıştır. Düşük ve orta dereceli sismik bölgelerdeki çeşitli saha şartlarına yönelik kurulum tekniği konusunda da titiz bir eğitim çalışması gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, izolasyon sisteminin çok yenilikçi olduğunu ve binalarda sismik yanal kuvvetlere dayanmaya uygun olduğunu ve aynı zamanda güvenliğe de katkıda bulunduğunu göstermişlerdir.

Barom (2013), Bu araştırmada, sürtünmeli izolasyon sistemine viskoz elastik sürtünme sönümleyicileri eklenerek sismik olarak izole edilen çok katlı binaların davranışı incelenmiştir. Dünyada yaygın olarak kullanılan kaymalı yalıtım yöntemleri ve bazı sönümleme türlerinin yanı sıra kauçuk yalıtım yöntemlerinin özellikleri belirlenmiştir. Araştırmada benimsenen yalıtım ve sönümleme tiplerine (LRB, FSB, FD) ait matematiksel model sunuldu ve her biri için modelleme parametreleri ve modellemede kullanılan bazı yazılımlar hakkında bilgi edinildi. Ayrıca Kurşun çekirdekli kauçuk bariyerler (LRB) ve düz kaymalı bariyerlerden (FSB) oluşan hibrit yalıtım sistemi kullanan izole binaların tepkisi de incelenmiş ve rol, geçişler, kesme kuvveti dağılımı ve bina yüksekliği açısından geleneksel temelli binaların tepkisiyle karşılaştırılmıştır. İncelenen yapıların bir kısmı artan kat yükseklikleriyle (8 -12 - 16 - 20) kat doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılarak, SAP2000 v15 programı yardımıyla ve El-CENTRO deprem zaman kaydı kullanılarak sismik analiz yapılmıştır. Sonuçlar olarak sismik izolasyonun yapının titreşim rolünün artmasına, izolasyon sisteminin üstündeki yapısal sistemin yüksek rijitliğe sahip olması durumunda ise sismik kuvvetin önemli ölçüde azalmasına yol açtığını göstermiştir. Yapının esnekliği arttıkça ve yüksekliği arttıkça yalıtımın etkinliği azalmakta, yüksek katlı yapılarda izolasyon işe yaramamaktadır. Sismik izolasyon, izolasyonsuz bir yapıya kıyasla zemin

yer değiştirmelerini de azaltmış, ancak izolasyon sisteminin yatay esnekliğinin daha fazla olması nedeniyle yer değiştirmeleri artırmıştır.

Güler (2013), yapılan araştırma dünya genelinde ve Türkiye özelinde sismik izolasyon teknolojisinin kullanımını ve bu teknolojinin, özellikle uzak kaynaklı ve yüksek frekanslı depremlere karşı sağladığı korumanın etkinliğini detaylı bir şekilde incelemiştir. Sismik izolasyon teknolojisi, yapıların temeli ile kolonları arasına yerleştirilen düşük rijitlikteki izolatörler sayesinde yapıların doğal periyotlarını uzatarak deprem kuvvetlerini azaltmaya yönelik bir yöntemdir. Bu yöntem, uzak kaynaklı depremler için oldukça faydalı olsa da yakın kaynaklı depremler sismik izolasyonlu yapılar için ciddi riskler taşımakta ve büyük izolatör deplasmanlarına hatta hasarlarına neden olabilmektedir. Bu soruna çözüm olarak, ek sönümleyici elemanların kullanılması önerilmiştir. Literatürde, lineer viskoz sönümleyicilerin yakın depremler sırasında izolatör deplasmanlarını ne ölçüde kontrol edebildiği araştırılmıştır. Bu sönümleyicilerin, izolatör deplasmanlarını azaltma ve yapısal performansı artırma kapasiteleri, lineer viskoz sönümleyicilerle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çeşitli tarihsel ve sentetik deprem kayıtlarını kullanan analizler neticesinde, incelenen sismik izolasyonlu yapı modeli üzerinde sıvı viskoz sönümleyicilerin ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu araştırma, sismik izolasyon teknolojisine dair bilgi birikimine katkıda bulunmakta ve deprem mühendisliği alanında yenilikçi çözümler arayışına önemli bir perspektif sunmaktadır.

Constantinou (2014), taban izolasyonu, pasif enerji dağıtımı ve aktif kontrol, yapıların çevresel yükler altında korunması için üç yenilikçi teknolojiyi temsil etmektedir. Bu teknolojiler, yeni yapıların tasarımında veya mevcut yapıların rüzgar, deprem ve diğer dış yüklere karşı güçlendirilmesinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Japonya, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nden önde gelen araştırmacıların katkılarıyla hazırlanan bu kitap, bu heyecan verici ve hızla büyüyen alandaki güncel araştırmalar ve dünya çapındaki gelişmelere dengeli bir bakış açısı sunmaktadır. Taban izolasyon sistemlerinin ve pasif ve aktif kontrol cihazlarının inşaat mühendisliği yapılarına uygulanmasıyla ilgili temel prensiplerin yanı sıra pratik tasarım ve uygulama konuları da özenle ele alınmaktadır. Yapısal uygulama örnekleri sunulmakta ve kapsamlı bir şekilde tartışılmaktadır.

Kök (2014), sismik izolasyon sistemlerinin mimari tasarım yönünden ele alınışını ve bu sistemlerin diğer tasarım elementleriyle olan ilişkilerini ele almaktadır. Türkiye'de sismik izolasyon kullanılarak inşa edilmiş 11 farklı yapının ayrıntılı analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda, mimari tasarımda izolatrlerden beklenen performans hedefleri

tanımlanmış, izolasyon sistemine sahip yapıların maliyet, süreç ve tasarım açılarından değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sismik izolasyonlu binaların tasarım sürecinde merdivenler, asansörler, cephe tasarımları, binanın çevresel düzenlemeleri ve tesisat bağlantıları gibi faktörler, mimari açıdan detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışma, sismik izolasyon sistemlerinin mimari tasarıma olan etkisini derinlemesine irdeleyerek, bu alanda bilgi birikimine önemli katkılar sunmuştur ve mimari tasarım sürecinde sismik izolasyon sistemlerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Gazi (2015), çalışmasında sismik izolatörlerin mekanik özelliklerindeki belirsizliklerin, sismik izolasyon sistemine sahip binaların dinamik tepkilerini nasıl etkileyebileceğini detaylı bir şekilde incelemiştir. Bu çalışma, izolatörlerin parametrelerinde meydana gelebilecek değişimlerin, binaların hem temel hem de üst yapı dinamik tepkilerine etkilerini derinlemesine analiz etmiştir. Araştırma, iki temel kısımdan oluşmaktadır ve her bir kısım farklı bir izolasyon sistemine odaklanmıştır. İlk kısımda, iki temel referans izolasyon sistemine dayanarak, 30,000 farklı izolasyon sistemi Monte Carlo simülasyonları aracılığıyla oluşturulmuş ve bu sistemler, üç katlı betonarme ve çelik çapraz elemanlı yapılarla entegre edilmiştir. Bu yapılar daha sonra, 54 farklı tarihi deprem kaydına maruz bırakılarak, dinamik analizler yapılmıştır. Bu kısımda, 60,000 farklı izolasyon sistemine sahip yapılar, sentetik yakın-fay deprem hareketlerine maruz bırakılarak yapısal tepkileri incelenmiştir.

Hasan (2016), 20 katlı bir bina doğrusal olmayan dinamik analiz kullanılarak ve Sap 2000 programı yardım ile analiz yapılmıştır. Sonuçlar, yapının kat seviyesinde hibrit yalıtım ve sönümleme sistemi ile izole edilmiş döner sürtünmeli sarkaç izolatör kullanılmasının, kat yer değiştirmelerini ve yükseklik arttıkça oluşan kaymaları azaltma açısından yapının performansını iyileştirdiğini, ancak yapının esnekliğindeki artışla birlikte taban kesme dayanımında da artışa yol açtığı için taban kesme dayanımı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

İsmail (2017), sismik taban izolasyonlu yapılar, ikincil sistemleri ve iç ekipmanlarıyla birlikte depremlerin zararlı etkilerinden korumak için giderek artan bir popülerlikle kullanılmaktadır. Bu makale, yıkıcı sismik olaylara karşı bu tür popüler koruma stratejisini üç adımda ele almaktadır: temel kavramlarını vurgulamak; gelişim geçmişini kısaca gözden geçirmek ve yakın aralıklı asimetrik binalara sismik izolasyonun zorlu bir uygulama örneğini son izolatörünü kullanarak vermek. Bu makale, iki tamamlayıcı makalenin ilkidir. Öncelikle sismik izolasyon kavramını,

geliştirme geçmişini tanıtmakta ve mevcut (en yaygın kullanılan) sismik izolasyon sistemlerini karşılaştırarak avantajlarını ve dezavantajlarını vurgulamaktadır. Sonra, sismik izolasyon sistemlerinin (sismik tehlikelere karşı) (ekonomik) yüksek koruma seviyelerine ulaşmak ve aynı anda ortaya çıkabilecek dezavantajları veya yan etkileri en aza indirmek için sürekli iyileştirilmesi ihtiyacını motive etmektedir.

Davas (2018), sismik izolasyon ve özellikle yarı-aktif sönümleme sistemlerinin deprem sırasında binaların korunmasındaki rolünü, etkinliğini ve güvenilirliğini detaylı bir şekilde incelemiştir. Sismik izolasyon, deprem sırasında binaları korumak amacıyla esnek izolatörler kullanarak etkin deprem kuvvetlerini azaltan bir pasif yapısal kontrol sistemidir. Ancak fay hattına yakın bölgelerdeki depremlerde, izolasyon sistemlerinin yüksek taban deplasmanlarını kontrol altına almak için ek sönümlemeye ihtiyacı vardır. Bu durumda devreye giren yarı-aktif sönümleyiciler, kat ivmelerini minimize etmek ve yapısal istikrarı sağlamak için tasarlanmıştır. Yarı-aktif sönümleyiciler, yapıya enerji aktarmayan ve minimum enerjiyle çalışan cihazlardır. Bu araştırma, yarı-aktif izolasyon sistemlerinin sismik performansının, yarı-aktif cihazların ve izolatörlerin mekanik özelliklerindeki değişkenliklere nasıl tepki verebileceğini analiz etmiştir. Gerçekçi bir değerlendirme yapabilmek için, sadece deprem parametrelerindeki belirsizlikler değil, aynı zamanda izolasyon sistemlerindeki belirsizlikler de göz önünde bulundurulmuştur. Araştırma kapsamında, 3 ve 9 katlı prototip. Monte-Carlo simülasyon yöntemiyle yapılan olasılıksal analizler, binaların başarısızlık olasılıklarını ve güvenilirliklerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Bu çalışma, yarı-aktif sismik izolasyon sistemlerinin, özellikle yakın fay depremlerinde yapısal bütünlüğü ve titreşime duyarlı ekipmanları korumadaki etkinliğini ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Dinamik analizlerinin yapılmasını mümkün kılmıştır. Bu araştırma, sismik izolasyonlu yapıların tasarımında ve güvenilirlik değerlendirmesinde önemli bir referans kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır.

Beha (2019), çalışmasında 15 cm çapında ve 12,8 cm yüksekliğindeki taban sismik izolatör tipinin High Damping Rubber Bearing (HDRB) minyatür modelinin gelişmiş yapı programı (ABAQUS) kullanılarak analitik bir çalışmasını yürütmek ve aynı boyutlarda doğal kauçuk ve bazı kimyasal katkı maddelerinden yerel olarak üretilen ve 8 mm kalınlığındaki kauçuk levhalarla 2 mm kalınlığındaki çelik levhaların dönüşümlü olarak oluşturulmasıyla oluşturulan taban sismik izolatörün minyatür modeli üzerinde deprem yükünü simüle eden pratik yükleme ve boşaltma deneyleri yürütmektedir. Ayrıca yatay ve düşey sertlik, kesme modülü, sönüm değerleri ve gerilme değerleri de bulunmuştur. Söndürüldü ve değerler bunlardı yüksek mukavemetli kauçuk

destek için deneysel enerji dağılım değerleri de dahil olmak üzere deformasyonlar ve seçimler analitik değerlere kıyasla mantıksaldır. Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılmasından sonra, gerilmeler ve deformasyonlardaki fark Deneysel sonuçlarla analitik sonuçlar arasındaki farklılığın çeşitli nedenlerle açıklanması nedeniyle kabul görmüş ve 26'ye ulaşılmıştır. Ölçümlerin güvenilir olması nedeniyle, okuma hataları ve basınç göstergesinin yanlışlığı (insan ve laboratuvar hataları) gibi Deneysel sonuçlardan yola çıkarak, yalıtım bileşenlerini yerel olarak kauçuk bileşiğinden üretme olanağını elde etmiştir.

Gesualdi vd. (2019), yaptıkları araştırmada, özellikle sismik izolasyonun binaların yapısal performansına olan etkisini derinlemesine incelemiştir. Araştırmada, Maksimum İzolatör Deplasmanı (MİD) değerlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi için, deprem kayıtlarının dinamik analiz yöntemleriyle ölçeklendirilmesi, deprem etki açılarının ve yapının düzensizliklerinin bu ölçeklemeye olan etkileri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Çalışmanın başlangıç aşamasında, ölçeklendirme metodolojisindeki değişken faktörlerin ölçek katsayısına etkileri araştırılmış ve sonrasında çift yönlü dinamik analizler kullanılarak MİD değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Araştırmada Ayrıca deprem kayıtlarının farklı etki açıları için ölçek katsayılarındaki muhtemel değişimler ve bu değişimlerin izolatörlerin davranışına olan etkileri belirlenmiştir. Araştırmanın son bölümünde, kütle dış merkezliği olan bir üst yapı modeli üzerinde, dış merkezlik oranlarının izolatör deplasmanlarına olan etkisi detaylıca incelenmiştir. Bu analizler, çeşitli kütle dış merkezlik oranlarına, karakteristik dayanım oranlarına (Q/W) ve izolasyon periyotlarına (T_{iso}) sahip farklı üst yapı modelleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, yönetmeliklerde tanımlanan eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan değerlerle karşılaştırılarak, basitleştirilmiş hesaplama yönteminin dış merkezlik oranlarına göre önerdiği MİD artış miktarının doğruluğu test edilmiştir. Bu çalışmada, sismik izolatör olarak kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler kullanılmış ve bu izolatörlerin histeritik davranışlarını maddelendirmek için, kurşun çekirdeğindeki sıcaklık değişimlerine bağlı olarak kuvvet-deplasman ilişkisinde azalma gösteren bir matematiksel model tercih edilmiştir. Bu araştırma, sismik izolasyon uygulanan yapıların tasarımında daha güvenli ve etkin yöntemlerin kullanılmasına katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Hilmi (2019), kurşun kauçuk yatağın (LRB) doğrusal olmayan tepkisi üzerindeki etkinliği gerçek yer hareketlerine maruz kalan çelik moment dirençli çerçeveler ile incelemiştir. 12 katlı, katta düzenli ve düzensiz çelik çerçeveler LRB ile yükseltmeler yerel ve küresel olarak değerlendirilerek incelenmiştir. Deformasyonlar LRB, üç temel

parametre dikkate alınarak modellenmiştir. İzolasyon süresi, etkili sönüm oranı ve sertlik oranını dikkate almıştır. Taban izoleli çerçevelerin iki boyutlu modeli oluşturulmuş ve bir dizi farklı depremlere göre zaman tanım alanı analizleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, 12 katlı çerçevelerin sismik tepkisi düzensizliklerden önemli ölçüde etkilenmektedir.

Severcan (2019), bu çalışmada sismik izolatör kullanımının bina kat adedine bağlı olarak yapısal davranışa ve maliyete olan etkisi araştırılmıştır. Kat adedinin etkisini belirlemek üzere 5, 10 ve 15 katlı binalar tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörler yerleştirilerek modellenmiştir. Sonuçlara göre 5 ve 10 katlı binalar çok iyi performans ettiği fakat 15 katlı bina tek yüzeyi sürtünmeli sarkaç izolatörü iyi olmadığını görülmüştür.

Nakamura (2019), binaları depreme karşı dayanıklı hale getirebilen ve Japonya'da son otuz yılda popüler hale gelen binaların sismik izolasyon ve tepki kontrol yöntemleri gözden geçirilmektedir. Sismik izolasyon, üst yapının altına izolatörler ve enerji emici cihazlar yerleştirilerek bir binayı büyük depremlerden koruma yöntemidir. Sismik izolasyon ve tepki kontrol yöntemlerinin etkileri sarsma masası testleri, yapısal sağlık izleme ve deprem tepki analizleri ile doğrulandı. Japonya'da sismik izolasyonlu bina sayısı 4000'i, müdahale kontrollü bina sayısı ise 1300'ü aşıyor. Yanıt azaltma etkilerini iyileştirmek için yeni teknolojiler ve yöntemler üzerinde çalışılıyor ve uygulama giderek artıyor.

Üner (2020), tarafından gerçekleştirilen araştırma Türkiye'de, özellikle deprem riski yüksek olan İstanbul'un Kartal ilçesinde inşa edilecek bir veri merkezinin, deprem sonrası oluşabilecek hasarları en aza indirmek amacıyla sismik izolasyonlu olarak tasarlanmasını konu alıyor. Çalışma, büyük ölçekli depremlerin yapısal olmayan elemanlar üzerindeki etkilerini, binaların yapısına ve dayanıklılığına odaklanarak inceliyor. Depremlerin neden olduğu can kayıplarını ve yapısal hasarları azaltmayı hedefleyen bu çalışma, bölgenin depremselliğini ve sismik tehlikelerini detaylı bir şekilde analiz ederek, veri merkezinin tasarımını ve yapısını bu verilere göre şekillendiriyor. Araştırma, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esaslarına uygun olarak, sabit temelli ve eğri yüzeyli sürtünmeli izolasyon birimlerini içeren iki farklı bina modeli üzerinden yapısal olmayan elemanların deprem güvenliğini değerlendiriyor. Sonuç olarak, sismik izolasyonlu bina modelinin, üst yapıya aktarılan deprem etkilerini önemli ölçüde azalttığı ve bu sayede yapısal olmayan elemanlara etki eden yükleri, sabit temelli modele göre daha azalttığı tespit edilmiştir. Bu bulgular,

özellikle deprem riski yüksek bölgelerde, veri merkezleri gibi önemli yapıların tasarımında sismik izolasyon sistemlerinin kullanımının önemini vurgulamaktadır.

Yıldız (2021), sismik izolasyon, üst yapının altına izolatörler ve cihazlar yerleştirilerek deprem kaynaklı deformasyonlardan bir yapıyı koruma yöntemidir. Sismik izolasyon yönteminin amacı, temel ile üst yapı arasına enerji emici elemanlar yerleştirilerek zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerini azaltmaktır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, deprem kaynaklı binalardaki hasarları azaltmak için yeni bir izolasyon yöntemi olarak "Geoteknik Sismik İzolasyon (GSI)" sistemi önerilmiştir. Bu çalışmada, kauçuk-kum (RSM) karışımıyla oluşturulan bir izolasyon tabakası ile çok katlı bir binada deprem etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, 10 katlı betonarme bir bina sayısal olarak modellenmiştir. Binanın temelinin altına sismik enerji emici bir RSM tabakası yerleştirilmiştir. RSM tabakasının doğal zeminle temasını engellemek için geosentetik tabakalar kullanılmıştır. Geliştirilen model, değişen genliklerdeki gerçek deprem hareketleri altında test edilmiştir. Geliştirilen RSM katmanının performansı, analiz edilen bina modeli üzerindeki deprem etkilerini azaltma açısından değerlendirilmiştir. Analiz, PLAXIS 2D sonlu elemanlar programının dinamik modülü ile gerçekleştirilmiştir.

Al Asaf (2022), 4 katlı bir betonarme bina TBDY- 2018 yönetmeliğe göre kurşun çekirdek tasarlanmıştır. Yapılan analiz sonucu: binanın periyot değeri, kat ivmeleri, kat keme kuvvetleri ve kat yer değiştirmelerinin daha sağlam ve güçlü bir tasarım elde edildiğini göstermiştir.

Jangid (2022), Debriyajlı inertör sönümleyici (CID) ile desteklenen taban izolasyonlu yapının sismik yüklemeye maruz bırakılmış performansı ve optimum tasarımı incelenmiştir. CID'nin doğrusal olmayan kuvvet-deformasyon davranışı nedeniyle, durağan olmayan deprem uyarımına maruz bırakılmış izole yapının stokastik tepkisi, zamana bağlı eşdeğer doğrusallaştırma tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Durağan olmayan deprem özelliklerinin etkilerini incelemek için, izole yapının durağan olmayan tepkisi, karşılık gelen durağan tepkiyle karşılaştırılmıştır. Belirli bir izole yapısal sistem ve uyarım için, üst yapının mutlak ivmesinin ortalama karekökünün minimum değere ulaştığı optimum bir CID eylemsizliği değeri vardır. Üst yapı esnekliği, izolasyon periyodu ve izolasyon sönümlleme oranı gibi temel parametrelerin CID'nin optimum eylemsizliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gerçek depremler altında taban izolasyonlu yapıların sismik tepkisi de CID'nin doğrusal olmayan modeli kullanılarak elde edilmiştir.

Constantinou (2022), bu makale, seçilmiş sismik olarak izole edilmiş binaların hesaplanan sismik tepkisi ve çökme performansı üzerinde doğal sönümleme modellemesinin etkisini araştırmaktadır. Analiz edilen sismik olarak izole edilmiş binalar ASCE/SEI 7-16 standardının prosedürlerine göre tasarlanmıştır. Yapı, Kaliforniya'daki bir konum için özel moment dirençli çerçeveler veya özel eşmerkezli destekli çerçeveler (SCBF) ile tasarlanmış altı katlı bir çevre çerçeve binasıdır. Üç farklı sismik izolasyon sistemi dikkate alınmıştır: (i) hendek duvarları olmayan üçlü sürtünmeli sarkaç (TFP) yataklar, (ii) hendek duvarları olan TFP yataklar (hendek duvarları olan çift içbükey [DC] sürtünmeli sarkaç yataklar aslında aynı nihai davranışa sahiptir) ve (iii) hendek duvarları olmayan DC sürtünmeli sarkaç yataklar.

Francisco ve Carlos (2022), çalışmalarında Japonya, Çin, Rusya, İtalya, ABD ve Şili'deki sismik taban izolasyonuna yönelik kod gereksinimlerini analiz etmekte ve karşılaştırmaktadır. Yüksek ve orta deprem bölgelerinde (sırasıyla Los Angeles ve New MEXİCO) yer alan sismik izolasyonlu iki prototip hastane binası incelenen kodlarla analiz edilmiş ve tasarlanmıştır. Kullanılan teknoloji aynı olmasına rağmen bazı gereksinimleri arasında büyük farklılıklar olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç: Önem faktörü: İtalyan kanunu sabit tabanlı binalara eşit katsayılar önermektedir. Diğer kodlarda bu faktör bire eşittir. Sönümleme nedeniyle azalma faktörü: Japonya ve Şili için faktörler diğerlerine göre önemli ölçüde daha küçüktür. Tasarım spektrumları: Yalıtılmış binaların ilgi çekici dönemleri için Rusya ve Japonya spektrumları en yüksek ordinatlara sahipken, İtalya ve yeni ABD kodu spektrumları en düşük ordinatlara sahiptir. Yük kombinasyonları: ABD kodları için yük kombinasyonu en zorlu olanıdır.

Karaca vd. (2022), yapı elemanlarının boyutlarını değiştirmek yerine çeşitli sismik izolatörlerin kullanılması, depreme karşı yapı tasarımında giderek yaygınlaşan bir uygulamadır. Zemin özelliklerindeki farklılıklar, denetimlerdeki yetersizlikler ve bozulma hataları, yapıların depremdeki olumsuz etkileridir. Aynı şekilde, yeterince formüle edilemeyen deprem kuvvetlerinin karmaşıklığı, yapı mühendisliği çözümlerini zorlaştırmaktadır. Tüm bu faktörler, onların zeminden farklı yer değiştirmelerini sağlayan izolatörleri bir çözüm aracı olarak öne çıkan nedenler olarak kullanılabilir.

Karuk (2023), yürüttüğü araştırma, düşük çevre sıcaklıklarında çeşitli süreler boyunca maruz kalan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin (KÇKİ) performansını incelemeye odaklanmıştır. Bu çalışma, daha önce gerçekleştirilen ve büyük ölçekli bir KÇKİ'nin test sonuçlarını içeren bir araştırmadan yola çıkmıştır. Yapılan deneyler, 0°C, -10°C ve -20°C sıcaklıklarda 3, 6 ve 24 saat süreyle gerçekleştirilmiş, izolatörler %50, %100 ve %134 oranlarında kayma birim şekil değiştirmesine tabi tutulmuş ve 0.5 Hz.

frekansta döngüsel dinamik, deplasman kontrollü yüklemeler uygulanmıştır. Araştırmada, farklı koşullarda gerçekleştirilen bu testlerin sonuçlarından elde edilen KÇKİ'nin mekanik özellikleri, analitik modellerle değerlendirilmiş ve tipik bir köprü analizlerle test edilmiştir. Bu analizler sırasında, izolatörlerin maksimum yer değiştirmesi, maksimum kuvveti ve ivmelenmeleri hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmalar, izolatörlerin mekanik özelliklerindeki değişikliklerin yapısal tepkiler üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Araştırma sonuçları, çeşitli yönetmelikler tarafından önerilen katsayılar kullanılarak yapılan sınır analizleriyle karşılaştırılmış ve bu sınır analizlerinin izolatör tepkilerinin belirlenmesindeki etkinliği değerlendirilmiştir. Bu kapsamlı analiz, düşük sıcaklık koşullarında KÇKİ'nin performansının anlaşılmasında ve mühendislik uygulamalarında bu bilgilerin nasıl kullanılacağına belirlenmesinde önemli bir adım olmuştur.

Constantinou (2023), Gelişmiş nükleer santrallerde güvenlik sınıfı ekipman tasarımcıları için yenilikçi bir sismik izolasyon çözümü tanıtılmıştır. Test numunesi, bir nükleer santraldeki reaktör kabını, buhar jeneratörünü veya ısı eşanjörünü temsil edebilecek uzun, ince, karbon çelik bir kaptı: 240 inç yüksekliğinde, 60 inç dış çapında ve 1 inç duvar kalınlığındadır. Kap, çelik bir çerçeve üzerinde, ağırlık merkezine yakın orta yüksekliğinde üç radyal montajla desteklendi. Kap, 6 serbestlik dereceli deprem simülasyonu kullanılarak üç bileşenli yer hareketlerine tabi tutulmuştur. Numune, bir prototip kabın içinde bulunan sıvı ve dahili ekipmanı dolaylı olarak hesaba katmak için test için suyla dolduruldu. Üç konfigürasyon test edildi: izole edilmemiş, tek Sürtünmeli Sarkaç (SFP) yatakları kullanılarak izole edilmiş ve üçlü Sürtünmeli Sarkaç (TFP) yatakları kullanılarak izole edilmiştir. Test sonuçları, orta yükseklikte sismik izolasyonun pratik olduğunu ve yatay spektral ivmelerde önemli bir azalma sağladığını göstermektedir. Bu sonuçlar deneylerde kullanılan küresel kaymalı yataklara özgü olmayıp, orta yükseklikte, sismik olarak izole edilmiş ekipmanlara genel olarak uygulanabilir.

Kasimzade vd. (2024), Çok sayıda güçlü deprem, sismik olarak izole edilmiş binalar, yüksek gökdelenler, büyük boru hatları, tüneller, büyük depolama tankları ve uzun açıklıklı köprüler gibi önemli yapıların yakın fay ve uzun periyotlu yer hareketlerine karşı küresel kırılma eğilimini vurguladı. Sonuç olarak, uzun periyotlu sismik uyarımların bu kritik yapılar üzerindeki etkisini değerlendirmek giderek daha önemli hale geldi. Bu makale, yakın fay ve uzun periyotlu yer hareketleri olanlar da dahil olmak üzere yoğun depremlere karşı Yüksek Güvenilirlikli Yapıları (HRS) korumak

için tasarlanmış yeni nesil Yapısal Sismik İzolasyon Yöntemi (SSIM) ve Sistemini (SSIS) tanıtmaktadır. Bu yenilikçi yöntem, Sismik Taban İzolasyon Cihazlarının Geleneksel Uygulama Yöntemi'nin (CAMSBID) sınırlamalarını ve kırılğanlıklarını ele almayı amaçlamaktadır.

Yurdakul (2024), İnşaat maliyetleri her geçen gün artmaktadır. En düşük maliyetle en güvenli yapıları inşa etmenin önemi de artmaktadır. Bu amaçla, güvenlikten ödün vermeden yapıyı mümkün olan en iyi şekilde tasarlamak gerekmektedir. Binaların şiddetli deprem sırasında bile güvenli olmasını sağlamanın bir yolu, tasarım aşamasında sismik izolasyonu dahil etmektir. Yapılan çalışmalara göre, sismik izolatörler genellikle binanın en alt katında yer almaktadır. Ancak, sismik izolatörün en alt kolondaki konumu tanımlanmamıştır. Bu çalışmada, sismik izolatör, konumlandırılmasının etkinliğini karşılaştırmak için RC binanın en alt katının en alt ucuna ve en üstüne yerleştirilmiştir. Sismik izolasyon cihazı olarak yüksek sönümlü kauçuk mesnet (HDRB) kullanılmıştır. Ayrıca, izolasyon seviyesinin üzerine yerleştirilen diyaframın yokluğunun etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, kolonun üst ucunda izole edilen RC binanın kirişler için gerekli donatısı, kolonun alt ucunda izole edilen binaya kıyasla %15'ten az çıkılmıştır. Kolonun üst ucuna yerleştirilen sismik izolatörlü binanın taban kesme kuvveti, kolonun alt ucuna yerleştirilen sismik izolatörlü binaya göre %2,7 daha fazladır.

Nascimbene vd. (2025), sismik izolasyon, zemin hareketi etkilerini azaltmak için kurşun-kauçuk yataklar (LRB'ler) ve eğri yüzey kaydırıcılar (CSS'ler) gibi esnek bileşenler kullanarak yapıların deprem dayanıklılığını iyileştirmek için hayati bir stratejidir. Bu alışmada, ABD kodunda (ASCE 7-22) ve Avrupa kodunda (EC8) öngörölen sismik izolasyon tasarım metodolojilerinin kapsamlı bir karşılaştırmalı analizini sunmaktadır. Odak noktası, sismik tasarım uygulamalarındaki basitliği ve verimliliğiyle tanınan eşdeğer yanal kuvvet yöntemi, yani basitleştirilmiş doğrusal yöntemdir. Altı katlı bir elik bina, iki kod arasındaki tutarsızlıkları incelemek için bir vaka çalışması olarak incelenmiştir. Yapı, koşullu ortalama spektrumla (CMS) eşleşecek şekilde seçilen ve ölçeklenen 20 zemin hareketi kaydı kullanılarak modellendi ve doğrusal olmayan zaman tanım analizi gerçekleştirilmiştir. Yalıtım seviyesindeki yer değiştirme, taban kesme kuvvetleri, kat kesme kuvvetleri ve kat kaymaları dahil olmak üzere temel performans göstergeleri, her kodun tasarım yaklaşımının güvenilirliğini ve etkinliğini değerlendirmek için karşılaştırılmıştır.

Çavdar vd. (2025), yaptıkları çalışmalarında sismik yüklere dayanıklı ve yüksek sönümleyici kauçuk izolatörler (HDRB) için iyi sönümleme özelliklerine sahip yeni bir kauçuk karışımı hazırlamışlardır. Bu çalışmada kullanılan bileşen karışımları Doğal Kauçuk (NR), Nitril Bütadien Kauçuk (NBR), Karbon Siyahı (CB), proses yağı, Çinko Oksit (ZnO), Stearik Asit (StA), kumaron reçinesi, koruyucu madde, kükürt ve hızlandırıcılarıdır. Karışımlarla üretilen elastomerlerle dörtlü kesme bloğu numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde dinamik testler yapılmıştır. Sönümleme oranı %6 veya daha fazla olan elastomer deprem izolasyon yatakları 'çok sönümlü' olarak sınıflandırılır. Bu çalışmada, %100 kesme gerilmelerinde sönümleme oranı değerleri için %10'dan büyük değerler elde edilmiştir. Deneysel ve sayısal analizler, NBR bazlı formülasyonlarla geliştirilen bileşiklerin sönümleme değerlerinin, yüksek sönümlü izolatörler için kabul edilebilir bir seviyede olduğunu ortaya koydu. Genel olarak, sönümleme özelliklerinin %6'dan %12'ye çıktığı gözlemlendi. Bu nedenle, geliştirilen HDRB bileşiklerinin yüksek sönümleme özelliklerine sahip sismik izolatörlerin yapımında elastomer olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

He vd. (2025), sürtünmeli sarkaç izolasyon yataklarına sahip taban izolasyonlu yapılar için çok boyutlu kırılmalıya dayalı bir sismik dayanıklılık değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntemin rasyonelitesi, bu tür yataklara sahip tipik bir taban izolasyonlu yapı üzerinden incelenmiştir. Vaka, iki boyutlu performans endekslerinin seçimi, performans sınır durumlarının korelasyonu ve olasılıksal sismik talep modelindeki epistemik belirsizlik nedeniyle kırılmalı hesaplamalarında sırasıyla %5,2, %15,3 ve %19,2'ye varan farklarla tutarsızlıklar olduğunu göstermektedir. Vaka ayrıca 0,4 g'den büyük en yüksek yer ivmesinde üstün sismik izolasyon kabiliyeti sergilemektedir. Çalışmalarında en yüksek yer ivmesindeki artış sismik dayanıklılığı azaltma eğiliminde olduğu sonucuna varmışlardır.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Yapı mühendisliğinin temel gayesi emniyetli ve ekonomik binalar tasarlamaktır. Bu amaca ulaşmaya çalışırken mühendisleri en çok zorlandıkları nokta binaların deprem hareketlerine karşı güvenli bir şekilde tasarlanmaları gelmektedir. Bu tez, deprem yalıtımı kapsamında kurşun çekirdekli ve sürtünmeli sarkaç elastomer tipi yalıtım birimli; ankastre mesnetli iki yapı sisteminin deprem yer hareketi altında tepkilerini, taban kesme kuvvetleri, eğilme momentlerini, kat kesme kuvvetleri, kat yer

değiştirmelerini ve kat ivmeleri gibi genel yapı değişkenleri için karşılaştırmalı olarak incelenmesini sunmaktadır.

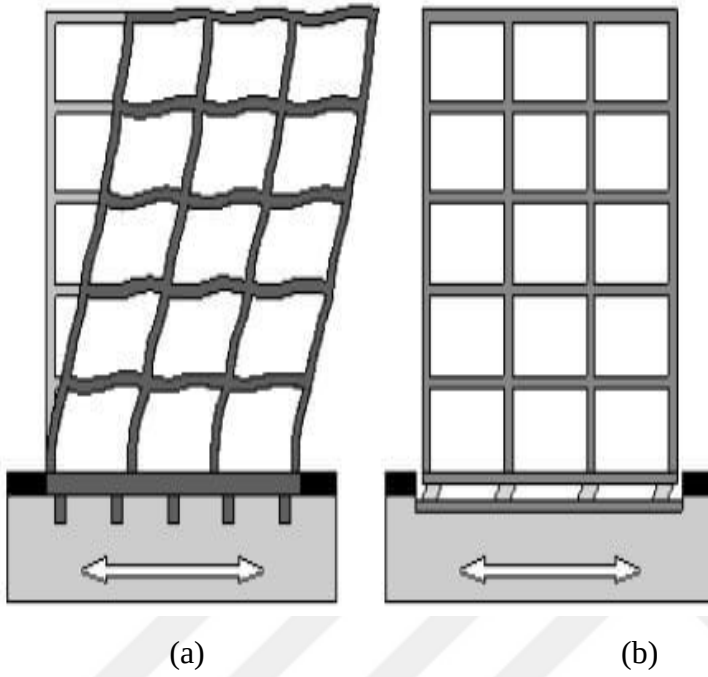
Çalışma kapsamındaki bina; İstanbul’da yapımı bitmiş olan bir hastane binası model olarak seçilmiştir. Hastane binası, DD-1 ve DD-2 deprem seviyeleri altında “Kesintisiz Kullanım” performans seviyesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Yapı 165 metre uzunluğunda, 120 metre genişliğindedir ve 14 katlıdır. Yapı oturma alanı yaklaşık 6400 m²’dir. Kolon boyutları; 40x40 cm ile 220x100 cm’ye kadar değişken boyutlarda yer almaktadır. Perde kalınlıkları; 30 ve 40 cm’dir. Döşeme sistemi kirişsiz döşemedir. Döşeme kalınlıkları 30 ve 40 cm’dir. Mesnet bölgelerinde kolon başlıkları kullanılmıştır. Hastane binasında 248 adet hem kurşun çekirdekli hem de sürtünmeli sarkaç izolatör çeşitleri kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında hastane binası ankastre mesnetli olarak modellenmiş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. İkinci aşamada sismik izolatörler kullanılması durumunda da zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem davranışı gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda oluşan periyot değerleri, yer değiştirmeler, kat ivmeleri, kesme kuvvetleri, eksenel kuvvetler ve maksimum eğilme momentleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda deprem yer hareketine karşı dinamik tepkilerin azaltılarak yapı performansının iyileştirilmesinde deprem yalıtımının son derece etkin bir yöntem olduğu sonuçlarla gösterilmiştir. Tasarımcılara farklı tipte sismik izolatör kullanımının yapı deprem davranışı üzerindeki etkisinin nasıl değiştireceği konusunda bir bakış acısı kazandırmak amaçlanmıştır.

1.3. Sismik Taban İzolatörü

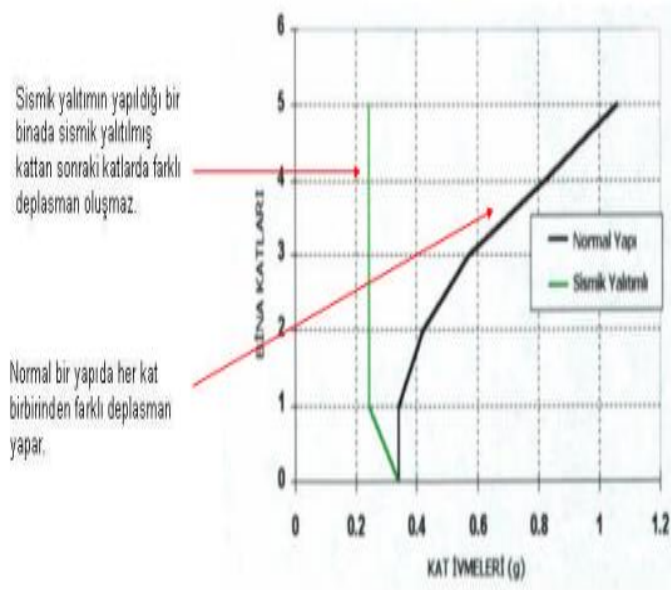
Sismik taban yalıtımı, bir yapının zeminden gelen deprem hareketlerinden izole edilmesi sürecidir. Bu süreçte yapının temeline, düşey yönde sert ancak yatayda esnek özelliklere sahip olan ve belirli bir hareket alanı sağlayan özel cihazlar yerleştirilir. Bu yöntem, deprem sırasında yapının alacağı enerjiyi azaltır ve enerjinin dönüşümünü sağlar. şekil 2-3’te gösterildiği gibi yapıya giren deprem enerjisinin bir kısmı bu cihazlar tarafından emilerek yapının sismik dayanıklılığı artırılır. Böylece, sismik taban izolasyonu sayesinde yapıya etki eden enerji miktarı azalır ve yapının depreme karşı dayanıklılığı artar.

Geleneksel depreme dayanıklı yapı tasarımlarında, yapılar genellikle yüksek süneklik, dayanıklılık ve rijitlik ile deprem kuvvetlerine direnç gösterir. Ancak sismik izolasyon teknolojisi, bu geleneksel yöntemlere bir alternatif sunar. Bu yöntemin temel ilkesi, yapının alt tarafına esnek ve enerji sönümleyici malzeme yerleştirerek yapının

periyodunu uzatmak ve zeminden yapıya aktarılan deprem kuvvetlerini azaltmaktır. Sismik izolasyonlu yapılarda, izolasyon sistemi sayesinde büyük yer değiştirmeler ve kat ivmeleri azaltılırken, üst yapı ise deprem sırasında neredeyse rijit bir biçimde davranarak göreceli kat ötelenmelerini azaltır. Bu, kat ötelenmeleri ve ivmelerini aynı anda azaltmanın etkili bir yoludur (Zhou, 2004).



Şekil 2. Yalıtımlı olmayan binaların (a) ve sismik yalıtımlı binaların (b) deprem esnasında gösterdiği performansı



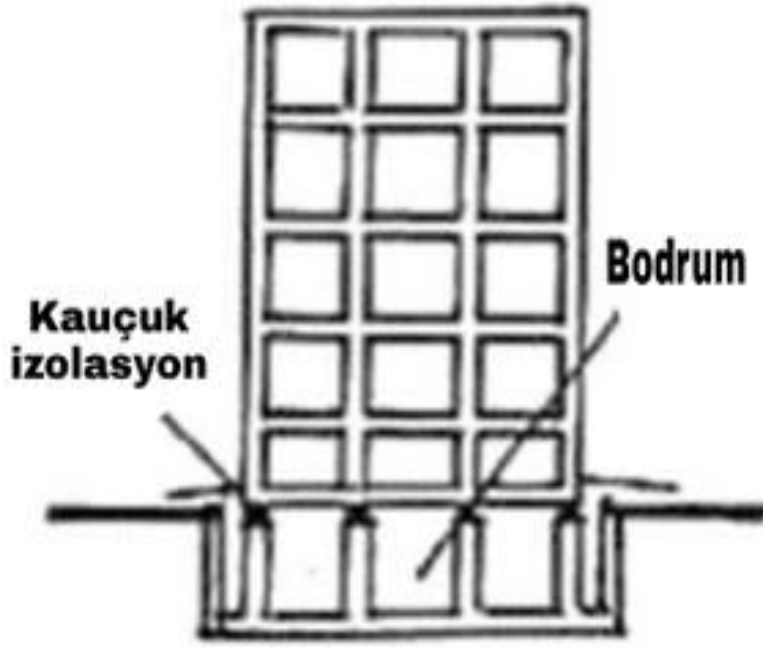
Şekil 3. Sismik yalıtılmış ve sismik yalıtılmamış binada kat ivmelerinin değişimi

1999 yılında 7.2 büyüklüğündeki Düzce depremi sırasında, fay hattına yakın konumu nedeniyle zarar gören viyadüklere, her biri üç metre çapında ve altı ton ağırlığında olan 500 adet sismik izolatör monte edilmiştir. Bu 15 milyon dolarlık yatırım sayesinde, viyadükler gelecekteki depremlerden minimum zararla kurtulacak şekilde güçlendirilmiştir. Sismik izolasyon sistemleri binalarda kullanıldığında, genellikle aşağıdaki temel özelliklere sahip olmaları beklenir:

- Yüksek Düşey Rijitlik: Bina üst yapısının ağırlığını etkin bir şekilde destekleyebilmek için.
- Düşük Yatay Rijitlik: Yapının sismik izolasyon frekansının, yapı temelinin doğal frekansından ve çoğu şiddetli depremin baskın frekansından önemli ölçüde düşük olmasını sağlamak için.
- Enerji Emme Kapasitesi: Yapısal deplasmanları kontrol altında tutmak ve olası rezonans durumlarını etkisiz hale getirebilmek için.
- Deprem Sonrası Yeniden Merkezlenme Yeteneği: Yapının deprem öncesindeki orijinal konumuna etkin bir şekilde geri dönebilmesi için.
- Deprem Dışı Yatay Yüklerde Yüksek Rijitlik: Rüzgâr gibi deprem dışı yatay yükler karşısında gerekli dayanıklılığı sağlamak için.

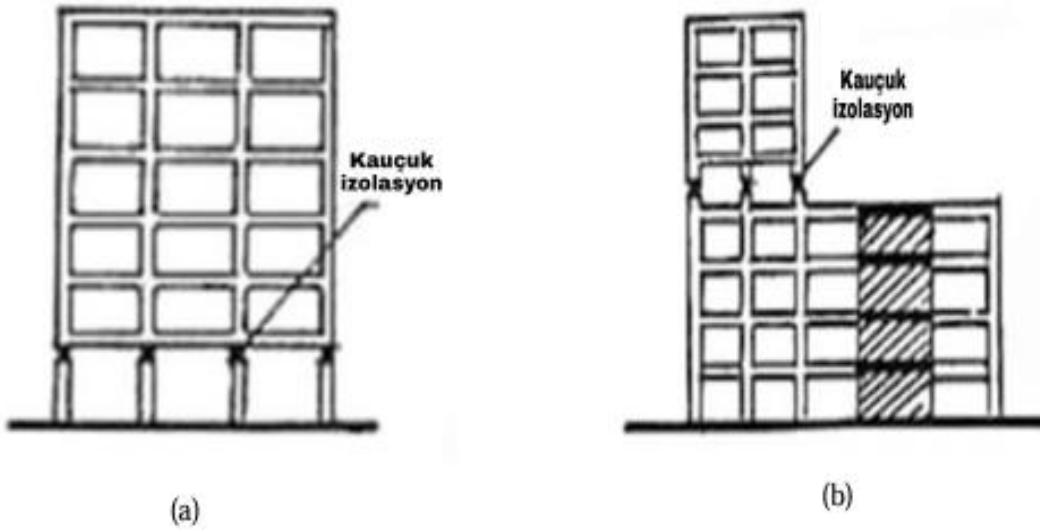
1.3.1 Sismik İzolasyon Tabakasının Farklı Uygulamaları

Sismik izolasyonun uygulandığı: İzolasyon sistemleri genellikle binanın temel kısmında konumlandırılır. Bu durumda, izolatörler genellikle bodrum katı bulunmayan yapıların temel kısımlarına monte edilir ve bu uygulama sismik izolasyon tipleri arasında en yaygın olanıdır. Bodrum katı bulunan binalarda ise, Şekil 4'te görüldüğü gibi izolasyon katmanı bodrum katındaki sütunların üst, alt veya orta bölümlerine yerleştirilebilir (Zhou, 2004).



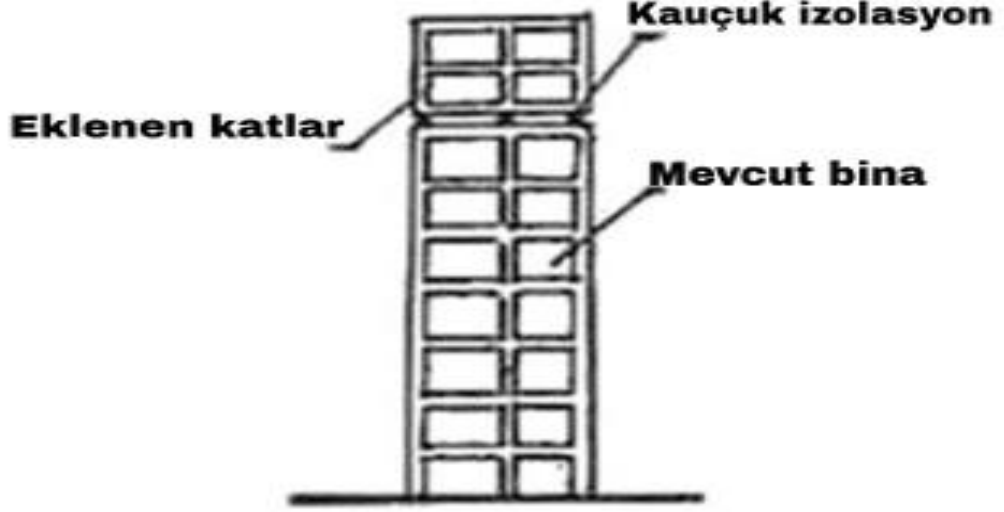
Şekil 4. Bodrum katta izolasyon uygulaması

Kattaki izolasyon: Şekil 5' te gösterildiği gibi ilk katın üst bölümünde ya da belirli bir üstyapı katında izolasyon tabakası mevcuttur.



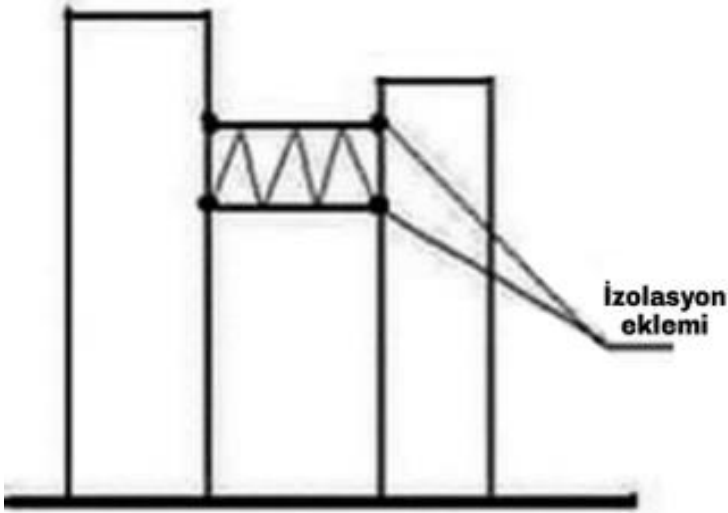
Şekil 5. Kattaki izolasyon, en alt kat kauçuk izolasyon (a), ara katta kauçuk izolasyon uygulaması

Üst izolasyon: Şekil 6’da gösterildiği gibi binanın tepesinde izolasyon tabakası yer almaktadır. Bununla birlikte sismik güçlendirme amacıyla binanın üstüne bir ya da iki kat eklemek için kullanıldığı bilinmektedir.



Şekil 6. Üst katlarda izolasyon uygulaması

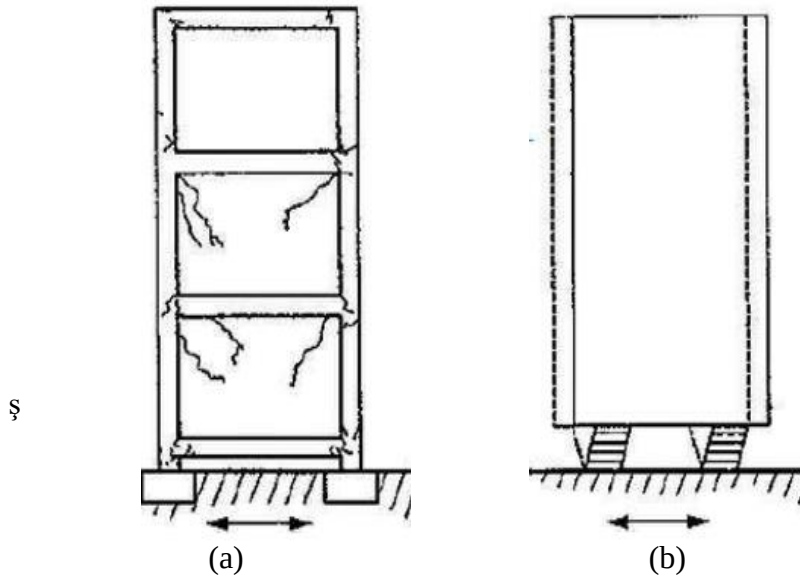
İzolasyonu birbirine bağlayan köprü üstü: Şekil 7’de gösterildiği gibi birbirine üst köprü ile bağlanan binaların çeşitli model biçimlerini ayırabilmek amacıyla binalar ve üst köprü arasında yer alan bağlantı derzlerinde yer almaktadır.



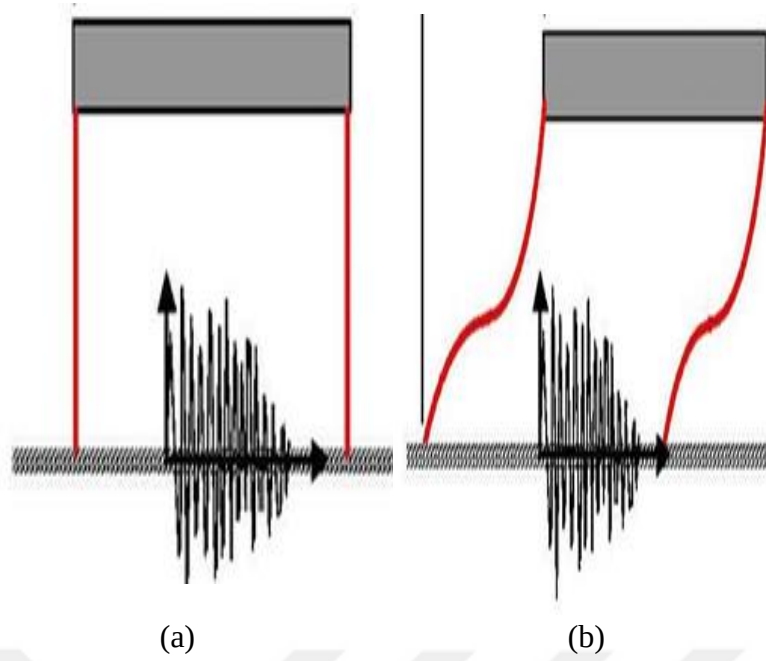
Şekil 7. Birbirine bağlayan köprü üstü izolasyon

1.3.2. Sismik İzolasyon Sisteminin Temel İlkesi

İki farklı tür yapı, yani izole edilmiş yapılar ve geleneksel ankastre mesnetli yapılar arasında deprem etkisine karşı gösterdikleri tepkilerde belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Geleneksel yapılar, deprem sırasında ortaya çıkan titreşimleri doğrudan üst yapıya aktarır, bu da özellikle yapısal elemanlarda kalıcı hasarlara sebep olabilir Şekil 8’de gösterildiği gibi. Betonarme yapısal elemanlarda, katlar arasındaki farklı yer değiştirmeler sonucu oluşan çatlaklar bunun bir göstergesidir. Diğer yandan, yalıtımsız (rijit) yapıların özelliği, zeminin ivmesine doğrudan tepki vermesidir. Bu durum, zemin ve yapının hareketlerinin aynı olduğu ve aralarında herhangi bir göreceli yer değiştirme olmadığı anlamına gelir. Böyle bir yapı, deprem sırasında zeminin ivmesi ile eşit bir ivmeyle hareket etmeye zorlanır ve bu tür yapının doğal periyodu sıfır olarak kabul edilir. Buna karşılık, yalıtımlı (ideal esnek) yapıların ivmesi genellikle sıfırdır, bu da yapı ile zemin arasında zeminin yer değiştirmesi kadar bir göreceli yer değiştirme olacağı anlamına gelir. Yalıtımlı yapının doğal periyodu bu durumda sonsuz kabul edilir ve böyle bir yapıda katlar arası yer değiştirmeler önemli ölçüde azalır. Yapı bu durumda rijit bir kütle gibi davranır ve üstyapı ile altyapı aynı miktarda hareket eder. Rijit ve esnek yapının deprem sırasındaki bu farklı davranışları Şekil 9’da gösterilmiştir (Saiful Islam, 2011).



Şekil 8. Ankastre mesnetli (a) ve sismik izolatörlü binanın (b) yanal sismik yükleme altındaki davranışı



Şekil 9. Deprem esnasında rijit (a) ve esnek (b) bir yapının özellikleri ve davranışı

Deprem sırasında esnek ve rijit yapıların tepkileri ve nitelikleri oldukça farklılık gösterir. Sismik izolasyon yaklaşımı, geleneksel yaklaşımla karşılaştırıldığında, etki kuvvetlerinin kapasiteden daha az olmasını hedefler. Bu, deprem sırasında oluşan kuvvetlerin minimize edilmesine dayanır. Şekil 10'da görüldüğü gibi Yapının depreme dayanıklılığını artırmak ve deprem kaynaklı kuvvetleri azaltmak için, üst yapı ile temel arasına yerleştirilen yatay yönde esnek, dikey yönde ise rijit elemanlar sayesinde yapının doğal periyodu uzatılır. Bu, depremin baskın periyodu ile çakışmayı engeller ve ivme spektrumunun düşük değerlerine ulaşılmasını sağlar. Sonuç olarak, yapının üst kısmı daha rijit bir davranış sergilerken, izolasyon sistemi sayesinde tabanın yer değiştirmeleri artar. Sismik izolasyonun bir yapının güvenliği ve dayanıklılığı için sağladığı avantajları etkin bir şekilde kullanabilmek için bazı önkoşullar gereklidir. Bu şartlardan en kritiği, izolatörlerin hareketine imkân tanıyacak kadar çevrede boş alan bırakılması ve yapının esnekliğin olmasıdır. Bu koşullar sağlandığında, detaylı bir projelendirme ile yapıda sismik izolasyon uygulaması gerçekleştirilir (Saiful Islam, 2011).



Şekil 10. Temel üst kotunda yerleştirilen izolatörler (URL-2)

Şekil 10’da gösterildiği üzere yapılarda kullanılan izolatörler, farklı konumlarda yerleştirilebilir. Örneğin, şekilde de gösterildiği üzere, izolatörler temelin üst seviyesinde, bodrum katında, kolonların orta veya üst kısmında, ya da birinci kat seviyesinde kolonların altında ya da üstünde konumlandırılabilir. Ancak bu yerleşim varyasyonlarının her birinin avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurularak karar verilmesi ve izolatörlerin uygun bir şekilde monte edilmesi önemlidir. Sismik izolatörlerin temel tipleri kauçuk sönümleyiciler veya teflon ya da çelik yüzeyler üzerinde hareket edebilen toplardan oluşan yapılar şeklindedir. Volkanız kauçuk elemanların ince çelik levhalar arasına katmanlar halinde yerleştirilmesiyle üretilen bu tür sismik izolatörler, son 20 yılda popülerlik kazanmıştır.

1.3.3. Sismik İzolasyonlu Yapıların Avantajları ve Dezavantajları

Taban izolasyonu olmayan yapılar, deprem sırasında zeminden gelen titreşimleri direkt olarak alır ve bu, yapı elemanları ve birleşim noktalarında ciddi etkilere yol açar. Ancak taban izolasyonu bulunan sistemlerde ara elemanların varlığından dolayı, binaya dik olan deprem titreşimlerinin anca bir kısmı üst yapıya ulaşır, bu da üst yapıda oluşan etkileri minimize eder. İzolatörler, zeminden gelen yüksek frekanslı titreşimleri alıp bunları daha düşük frekanslı hareketlere dönüştürerek, yapının daha fazla yer değiştirmesini sağlarlar. Bu durum, deprem enerjisini yer değiştirme hareketleriyle etkin bir şekilde emilmesine olanak tanır. İzolatörler, yatay yönde esnek oldukları için, deprem anında bu yönde esnek bir davranış sergileyerek, izolasyon düzeyinde yer

değiştirmelerin toplanmasını sağlamaktadır ve bu, üst yapının daha rijit bir kütle hareketi yapmasına yol açar. Sonuç olarak, yapı deprem durumunda daha yavaş ve kontrollü bir salınım gösterir. İzolasyonun getirdiği periyot uzaması, hissedilmekte olan titreşim ivmesinin azalmasına yol açmaktadır, bu da tabanın yer değiştirmelerinin artmasına ve katlar arası rölatif deplasmanların azalmasına yol açar. Sismik izolasyon, yapının periyodunu bölgedeki hâkim periyottan uzak tutarak rezonans olasılığını azaltır ve bu da ivme artışlarının önüne geçer. Sismik izolasyon, yapıların deprem kuvvetlerine karşı daha esnek davranmasını sağlar; bu da yapının çok katlı ve esnek yapılara benzer bir davranış sergilemesine yol açar. Sismik İzolasyon, yapıların güçlendirilmesi sırasında da avantajlar sağlar. Güçlendirme işlemi sırasında yapıda büyük değişikliklere veya işlev kayıplarına gerek kalmadan uygulanabilir. Katlar arasında farklı deplasmanlar deprem esnasında normal yapılarda kiriş ve kolon birleşim kısımlarında hasar riski bulunmaktadır.

Ancak sismik izolasyonlu yapılarda, katlar arasında farklı deplasmanlar meydana gelmediği için kolon ve kirişlerdeki zorlanmalar minimuma indirgenir. Sismik izolasyon kullanılarak, bir yapının taşıyıcı elemanlarına etki eden deprem kuvvetleri ortalama olarak %25 oranında azaltılabilir. Binada meydana gelen katlar arası yer değişimleri sismik izolasyon kullanılarak oldukça azaltılabilmektedir. Bu şekilde bina daha kontrollü ve yavaş bir salınım göstermektedir. Bu durum da binanın içinde yer alan hassas cihazlar ve değerli nitelikteki eşyaların korunmasını sağlamaktadır.

1.3.4. Sismik Yalıtımın Kullanım Alanları

- Sağlıkla ilgili yapılar, özellikle hastaneler, dispanserler ve sağlık ocakları gibi.
- Önemli hükümet binaları, askeri tesisler ve sivil savunma yapıları gibi stratejik öneme sahip yapılar.
- Yangınla mücadele için binaları.
- Haberleşme ağına ait yapıları.
- Toplu taşıma için havaalanları, terminaller ve köprüler, viyadükler gibi altyapı yapıları.
- Enerji üretim ve dağıtım tesisleri.
- Acil durum müdahale için ilk yardım, kriz ve afet planlama merkezleri.
- Tehlikeli maddelerin, özellikle toksik ve patlayıcı özellikli maddelerin bulunduğu veya depolandığı tesisler.
- Veri işleme ve saklama merkezleri olan bilgi işlem merkezleri.

- Kültürel ve tarihi değeri olan yapılar; mevcut yapılarda da kullanılabilen tarihi binalar ve müzeler.

1.4. Sismik İzolatör Türleri

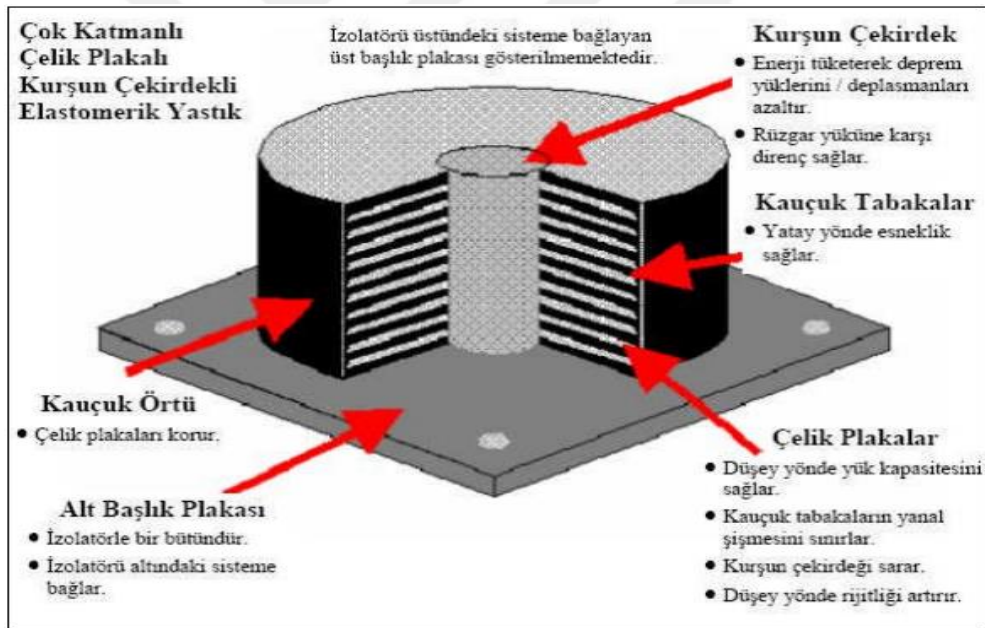
1.4.1. Elastomer Esaslı Sistemi

Elastomer tabanlı sismik yalıtım cihazları, binaların deprem güvenliğini artırmak için üç temel tipte tasarlanmıştır: doğal lastik sismik yalıtıcılar (NRB), kurşun içeren lastik yalıtıcılar (LRB) ve gelişmiş sönümleme özellikli lastik yalıtıcılar (HDRB). Bu teknolojiler, bina temellerinde veya yapının üst kısımlarında kullanılarak, yapının doğal salınım süresini değiştirir. Bu sayede, binanın deprem sırasında maruz kaldığı ivmelenmeler azalır ve yapısal elemanların üzerine düşen yükler ile deformasyon ihtiyaçları önemli  l de azaltılır.

Kauçuk bazlı sismik izolatörler, deprem etkilerini azaltmak için tasarlanmıştır. Bu izolatörler, doğal kauçuk katmanları ile oluşturulan elastomer bir tabana sahiptir. İ lerine yerleştirilen kurşun çekirdek hem rijitlik kazandırır hem de eşit şekilde 1deformasyon sağlar, bu sayede sistem daha iyi sönümleme yapar. Bu teknoloji, binaların deprem sırasında daha az zarar görmesini, aşırı hasar ya da yıkılma riskini en aza indirmeyi hedefler. İzolat rlerde kullanılan kauçuk, bir nevi yay işlevi görür; yatay yönde esnek, dikey yönde ise oldukça serttir. Dikey sertliği, şekil 11-12’de gibi çelikle güçlendirilmiş ince kauçuk tabakalar sayesinde elde edilir. Bu  zellikler, izolatörün yatay hareketlerde düşük sertlik göstermesine, ancak dikey yönde yüksek sertlikle büyük yükleri taşımasına olanak tanır. Deprem anında, izolatör yatay hareket ettiğinde, kurşun çekirdek plastik şekilde deformasyon göstererek sönümleme sağlar (Zhou 2004).



Şekil 11. Kauçuk izolatörü (HDRB) (URL- 3)



Şekil 12. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör (URL-4)

Sismik izolatör üretimi, kauçuk kullanılarak gerçekleştirilen karmaşık bir süreçtir. Üretim aşamalarını yeniden düzenleyerek anlatırsak; ilk adım olarak, doğal kauçuk kullanılır. Kauçuk, daha dayanıklı hale getirilmek için çeşitli katkı maddeleriyle zenginleştirilir. Bu katkılar, ozon direnci, mekanik dayanıklılık, çekme gücü ve özellikle rijitlik ve sönümlleme kapasitesini artırır. Rijitliği ve sönümlmeyi iyileştirmek adına, doğal kauçuk karbon siyahı eklenir ve homojen bir karışım elde edilir. (Rijitlik burada sertlik olarak tanımlanmaktadır.) Kauçuk daha sonra rulo haline getirilir. Bu rulolar,

birkaç milimetre kalınlığında daire şeklinde kesilir. Kesilen kauçuk parçaları katman yerleştirilir. Levhaların birbirine daha iyi yapışmasını sağlamak amacıyla yüzeylerine parlatma işlemi uygulanmaktadır. Yüzeylere yapıştırıcı malzemeler uygulanır. Üretim süreci, kauçuk ve çelik katmanların birbiri ardına ağır çelik kalıplar içine yerleştirilmesiyle devam eder. Bu katmanlar arasına kauçuk konarak kalıp tamamlanır ve 135 santigrat derecede 14 saat boyunca bekletilir. Bu sıcaklık işlemi esnasında kauçuk kalıptan taşma söz konusu olabilir. İzolatörün saran bu fazla kauçuk, çelik parçaları korozyona ve yangına karşı korur.

Kauçuk tabakaların kalınlığını azaltmak, aynı özellikteki kauçuk kullanıldığında, düşey yük taşıma kapasitesini artırır. Kauçuk tabaka sayısının artması, yastığın yatay öteleme ve dönme hareketlerine karşı direncini düşürür. Kauçuk yastık düşey basınç altında dışa doğru genişleme özelliği göstermektedir. Düşey basınç altında, kauçuk yastık dışa doğru genişler. Yatay yük altında ise, kauçuk yastık hareket eder ve yük kalkınca orijinal haline döner. Çelik plakaların eklenmesi, kauçuk yastıklar arasında düşey rijitliği artırır. Bu artış, üst yapıyı desteklemek ve düşey yük altındaki kauçuk tabakaların yanal genişlemesini önlemek için önemlidir. Çelik plakalar, yastığın düşey davranışını etkilerken, yatay hareketler üzerinde minimal etkiye sahiptir. Bir kauçuk izolatör, boyutlarına bağlı olarak maksimum 450 ton yük taşıyabilir. Üretim ölçülerine göre, bir kauçuk izolatör en fazla 1 metre kadar yer değiştirebilir. Üretim şekilleri daire veya kare en kesitlidir, daire şeklinde olanlarının çapı 300 ila 1000 mm arasında değişir. Kauçuk izolatörler, çok düşük ve yüksek sıcaklıklarda beklenen performansı sergileyebilir. Kauçuk malzemenin yaşlanma testi, 70 santigrat derecede 4 gün süreyle fırında tutularak yapılır. Bu test sonucunda, rijitlikte yaklaşık %10'luk bir azalma gözlemlenir. 800 santigrat derece ısı uygulanarak 100 dakika süresince bekletilen kauçuk yastığın ısı dayanımı. Ortalama bir kauçuk izolatörün servis ömrü 50 yıldan fazladır. Kurulumu basit ve kullanımı güvenilirdir. Bakım gerektirmeyen bir yapıdadır. Deprem sonrası hasar görmüş kauçuk izolatörler kolayca değiştirilebilir. Bir kauçuk izolatörün kalınlığı ortalama olarak 250-450 mm arasında olup, farklı boyutlarda üretilir. (Gökhan, 2009)

1.4.2. Kayıcı Mesnetli Sistemleri

Kayıcı taban izolasyon sistemlerinin gelişimi, Çin ve Hindistan'daki şiddetli depremler sırasında, bazı yığma binaların temellerinin yerinde kalırken, benzer boyutlardaki ankastre yapılı binaların yıkılmasının gözlemlenmesi ile başlamıştır. Bu

sistem, Şekil 13-14'te gösterildiği gibi temel ile üst yapı arasındaki yatay hareketi serbest bırakmak için kayıcı bir izolasyon tabakası oluşturmayı hedefler. Sistem, yatay kuvvetlerin izolasyon yüzeyi boyunca sınırlı bir şekilde aktarılmasını sağlamak amacıyla sürtünme katsayısını minimuma indirir. Kayıcı mesnetli izolatörler, sismik hareketten kaynaklanan enerjiyi, sürtünme kuvvetleri belirli bir seviyeye ulaşana kadar ileten bir yapıda çalışır. Deprem kuvvetlerinin bu izolatörlerin direnç kuvvetini aşan bir seviyeye ulaşması durumunda, ötelenme hareketiyle sönümlenme süreci başlar. Kayma tipi izolatörlerin tasarımı, sürtünme özelliklerini ve sarkaç benzeri davranışı farklılaştırmak için farklı malzemelerin ve yüzey geometrilerinin (konik, eğrisel, düz) kullanılmasıyla çeşitlenir. Bu sistemlerin sürtünme özellikleri, sıcaklık, hız ve yüzey temizliğine bağlı olarak değişir. İzolatörler, içbükey kayma yüzeylerinin eğrilik yarıçapına bağlı olarak rijitlik kazanır ve sönümlenme ile sürtünme sayesinde enerjiyi absorban eder. Geri getirici kuvvet mekanizmaları ile söz konusu sistemlerin desteklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer desteklenmezse kalıcı deplasmanların kabul edilmeyecek düzeye ulaşması mümkün olmaktadır (Gökhan,2009).



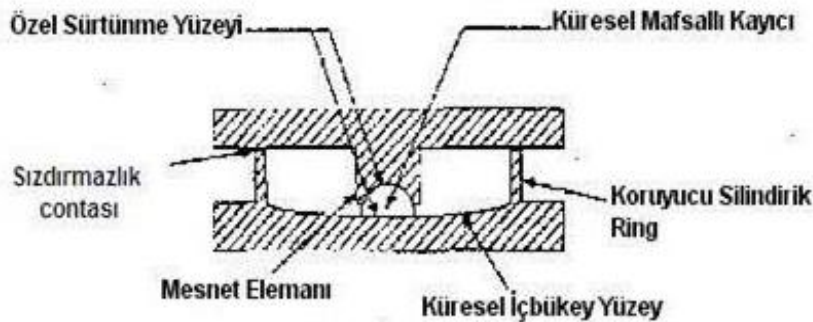
Şekil 13. Kayıcı mesnetli sistemi



Şekil 14. Kayıcı izolatör örneği

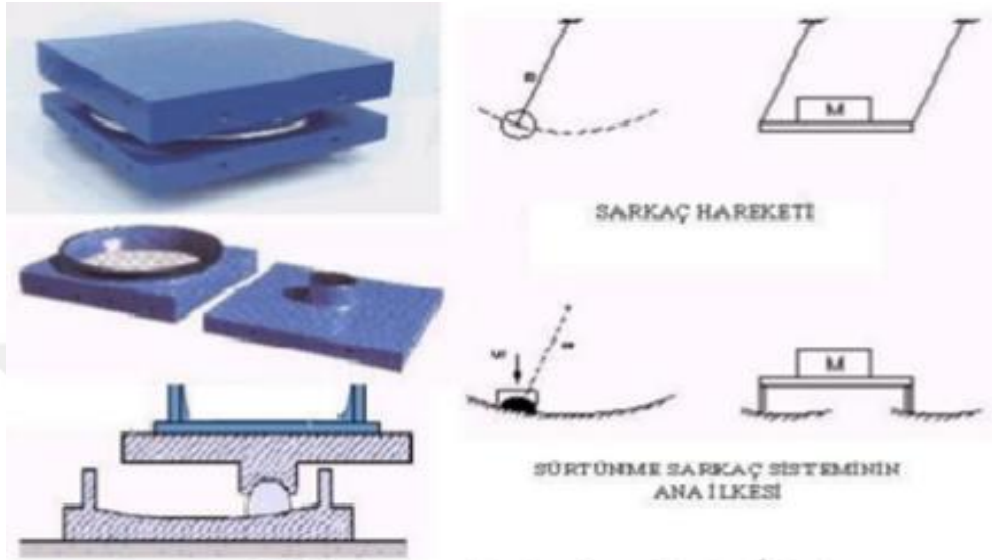
1.4.3. Sürtünmeli Sarkaç Sistemi (FPS)

Kayıcı mesnetli izolatörlerin en yeni modeli, geri getirici kuvvet mekanizmalarıyla desteklenen, sürtünmeli sarkaç sistemidir. Bu sistem, yapıların deprem sonrası orijinal konumlarına dönmesine olanak tanır. Geleneksel kayıcı mesnetlerde, bir yapı depremden sonra farklı bir konumda kalabilirken, sürtünmeli sarkaç sistemi sayesinde, şekil 15’te gösterildiği gibi yatay hareketin yanı sıra düşey harekete de imkân verilerek yapı orijinal konumuna geri dönebilir. Eğrisel paslanmaz çelik bir yüzey ve kayıcı bir mafsallı izolatörün mekanik yapısını meydana getirmektedir. Kayıcı mafsallı bir yanı kompozit nitelikteki malzeme kullanılarak kaplanmaktadır. Diğer yanı ise paslanmaz çeliğin üstüne kompozit malzeme kullanılarak kaplanmaktadır. Bununla birlikte bu yüzey küresel bir oyuğun içine oturmaktadır.



Şekil 15. Sürtünmeli sarkaç sistemi kesiti

Sistem, sarkaç hareketi ilkesinden yararlanarak, yapıya gelen sismik enerjinin, kayıcı mafsallarla küresel yüzey arasındaki sürtünme ile azalmasını veya tamamen yok olmasını sağlar. Şekil 16’da gösterildiği gibi Sismik enerji iletilirken, izolator sarkaç benzeri hareketler yaparak enerjiyi etkili bir şekilde azaltır (Gökhan,2009).



Şekil 16. Sürtünme sarkaç sisteminin ana ilkesi

❖ Uygulama Alanları

- Deprem riski taşıyan mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanılır.
- Köprü ve viyadük gibi altyapı projelerinde tercih edilir.
- Hastane gibi hayati öneme sahip yapılar için idealdir.
- Kültürel ve tarihi değeri olan binalar, müzelerde koruma amaçlı kullanılır.
- Konut projelerinde deprem güvenliği için uygulanır.
- Enerji depolama tankları ve endüstriyel tesislerde etkin bir çözümdür.
- Havaalanı gibi büyük ölçekli yapılar için uygundur.
- Stadyum ve benzeri büyük kapasiteli yapılar için idealdir.
- Okul gibi eğitim kurumlarında güvenlik sağlar.
- Kamu binalarında yaygın olarak kullanılır.

❖ Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlerin Avantajları

- Montaj kolaylığı sağlayan kompakt yapısal özelliklere sahiptir.
- Çevresel koşullar ve atmosferik etkenlerden etkilenmez, uzun ömürlüdür.
- Yangın güvenliği açısından ekstra önlem gerektirmez, yangına dayanıklıdır.

- Tasarlanan deprem şiddetinin üzerindeki sarsıntılarda bile görevine devam edebilir, kolayca parçalanmaz.
- Yapının ısıl genleşmesine uyum sağlar.
- Basit sarkaç prensibiyle çalıştığı için hem statik hem de dinamik analizleri kolaydır.
- Çekme kuvvetlerine karşı da etkin tiplerinin üretimi mümkündür.
- Gerçek boyutlarda test edilebilir, teknik özelliklerinin tamamı kontrol altında tutulabilir.
- Zamanla teknik özelliklerinde değişiklik olmaz, bakım gerektirmez.
- İki yönlü kullanım özelliği sayesinde yapısal optimizasyona imkân tanır.
- Diğer izolasyon alternatiflerine göre daha küçük boyutlarda olup, yapının mimari estetiğini bozmaz.

Sürtünmeli sarkaç tipi izolasyon sistemleri, bina kütesinden bağımsız olarak, kayma yüzeyinin geometrisine göre ayarlanan bir periyoda sahiptir. Bu sistemler, yatay hareketleri düşey yüklerle orantılı bir şekilde sınırlar ve binanın kütle merkezi ile izolasyon sisteminin rijit merkezi aynı dikey hizada olduğundan, dış merkezlik etkileri asgariye indirilir. Deprem anında, taban kesme kuvveti, destek noktasındaki sürtünme kuvveti ile kısıtlanır (Şekil 17). Bu kuvvet, izolatör yüzeyinin geometrik şekline ve destekteki normal kuvvete bağlıdır. İzolasyon sisteminin temel özelliği, kayma yüzeyinin geometrik yapısıdır. Enerji emilimi, sürtünme yüzeyinde meydana gelen sürtünme ile sağlanır. (Gökhan, 2009)



Şekil 17. Atatürk havalimanı çatısında kullanılan sürtünmeli sarkaç sistemi

Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin Özellikleri

Bu izolatörlerin en belirgin avantajı, elastomerik sistemlerde gerekli olan yangın korumasına ihtiyaç duymamalarıdır. İzolatörlerin çelikten yapılması, ek yangın koruma önlemlerini gereksiz kılar.

- Montajı, kompakt yapısal özellikleri sayesinde oldukça kolaydır.
- Yapısal ısı genleşmeleri destekler.
- Alternatif sistemlere göre daha küçük boyutlarda olması, daha az alan kaplaması ve yapısal estetiği bozmaması avantaj sağlar.
- Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin Dezavantajları
- Sürtünme hareketinden önce ve sonra izolatörlerin rijitliklerinde meydana gelen ani değişiklikler, üstyapının ani hareketlerine ve yüksek modların tahrik edilmesine neden olabilir. Bu, özellikle titreşim hassasiyeti yüksek taşıyıcı sistemlerde uygun olmayabilir.

Sürtünme katsayısının zaman ve sıcaklıkla değişebilmesi, bazı durumlarda taban kesme kuvvetinin artmasına ve hasara yol açabilir.

1.4.4. Sönümleyici Damperler

Sönümleyici damperler, çalışma prensiplerine göre iki ana kategoriye ayrılır: hız bağımlı damperler ve deplasman bağımlı damperler. Hız bağımlı damperler arasında, yağ veya silikon esaslı damperler bulunurken, deplasman bağımlı damperler arasında “U” şekilli helisel çelik damperler ve kurşun damperler yer alır (Şekil 18). Bu damperler, yapıların taban yalıtım sistemlerinin eşdeğer kritik sönüm oranını %10'dan %25'e kadar artırabilir (Şekil 19-21). Özellikle fay hatlarına yakın yapılar için, izolatörlerin yatay deformasyon ihtiyaçlarını azaltmada bu damperler etkili bir rol oynar. Büyük depremler sonrası, deplasman bazlı damperlerin değiştirilmesi gerekebilir (Çelik, 2019).



Şekil 18. Viskoz damper bileşenlerinin şematik detaylandırması



Şekil 19. Kullanılan viskoz damper örneği



Şekil 20. Sismik izolasyonlu U şekilli damper örneği



Şekil 21. İzolatörle kullanılan kurşun ve helisel şekilli damper örneği

1.5. Dünyada Sismik Taban İzolasyonu Uygulamaları

1.5.1. Yeni Zelanda

1968'de Yeni Zelanda'da malzeme bilimi ve mühendislik sismolojisi konusunda uzman bir grup, sismik izolasyon üzerinde çalışmaya başlamıştır. Araştırmaları deneysel çalışmalar, teorik yaklaşımlar ve sismik izolasyon sistemlerinin pratik uygulamalarına odaklanmıştır. Bu çabalar sonucunda, Yeni Zelanda'da tasarlanıp üretilen ve dünya çapında ihraç edilen çeşitli pasif titreşim kontrol cihazları geliştirilmiştir.

1981'de Wellington, dünyada kurşun-kauçuk mesnetlerle izole edilen ve depreme dayanıklı hale getirilen ilk yapıdır. Bu yapı, 90 kurşun-kauçuk mesnet kullanılarak inşa edilmiştir (Şekil 22). İzolasyon sonrasında, binanın doğal periyodu 2.5 saniye olarak hesaplanmıştır. Ayrıca binanın yatay olarak 150 mm hareket edebilecek şekilde tasarlandığı bilinmektedir.



(a)



(b)

Şekil 22. William clayton binası (a), kullanılan kurşun kauçuk mesnet (b)

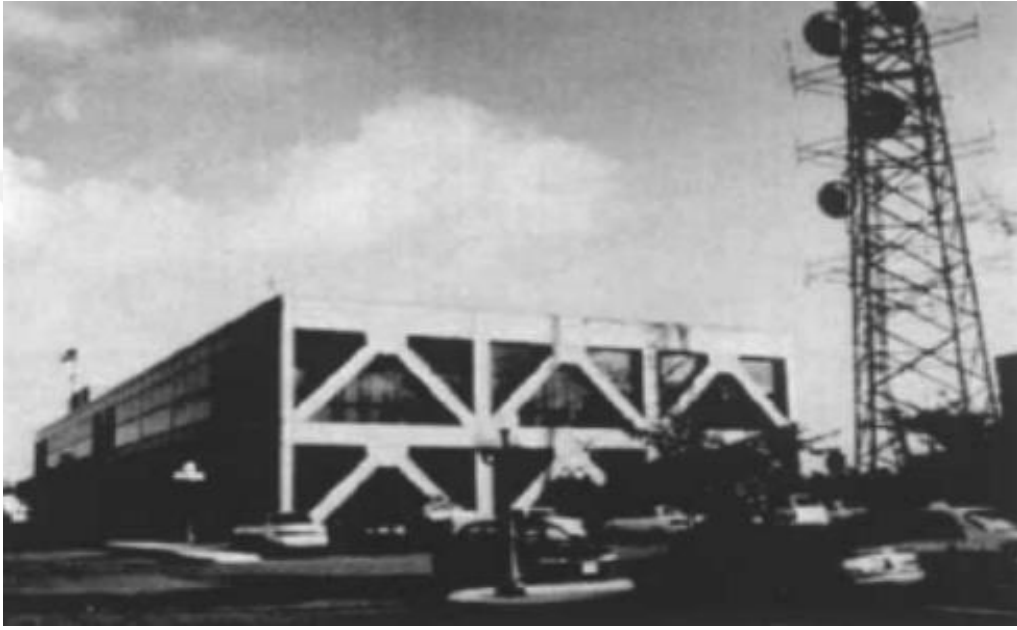
Bir diğer sismik taban izolasyonu örneği ise Te Papa Müzesi'dir (Şekil 23). 35 000 m² kat alanına, 23 m yüksekliğe ve 5 katlı betonarme yapıya sahip olan müzede, 142 adet kurşun kauçuk mesnet ve teflon kayıcı mesnetler perde duvarların altına yerleştirilmiştir (Soyluk,2010).



Şekil 23.Te Papa müzesi, Yeni Zellanda

1.5.2. Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri'nde, özellikle Kaliforniya başta olmak üzere, Uta, Oregon, Washington, Nevada ve Tennessee gibi eyaletlerde de taban izolasyonu uygulanan binalar bulunmaktadır. Bu izolasyon yöntemi, daha çok Sivil Savunma, işletme ve kamu kontrol binalarında kullanılmaktadır. Şekil 24 örnek olarak, çelik çerçeveli bir üst yapıya sahip, iki katlı bir merkezde uygulanan bu sistem, 40 adet 600 mm çapındaki yüksek sönümlü doğal kauçuk mesnetleri içerir ve yaklaşık 2.5 saniyelik bir izolasyon periyodu sağlar.



Şekil 24. Trafik yönetim merkezi, Kearney Mesa, Kaliforniya

San Diego'da Şekil 25'te bulunan Yeni Nesil Acil Durum Yönetim Merkezi, 4.000 metrekarelik bir alana yayılmış ve modern çelik iskelet yapısıyla inşa edilmiştir. Şekil 25'te gösterildiği gibi. Bu özel tasarım, 35 adet, her biri 800 mm çapında ve 450 mm yüksekliğinde yüksek performanslı kurşun kauçuk destekler üzerine oturtulmuştur. Yapının mimari tasarımında, asimetrik yapı formu ve çoklu köşe dizilimleri özel olarak ele alınmıştır. Projenin yapı mühendisleri, tasarım aşamasında özellikle köşe bölgelerindeki izolatörlerin potansiyel yükselme (UPLIFT) durumlarına dikkat etmişlerdir. Bina iskeleti, yatay yükleri verimli bir şekilde bütün köşe kolonlarına eşit olarak dağıtacak biçimde kurgulanmıştır. Maksimum Beklenen Deprem (MCE) şartları altında izolatörlerin en fazla 500 mm yer değiştireceği öngörülürken, gerçekleştirilen deneyler sonucunda bu değerin 650 mm'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Ek olarak, binanın temel tasarımında sismik yalıtımın yanı sıra, enerji verimliliği ve çevre dostu malzemelerin kullanımına da büyük önem verilmiştir. İç mekanlarda, deprem anında

yapısal bütünlüğü koruyacak ve aynı zamanda enerji tasarrufunu destekleyecek akıllı aydınlatma ve HVAC sistemleri entegre edilmiştir. Bu entegrasyon hem yapısal güvenlik hem de uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından merkezin öne çıkmasını sağlamıştır (Soyluk,2010).



Şekil 25. Acil iletişim merkezi, San Diego

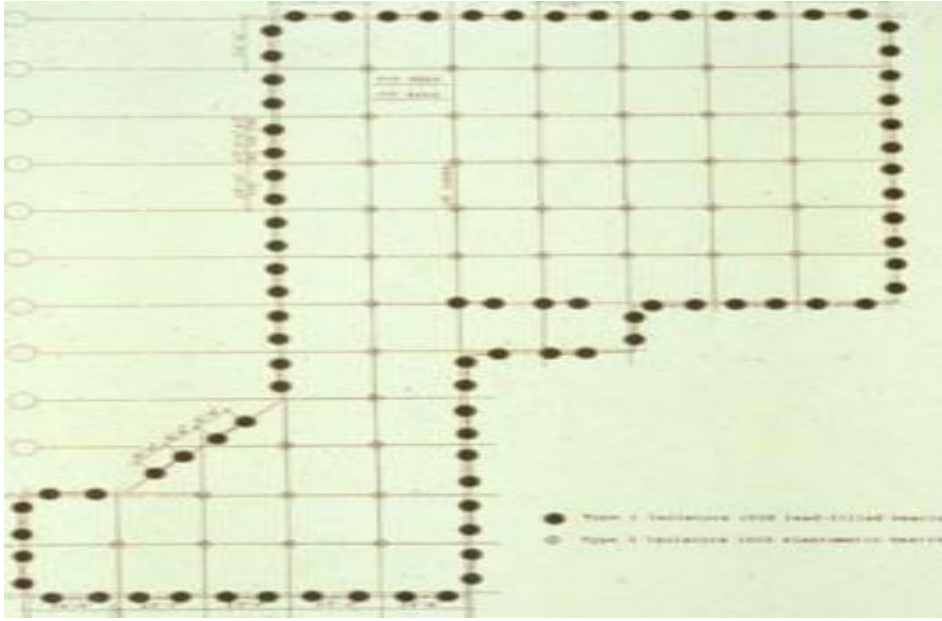
Amerika Birleşik Devletleri'nde, savunma ve acil durum müdahale yapılarında kullanılan sismik izolasyon tekniklerine dair pek çok örnek bulunmaktadır. Bu örnekler arasında, Los Angeles'ta bulunan Gelişmiş Acil Durum Yönetim Merkezi, Seattle yakınlarında konumlanan Bölgesel Acil Operasyon Merkezi, San Diego'daki Deniz Kuvvetleri Acil Durum İstasyonu, Boston'da yer alan Kamu Güvenliği Kompleksi ve New Orleans'ta hizmet veren Felaket Yönetim Merkezi öne çıkmaktadır. Bu yapılar, depreme dayanıklı tasarımlarıyla dikkat çekerken, her biri farklı sismik izolasyon sistemleri ve mühendislik çözümleri içermektedir. Los Angeles'taki merkez, ileri düzey elastomerik izolatörler ve sürtünmeli sarkaç sistemleri kullanırken, Seattle yakınlarındaki tesis, karmaşık bir kurşun kauçuk izolatör sistemine sahiptir. San Diego'daki yapı, özellikle askeri standartlara uygun güçlendirilmiş betonarme bir çerçeve üzerine inşa edilmiş ve gelişmiş sönümleme teknolojileriyle donatılmıştır. Boston'daki kompleks, deprem riskine karşı yüksek teknoloji izolatörleri ve enerji tüketimini azaltan yeşil bina özellikleri ile tasarlanmıştır. New Orleans'ta ise, sel ve deprem risklerine karşı özel olarak geliştirilmiş bir yüzer yapı teknolojisi kullanılmıştır.

Bu yapılar, sadece acil durum müdahalelerinde değil, aynı zamanda sürdürülebilir mimari ve çevre dostu tasarım anlayışlarının örnekleri olarak da ön plana çıkmaktadırlar.

1994 entegrasyon depremi sırasında, Los Angeles bölgesindeki birçok hastane ağır hasar görmüş, bazıları tamamen işlevsiz hale gelmiştir. Ancak 1990 yılında tamamlanan ve aynı bölgede yer alan UCLA Sağlık Merkezi, bu büyük depremden etkilenmeden ayakta kalmayı başarmıştır (Şekil 26). On iki katlı ve yüksek mukavemetli çelik çerçeve ile inşa edilen bu hastane. Bu hastanenin en dikkat çekici özelliği, dünyanın en gelişmiş taban izolasyon sistemlerinden birini kullanarak inşa edilen ilk büyük tıbbi tesisi olmasıdır. Toplamda 350.000 metrekare alana yayılan ve 300 yatak kapasiteli bu yapı, sismik izolasyon özelliklerinin yanı sıra modern mimarisi ve ileri düzey tıbbi donanımı ile de öne çıkmaktadır. Yapının temelinde kullanılan ileri taban izolasyon teknolojisi, deprem sırasında enerjiyi etkili bir şekilde sönmlemekte ve hastanenin yapısal bütünlüğünü korumaktadır. Ayrıca bu teknoloji sayesinde hastane, olası bir afet durumunda bile kesintisiz hizmet verebilecek kapasitede tasarlanmıştır. Hastanenin tasarımında, hasta güvenliği ve konforu en üst düzeyde tutulmuş, acil durum senaryolarında hızlı ve etkin müdahale edebilmek için özel sistemler entegre edilmiştir.



Şekil 26. USC tıp merkezi, Los Angeles



Şekil 27. USC tıp merkezi sismik taban izolasyon yerleşimi

1.5.3. Japonya

1980 ve 1981 yıllarında, üniversite araştırmacıları kauçuk mesnetler ve modern sismik izolasyon teknikleri üzerinde çalışmalar yapmaya başlamışlardır. 1986 yılına kadar, bu teknolojileri sergilemek amacıyla inşaat şirketleri tarafından birkaç taban izolasyonlu bina inşa edilmiştir. Japonya'da, 1986 senesinden sismik izolasyonlu binaların inşasına başlansa da bu binaların sayısında hızlı bir artış olmamıştır. Ancak 1994 sonlarına doğru, 1995 yılında Hanshin Awaji depreminde Kobe'de iki taban izolasyonlu bina bulunmaktaydı. Bunlardan biri bir inşaat şirketinin laboratuvarıydı ve her iki bina da depremde hasar görmeden yüksek sismik performans göstermiştir (Şekil 28). Bu başarının ardından, 1995 Eylül'ünden 1996 yılına kadar Japonya'da taban izolasyonlu bina sayısı 207'ye yükselmiştir. Deprem öncesi dönemde bu teknoloji daha çok iş dünyasının laboratuvarları, ofisleri ve bilgisayar merkezleri için kullanılırken, depremden sonra yarı yarıya kamu kullanımına yönelik apartman binalarında da uygulanmaya başlanmıştır (Soyluk,2010). Altı katlı, betonarme taşıyıcı sistemle inşa edilen Posta ve Telekomünikasyon Bakanlığının bilgisayar merkezi de bu dönemdeki örnek yapılar arasındadır.



Şekil 28. Posta ve telekomünikasyon bakanlığı bilgisayar merkezi

1.5.4. Türkiye’deki Sismik Taban İzolasyonu Uygulamaları

2010 yılı itibarıyla dünya çapında aktif titreşim kontrol sistemleri ile donatılmış yapının sayısı yaklaşık 6.000’i bulmuştur. Bu yapıların coğrafi dağılımı analiz edildiğinde, 2008 yılında Japonya’da 3.000’den fazla, Güney Kore’de 600, Hindistan’da 550, ABD’de 200, Almanya’da 50, Fransa’da 40, İngiltere’de 35, Kanada’da 30, Avustralya’da 25 ve Brezilya’da 20 yapı bu teknolojiyi kullanmaktadır. Türkiye’de ise, deprem riskine rağmen bu teknolojinin kullanımı nispeten sınırlıdır; özellikle İstanbul-İzmir otoyolu üzerindeki bazı köprülerde yatay yer ivmesi katsayısının 0.5 olarak hesaplandığı ve ileri seviye deprem izolatörleri kullanıldığı görülmektedir. Türkiye’deki öne çıkan uygulamalar arasında İstanbul Avrasya Tüneli, İzmir Alsancak Stadyumu, İstanbul Başakşehir Stadyumu, Ankara Çankaya Konferans Merkezi bulunmaktadır. Ayrıca İstanbul Boğaziçi Köprüsü ve Marmara Denizi’ndeki bazı platformlar da bu teknolojiyle donatılmıştır. Türkiye’de bu teknolojinin kullanımının artması için yapısal mühendislik alanında daha fazla bilinç ve yatırım gerekmektedir. Bu yapılarda kullanılan aktif titreşim kontrol sistemleri, deprem sırasında enerjiyi etkin bir şekilde dağıtarak yapısal hasarı minimuma indirmekte ve binaların daha güvenli hale gelmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda, bu teknoloji çevresel faktörler ve uzun vadede yapısal maliyetler açısından da avantajlar sunmaktadır.

Kocaeli depreminden önce Türkiye'deki tek pasif sismik titreşim kontrol uygulaması, Şekil 29'da gösterildiği gibi İstanbul-Ankara karayolu üzerinde yer alan ve İtalya'da üretilen elasto-plastik enerji sönümleyiciler kullanılan Bolu viyadükünde bulunmaktadır.



Şekil 29. Bolu viyadükleri

Atatürk Uluslararası Havalimanı terminal binası, İstanbul'da yer alan ve 300 milyon dolarlık maliyetiyle dikkat çeken büyük bir yapıdır. Bu yapı, 235 000 m²'lik bir alan üzerine kurulmuş olup, ana bölümü 225 x 250 m² ölçülerindedir. Yapının dikkat çeken özellikleri arasında, piramit şekilli uzay kafes çatısı ve bu çatıda yer alan üçgen cam pencereler bulunmaktadır Şekil 30'da görüldüğü gibi. Kocaeli depreminde hasar gören bu yapının, 4 ton ağırlığındaki çelik çatısı, sürtünmeli sarkaç taban ile hareket serbestliği kazandırılarak güçlendirilmiştir. Yapıdaki güçlendirme için taban izolatörleri yerine sürtünmeli sarkaç mesnetlerin tercih edilmesinin nedeni, ekonomik analizler sonucunda yapıdaki ilerlemiş inşaat seviyesinin yüksek maliyetlere yol açacak olmasıdır. Bu hassas çatı yapısı, 130 sürtünmeli sarkaç mesnet ile desteklenmiş, bu izolatörler çatı ile 7 m uzunluğundaki kolonlar arasında yerleştirilmiştir. Bu mesnetler, 8 büyüklüğünde bir depreme karşı güvenli bir şekilde tasarlanmıştır. Sürtünmeli sarkaç mesnetlerin kullanımı, Türkiye'deki sismik izolasyon uygulamalarının bir başlangıcı olmuştur.



Şekil 30. Atatürk havalimanı dışardan görüntüsü

Antalya Havalimanı'nın uluslararası dış hatlar terminali, Temmuz 2004 ile Temmuz 2005 tarihleri arasında bir sismik izolasyon projesine konu olmuştur (Şekil 31) (Soyluk,2010).



Şekil 31. Antalya havalimanı

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde zarar gören ve Boğaziçi bölgesindeki katı imar kuralları nedeniyle yıkıldığı takdirde tekrar inşa edilemeyecek olan Tarabya Oteli, Şekil 32'de görülebileceği üzere, 10 ile 11 kat arasında değişen yükseklikteki otel

blokları ve daha alçak yapılı hizmet binalarından oluşmaktadır. Bu kompleks, toplamda 35.000 metrekarelik bir alanı kaplayan ve betonarme çerçeve sistemlerinden oluşan yapısal bir tasarıma sahiptir. Yapılan detaylı analizler sonucu, geleneksel güçlendirme metotları olan perde duvar ekleme ve yapısal elemanların kaplanması gibi yaklaşımların, binanın mimari estetiğini ve otel işlevini önemli ölçüde bozacağı anlaşılmıştır. Elde edilen yapısal veriler, mimari kısıtlamalar ve performans hedefleri göz önünde bulundurularak, sismik izolasyon, en uygun güçlendirme yöntemi olarak seçilmiştir. Otelin deprem izolasyonu için toplamda 139 adet sürtünmeli sarkaç tipi mesnet kullanılmış ve bu izolatörlerin sürtünme oranı %4 olarak belirlenmiştir. Bu sayede, yapının üst kısmının toplam yer değiştirmesi maksimum 28 cm ile sınırlandırılmıştır. Güçlendirme öncesinde, binanın doğal titreşim periyodu 1.5 saniye iken, güçlendirmeden sonra bu süre 2.67 saniyeye yükselmiştir. Bu güçlendirme hem otelin yapısal dayanıklılığını artırmış hem de olası bir başka deprem durumunda binanın daha güvenli bir şekilde hizmet vermesini sağlamıştır. Ayrıca bu güçlendirme çalışması sırasında, otelin tarihi ve mimari yapısına zarar vermeden en uygun teknolojik çözümlerin nasıl entegre edilebileceği konusunda önemli bir örnek teşkil etmiştir. Bu projenin, benzer yapısal zorluklar içeren diğer tarihi yapılar için bir model oluşturduğu da söylenebilir.



Şekil 32. Tarabya oteli

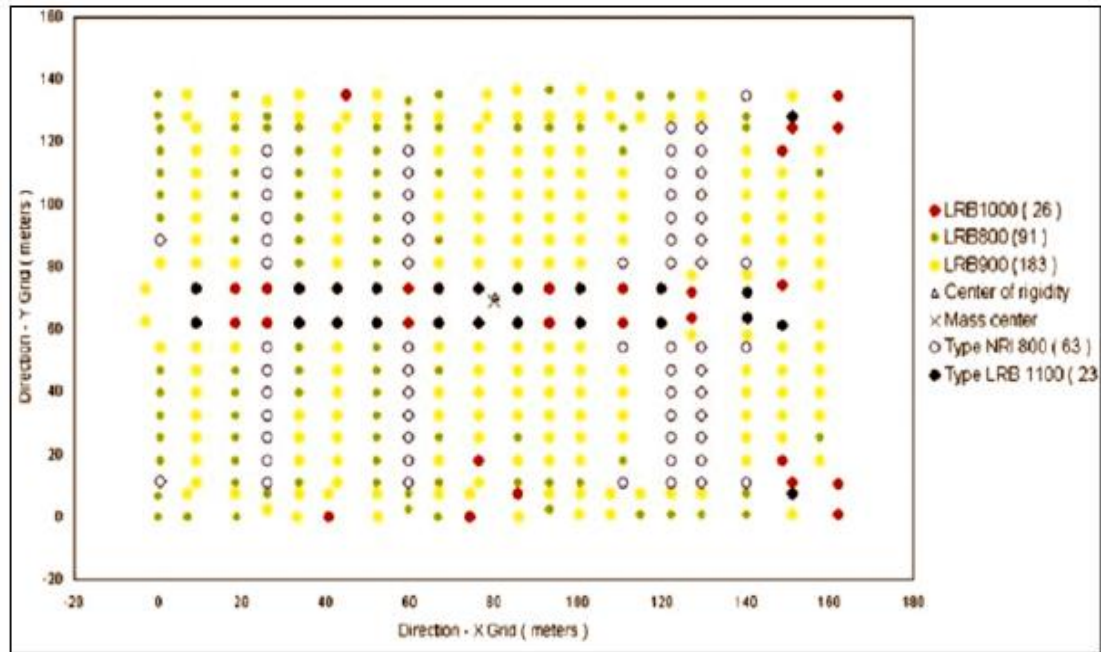
Erzurum Devlet Hastanesi, Türkiye'de deprem yalıtım tekniği ile tasarlanıp inşa edilen ikinci hastanedir (Şekil 33). Hastanenin yapısal ölçütleri, 160m x 140m plan boyutları ve 29 m toplam yüksekliğe sahiptir. Bu hastanenin tasarımında, en şiddetli

depremler bile dikkate alınarak, hastanenin sürekli işlevsel kalabilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmak için, yapıda 386 adet kurşun çekirdekli kauçuk mesnet kullanılarak sismik yalıtım sağlanmıştır. Bu mesnetlerin çapları 80 cm'den başlayıp 110 cm'ye kadar değişik büyüklüklerde tasarlanmıştır (Şekil 34).

Şekil 35'te Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir hastanesinde, 506 adet FBS izolatör kullanılmıştır. Şekil 36'da görülen Prof. Dr. Süleyman Yalçın Şehir Hastanesi 503 adet FBS izolatör kullanılmıştır (Soyluk 2010).



Şekil 33. Erzurum Devlet Hastanesi



Şekil 34. Erzurum devlet hastanesi sismik izolasyon yerleşim planı



Şekil 35. Prof. Dr. Cemil Taşçıoğlu Şehir Hastanesi (URL-5).



Şekil 36. Prof. Dr. Süleyman Yalçın Şehir Hastanesi (URL-6).

1.6. İzolatörlerin Mekanik Karakteristikleri

1.6.1. Kauçuk Esaslı İzolatörler

Yıllardır sürdürülen çalışmalar, tabakalı kauçuk esaslı izolatörlerin mekanik özelliklerini anlamaya yönelik olmuştur. Non linear teknikler kullanılarak bu izolatörlerin kesin analizi zor olmakla birlikte, birçok araştırmacı elastik teori temelli basit tahmin yöntemleri geliştirmiştir. Yapıların düşeyde genellikle rijit olması, düşey ivmelerin tasarımda büyük bir sorun teşkil etmemesini sağlar. Ancak yatay rijitlik sağlamak daha zor bir süreçtir. Bu bağlamda, yatay rijitliği artırmak için kullanılan sismik izolatörlerin en kritik mekanik özelliği, yatay rijitlikleridir ve bu durum Eşitlik 1 ile ifade edilmiştir.

$$K_H = \frac{G \cdot A}{tr} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Bu Eşitlik 1’de, G: Malzemenin kayma modülü, A: Malzemenin en kesit alanı, tr: Malzemenin toplam kalınlığı ifade etmektedir.

İzolatörlerin maksimum kayma şekil değiştirme değeri, yatay yer değiştirmeye bağlı olarak tanımlanmıştır.

$$\gamma = \frac{Dd}{tr} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Eşitlik 2’de, Dd: izolatör için maksimum yer değiştirme terimi, mesnedin en üst noktasında meydana gelen en büyük yatay yer değiştirmeyi temsil eder. Bu ilişki, izolatörün en fazla kayma deformasyonu ile maksimum yer değiştirmesi arasında bir bağlantı oluşturur. Yapılan hesaplamalarda sıklıkla $\gamma = 1.5$ oranı tercih edilir; bu, belirli bir kalınlıkta (tr) olan bir malzemenin, 1.5 (tr) kadar yer değiştirme yapabileceğini ifade eder. Bu oranın yüksek tutulması halinde, malzemenin yüksek eksenel yük altında yatay hareket ederken mukavemet sınırlarının aşılmasının önlenmesi gerekliliği önem kazanır. İzolatörlerin tasarım sürecinde, ayrıca burkulma eğilimlerinin analizi de kritik bir öneme sahiptir. Burkulma eğilimlerini belirlemek adına, eğilme momenti ve eğilme sertliği değerlendirilir. Eğilme sertliği, düşey sertlikle ilişkilendirilir ve izolatörün düşey frekansını da etkileyerek düşey sertliğin detaylı bir şekilde incelenmesini gerektirir. Kiriş teorisinde EI ile ifade edilen düşey sertlik, Eşitlik 3 ile ifade edilmiştir.

$$K_V = \frac{Ec \cdot A}{tr} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Eşitlik 3'te, Kv: Kauçuk malzemenin hacim modülü, tr: toplam elastomer kalınlığı, A: elastomer yalıtım birimin brüt kesit alanı, Ec: elastomer yalıtım biriminin basınç modülü. Eğer yükleme modülü (E_c) bir tek kauçuk tabakası için hesaplanıyorsa, bu durumda şekil faktörü (S) tarafından belirlenir, Eşitlik 4 ile ifade edilmiştir.

$$S = \frac{\text{Yüklü alan}}{\text{kuvvet yüklenmyen alan}} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

İzolatörün tipine göre değişkenlik gösteren bu şekil faktörü, sonuç olarak yükleme modülünü de etkiler. Örneğin, bazı izolatörler, merkezi boşlukları doldurulmamış, halka şeklinde tasarlanabilir. Bu tür bir izolatör için yükleme modülü farklılık gösterir ve bu durumda yükleme modülü Eşitlik 5'te verildiği formülasyon yardımıyla hesaplanır.

$$E_c = 6\rho GS^2 \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Bu Eşitlik 5'te, Ec: Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü, G: Sabit yük, S: Şekil katsayısını ifade etmektedir.

1.7. Analiz Yöntemleri

İzolasyon birimlerinin yatay yükler altında sergilediği doğrusal olmayan davranışlar nedeniyle, doğrusal yöntemlerde izolasyon sisteminin etkili özellikleri (örneğin etkili rijitlik ve etkili sönüm oranı) dikkate alınır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi, özellikle sınırlı tiplerdeki izolasyonlu yapıların tasarımı ve minimum tasarım gerekliliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu yöntemin temel denklemleri, ön tasarım aşamalarında faydalı olup, karmaşık hesaplamaların hızlıca değerlendirilmesi ve kontrol edilmesine olanak sağlar. Ayrıca tasarım standartları bu yöntemin denklemlerini, dinamik analiz sonuçları için bazı sınırlamalar belirlemek amacıyla da kullanır. Türkiye'deki Bina Deprem Yönetmeliği ve diğer uluslararası düzenlemeler, eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliğine ilişkin çeşitli şartlar belirler. Bu yöntemler, izolasyonlu yapıların deprem performansını etkili bir şekilde değerlendirmek ve güvenli tasarım sağlamak için hayati önem taşır.

Yalıtım birimlerinde kalkma veya çekme oluşmaz. Etkin sönüm oranı %30'un altındadır. Yalıtım sistemi üzerindeki bina 4 kattan fazla değil, yalıtım arayüzü üzerindeki toplam yükseklik 20 metreyi aşmaz. Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için yalıtım birimi yer değiştirmesi Eşitlik 6 ile hesaplanacaktır.

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_D^2 \Gamma_d S_{ae}^{(DD-2)} (T_D) \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Eşitlik 6’da, D_D :Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme, T_D : Deprem yalıtımlı binanın tasarım yer değiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu, Γ_d : Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı, $S_{ae}^{(DD-2)}$: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivmeyi belirtmektedir.

Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için bina etkin periyodu Eşitlik 7 ile hesaplanacaktır.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_D}} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Bu Eşitlik 7’de, M : Binanın toplam kütlesi, k_D : Tasarım deprem yer hareketi yer değiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliğini belirtmektedir.

En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için yalıtım birimi yatay yer değiştirmesi D_M Eşitlik 8 ile hesaplanacaktır.

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \Gamma_d S_{ae}^{(DD-1)} (T_M) \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Eşitlik 8’de, D_M : En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme, T_M : En büyük yer değiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu, Γ_D : Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısı, $S_{ae}^{(DD-1)}$: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme [g].

En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için bina etkin periyodu T_M Eşitlik 9 ile hesaplanacaktır.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_M}} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

Eşitlik 9’da, M: Binanın toplam kütlesi KM : En büyük deprem yer hareketi yer değiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliğidir.

Sönüm ölçeklendirme katsayıları η_D ve η_M Eşitlik 10 ile hesaplanacaktır.

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

Eşitlik 10’da, ξ ,: DD-1 veya DD-2 deprem yer hareketi düzeyindeki yalıtım birimi yer değiştirmeleri için hesaplanan etkin sönüm yüzdesidir.

DD-2 ve DD-1 deprem yer hareketi düzeylerindeki yalıtım arayüzü toplam yer değiştirmesi, yer değiştirme eşitlik 11 ve 12 ile hesaplanacaktır.

$$DTD = DD \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (\text{Eşitlik 11})$$

$$DTM = DM \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (\text{Eşitlik 12})$$

Eşitlikler 11- 12’de, DTD : Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak toplam yer değiştirme, y: yalıtım sistemi rijitlik merkezi ile ilgili eleman arasındaki deprem yüklemesine dik doğrultudaki uzaklık, b: Yapının en uzun plan boyu d’ye dik doğrultudaki en kısa plan boyu, d: Yapının en uzun plan boyu.

Üstyapıya etkileyen kuvvet, tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için Eşitlik 13 ile hesaplanacaktır.

$$V_D = \frac{S_{ae}(DD-2) TD W \eta_D}{R} \quad (\text{Eşitlik 13})$$

Eşitlik 13’te, V_D : Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için hesaplanan üstyapıya etkileyen kuvveti, $S_{ae}(DD-2)$: Tasarım deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme, R: Deprem yükü azaltma katsayısı. η_D : Tasarım deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısını belirtmektedir.

Üstyapıya etkiyen kuvvet, en büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için Eşitlik 14 ile hesaplanacaktır.

$$V_M = \frac{S_{ae}(DD-1) T_M W \eta M}{R} \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Eşitlik 14'te, $S_{ae}(DD-1)$: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde %5 sönüm için yatay spektral ivme, T_M : En büyük yer değiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu. ηM : En büyük deprem yer hareketi düzeyi için sönüm ölçeklendirme katsayısıdır.

1.8. Yalıtım Birimlerinin Temel Özellikleri

Yalıtım sistemleri hem düşey yükler hem de deprem etkileri altında artan yatay yer değiştirmelere karşı artan direnç gösterecek şekilde tasarlanacaktır. Ayrıca bu sistemlerdeki fiziksel özelliklerin değişiklikleri, belirtilen sınırlar içerisinde kalacak şekilde sınırlandırılacaktır.

İzolasyon ünitelerinin tasarım sürecinde, sadece deprem koşulları değil, aynı zamanda rüzgâr yükleri, termal değişiklikler, malzemenin yaşlanması, sünme ve yorulma gibi etkenler ve nemin etkisi gibi çeşitli faktörler göz önünde bulundurulur. Bu faktörlerin hepsi, izolasyon sisteminin tasarımında hesaba katılır. İzolasyon sistemlerinin planlanmasında, deprem yükleri altında izolasyon elemanlarında çekme kuvvetlerinin oluşmaması esas alınır. Bununla birlikte bazı özel şartlar altında, çekme kuvvetlerine dayanabilen özel izolasyon birimleri tercih edilebilir. Bu tür birimlerin, çekme durumunda gösterecekleri rijitlik ve çekme kuvvetlerine karşı dayanımı, deneyler yoluyla test edilip onaylanmalıdır. İzolasyon birimlerinin tasarımı sırasında bu çeşitlilik, yapıların farklı yük ve çevresel koşullar altında nasıl performans göstereceğinin anlaşılmasında önemlidir. Bu çok yönlü yaklaşım, izolasyon sistemlerinin uzun vadeli güvenilirliğini ve etkinliğini artırmak için kritik bir rol oynar.

1.8.1. Yalıtım Sisteminin Kararlılığı

İzolasyon sistemlerinin ve bu sistemlerin altındaki yapısal elemanların dayanıklılığı, DD-1 seviyesindeki deprem yer hareketlerine karşı, izolasyon birimlerinin minimum parametre değerlerini kullanarak yapılan hesaplamalarla doğrulanacaktır. Bu

sistemlerin her bir bileşeni, en büyük yer değiştirmeler meydana geldiğinde bile eksenel yükleri etkin bir şekilde taşıyacak yeterli kapasiteye sahip olmalıdır.

Yapının izolasyon sistemi, DD-1 seviye deprem hareketlerine karşı devrilmeye direnç göstermek için en az 1,0 oranında bir güvenlik katsayısına sahip olmalıdır. Bu güvenlik katsayısının hesaplanmasında, deprem sırasında ve deprem olmadığı durumlarda oluşabilecek tüm yük kombinasyonları göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer izolasyon sisteminden herhangi bir elemanın kalkma veya çekme kuvvetleri altında hareket etmesi söz konusu olursa, binanın genel dayanıklılığının bu durumlarda da korunacağı detaylı hesaplamalarla kanıtlanmalıdır. Bu kapsamlı hesaplamalar, izolasyon sistemlerinin güvenliğinin ve yapısal bütünlüğünün her durumda sağlanmasını garanti eder.

1.8.2. Yalıtım Sistemi Hesap Esasları

Yalıtım birimlerinin tasarımında, DD-1 deprem yer hareketi durumunda, zaman tanım alanı analizi kullanılarak yalıtım sisteminin doğrusal olmayan davranışları dikkate alınacak ve bu analiz sonucunda ortaya çıkan yer değiştirmeler ve eksenel yükler karşılanacak kapasiteye sahip olacak şekilde planlanacaktır. Tasarım aşamasında, deney verileri aksini göstermediği sürece, yalıtım birimlerinin özelliklerinin eksenel kuvvet, sıcaklık, hız gibi etkenlere göre değişimleri göz önünde bulundurulacaktır.

1.8.2.1. Elastomer Yalıtım Birimler

Yalıtım birimlerinin hesaplamalarında kullanılacak parametrelerin üst ve alt değerleri. Bu üst ve alt değerleri, belirli denklemler Eşitlikler (Eşitlik 1-2) kullanılarak hesaplanacaktır.

1.8.2.1.1. Tasarımda Kullanılacak Alt ve Üst Sınır Değerleri

Tasarımda kullanılacak alt ve üst değerler aşağıda verilen Eşitlik 15-16 yardımıyla hesaplanacaktır.

$$\lambda_{\dot{v}st} = [1 + 0,75(\lambda_{ae, \dot{v}st1})]\lambda_{deney, \dot{v}st} \lambda_{spek, \dot{v}st} \quad (\text{Eşitlik 15})$$

$$\lambda_{alt} = [1 + 0,75(\lambda_{ae, alt} - 1)]\lambda_{deney, alt} \lambda_{spek, alt} \quad (\text{Eşitlik 16})$$

Eşitlik 15-16'da, $\lambda_{üst}$: üst sınırı, λ_{alt} : alt sınırı, λ_{ae} yaşlanma ve çevresel etkiler, λ_{deney} yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler, λ_{spek} ise üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir.

1.8.2.1.2. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekil değiştirme Sınırları

Elastomer yalıtım birimlerinin tasarımında, deprem, sabit ve hareketli yükler altında oluşacak şekil değiştirmeler ve bu birimlerin kararlılık durumları incelenecektir. Bu şekil değiştirmeler şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- a) Basınç etkisi altında oluşan açısall şekil değiştirmeler Eşitlik 17 ile verilmiştir.

$$\gamma C = \frac{6SP_{k1}}{A_r EC} \quad (\text{Eşitlik17})$$

Eşitlik 17'de, P_{k1} : verilen yük birleşimi altında elde edilen düşey kuvvet, A_r : tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanıdır, S : tanımlanan şekil katsayısını, E_c : hesaplanan elastomer yalıtım birimi basınç modülünü ifade etmektedir.

- b) Deprem dışındaki diğer faktörlerden (genleşme, rüzgâr vb.) kaynaklanan yatay yer değiştirmelere bağlı açısall şekil değiştirmeler Eşitlik 18 ile verilmiştir.

$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta s}{Tr} \quad (\text{Eşitlik 18})$$

Eşitlik 18'de, Δs : yatay yüklerin uygulanması sonucu meydana gelen yatay yer değiştirmenin büyüklüğünü temsil ederken, Tr : elastomer katmanlarının toplam kalınlığını ifade etmektedir.

1.8.2.1.3. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı

Elastomer yalıtım birimlerinin yatay yer değiştirme olmaksızın hesaplanan burkulma yükü (P_{cr}), farklı tipte yalıtım birimleri için ayrı denklemlerle belirlenir. Dairesel kesitli ve kurşun çekirdek içermeyen yalıtım birimlerinin burkulma yükü.

1.8.2.1.4. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Bağlantıları

Elastomer yalıtım birimlerinin üst ve alt yapıya olan bağlantıları, en büyük yer değiştirmeye uğradıkları durumda oluşan yüklerin 1,1 katı altında hesaplanacak yatay ve düşey kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlanacaktır. Bu yükün hesaplanmasında yalıtım biriminin düşey deprem bileşenleri de dikkate alınacaktır. Bağlantıların hesaplanmasında, yalıtım birimi ile bağlantı yüzeyi arasındaki sürtünme etkisi göz ardı edilecektir.

Eğer elastomerik izolasyon birimleri, üst ve alt yapı arasında standart cıvatalı bağlantılarla entegre edilmişse, yuvarlanma kararlılığına özel bir önem vermek gerekmez. Ancak bu izolasyon birimlerinin ve bağlantı noktalarının çekme kuvvetlerine direnç gösteremediği ve yatay yüklerin kayma kuvvetiyle dengeleme gerektirdiği durumlar söz konusu olduğunda. Bu durum, elastomerik izolasyon birimlerinin ve bağlantı elemanlarının, yük altında güvenli ve istikrarlı bir performans sergilemesi için kritik bir inceleme noktasıdır. Bu değerlendirme, yapısal bütünlüğü ve güvenliğini sağlamak için elzemdir, özellikle de yüksek sismik aktiviteye maruz kalan bölgelerdeki yapılar için. Bu tür bir kontrole tabi tutulmaları, elastomerik izolasyon birimlerinin yük altında etkin bir şekilde çalışmasını ve yapının genel güvenliğini artırmaya yardımcı olur.

2. YAPILAN ÇALIŞMA LAR

Bu çalışmada, yalıtım sisteminin tasarımı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Bölüm 14'te tanımlanan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında örnek olarak seçilen hastane binası ankastre mesnetli olarak modellenmiş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. İkinci aşamada kurşun çekirdek kauçuk ve sürtünmeli sarkaç tipi izolatörleri birlikte kullanılması durumunda da zaman tanım alanında doğrusal olmayan deprem davranışı gerçekleştirilmiştir.

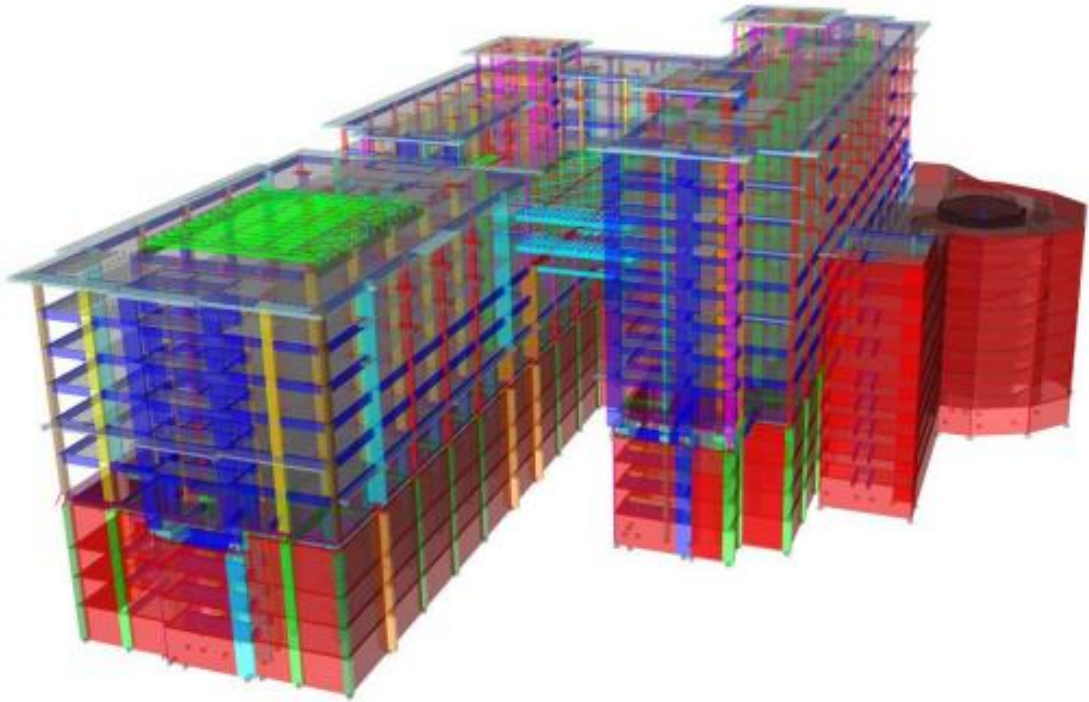
2.1. Modellenecek Yapı Özellikleri

Bu çalışma kapsamında İstanbul ili Fatih ilçesi Haseki Sultan mahallesinde inşası bitmiş olan Haseki Eğitim ve Araştırma Devlet Hastanesi örnek yapı olarak seçilmiştir (Şekil 37). Yapıda kullanılan taban izolatörler kurşun çekirdek kauçuk ve sürtünme sarkaç tipi izolatörlerdir. Hastane binası, DD-1 ve DD-2 deprem seviyeleri altında “Kesintisiz Kullanım” performans seviyesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. İzolatör altı tasarımında 50 yılda aşılma olasılığı 2% olan (2475 yıl tekrarlanma aralığına sahip) olası depremde sonra kesintisiz kullanım gerektiren hastane binasında deprem izolatörü kullanılmıştır. İzolatör kotları-5.70 ve-7.70 olarak belirlenmiştir. Toplam 248 adet izolatör kullanılmıştır. İzolatörlü binaların yanal yöndeki maksimum yer değiştirmeleri göz önüne alındığında dilatasyon mesafeleri 100 cm olarak öngörülmüştür. Yapı ile ilgili detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde verilmiştir. Şekil 38’te üç boyutlu sonlu elemanlar modeli verilmektedir. Yapının herhangi bir kattaki kalıp planı Şekil39’da verilmiştir. Yapı 165 metre uzunluğunda, 120 metre genişliğindedir ve 14 katlıdır. Yapı oturum alanı yaklaşık 6400 m²’dir. Kolon boyutları; 40x40 cm ile 220x100 cm arasında değişken boyutlarda yer almaktadır. Perde kalınlıkları; 30 ve 40 cm’dir. Döşeme sistemi kirişsiz döşemedir. Döşeme kalınlıkları 30 ve 40 cm’dir. Mesnet bölgelerinde kolon başlıkları kullanılmıştır.

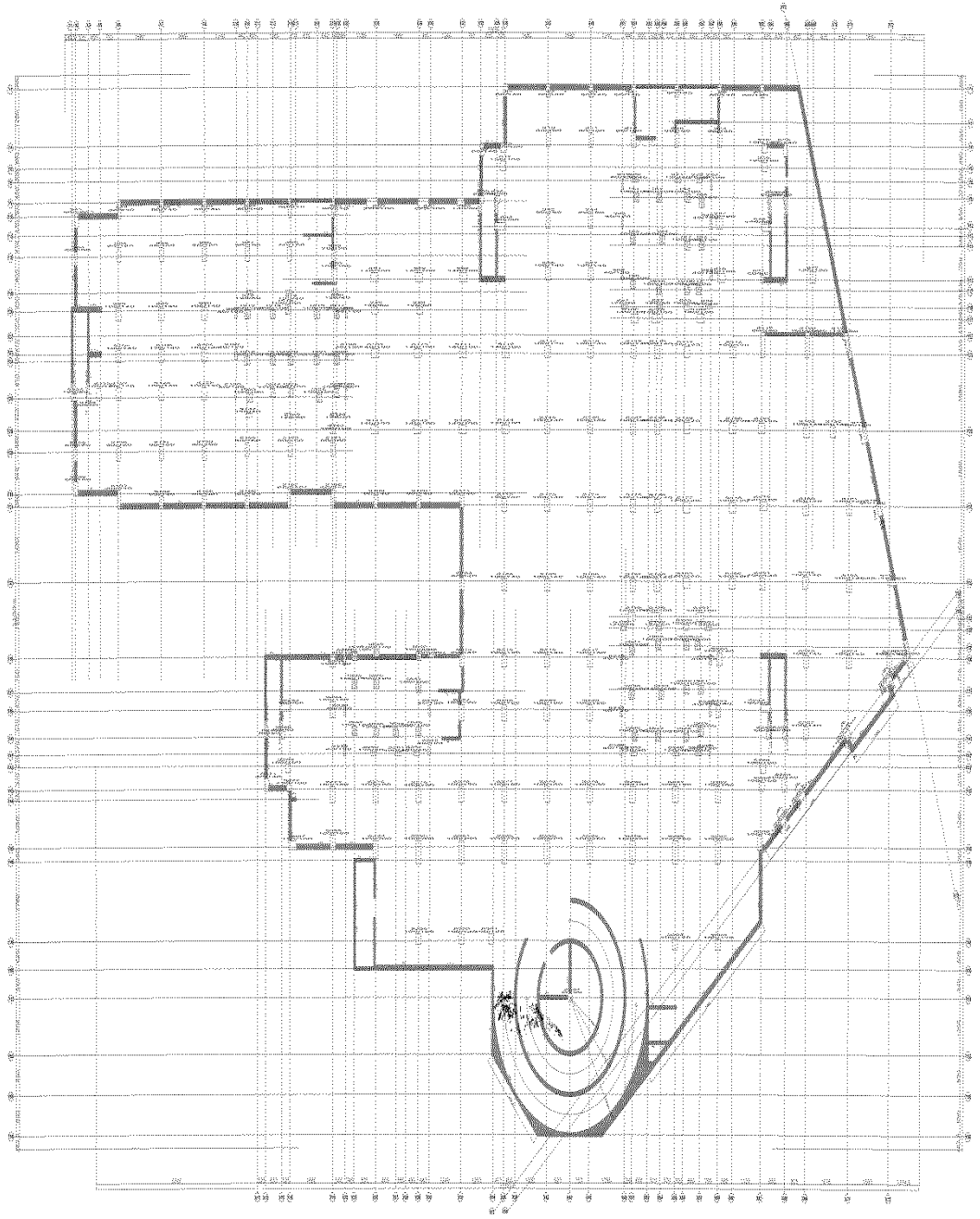
- $S_s = 0.990$
- $S_1 = 0.274$
- $SDS = 1.093$
- $SD1 = 0.562$
- $PGA = 0.406$
- $PGV = 24.972$



Şekil 37. Haseki devlet hastanesi bitmiş hali üç boyutlu görünüşü



Şekil 38. Hastane binasının 3D Sonlu eleman modeli



Şekil 39. Hastane binasının kat kalıp planı (cm)

Yapısal Malzeme

➤ Beton

Yapıda kullanılacak beton sınıflarına ait dayanım değerleri ve uygulama alanları aşağıda listelenmiştir. Tablo 1’de Beton basınç dayanımları ve uygulama alanları verilmektedir.

Tablo 1. Beton basınç dayanımları ve uygulama alanları

Beton sınıfı	Karakteristik silindir basınç dayanımı (MPa)	Karakteristik kübik basınç dayanımı (MPa)	Elastisite modülü 28 gün (MPa)	Poisson oranı	Uygulama
C16	16	20	27000	0.2	Grobeton
C40	40	50	34000	0.2	Yapısal beton

➤ Donatı Çeliği

Yapıda kullanılan donatı çeliğine ait önemli parametreler Tablo 2’de Donatı Mekanik Özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. Donatı mekanik özellikleri

Mekanik özellikleri	B420C
Minimum akma dayanımı, $f_yk(Mpa)$	≥ 420
Minimum kopma dayanımı/ minimum akma dayanımı	≥ 1.15 ≤ 1.35
Deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı	≥ 1.3
Kopma birim uzması $\geq$	≥ 12

➤ **Birim Ağırlıklar**

Yapı elemanlarının kendi ağırlığı, analiz sırasında yazılım tarafından otomatik olarak birim ağırlık ve eleman boyutları kullanılarak dikkate alınmıştır. Yapısal elemanların kendi ağırlıkları aşağıdaki birim ağırlıklara göre hesaplanacaktır Tablo 3'te birim ağırlıklara göre hesaplanmıştır.

Tablo 3. Birim ağırlıklar

Betonarme betonu	: 25 KN/m ³
Yapısal çelik	: 78.5 KN/m ³
Sıkıştırılmış geri dolgu	: 20 KN/m ³

➤ **Zemin Özellikleri**

Parametrelerin belirlenmesi için Haseki Hastanesi Geoteknik Raporu kullanılmıştır. Sondajlardan elde edilen veriler ve yapılan laboratuvar deneylerinin neticesinde zemin tipi ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir: TBDY 2018 Tablo 4'e göre ZD sınıfı olarak tanımlanan zemine ait özellikler aşağıda listelenmiştir.

Tablo 4. Zemin özellikleri

Yerel zemin sınıfı	: ZD
Taşıma gücü	: 1200 KPa
Yatak katsayısı	: 67200 KN/m ³

➤ **Sabit Yükler (G)**

Sabit yüklere ait değerler Tablo 5’te özetlenmiştir

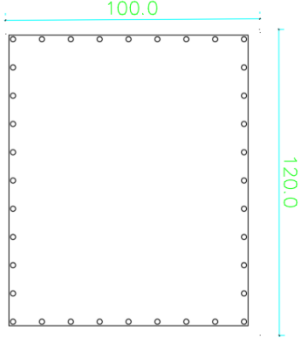
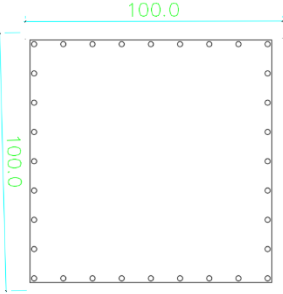
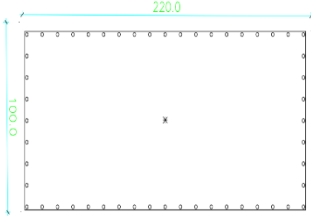
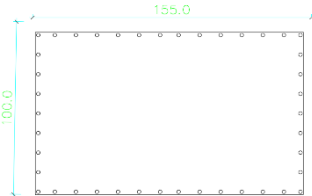
Tablo 5. Sabit yükleri

Hastane odası	: 3.00 KN/m ³
Merdivenler	: 4.00 KN/m ³
Konferans salonu	: 6.00 KN/m ³
Dolgu	: 15.00 KN/m ³
Otopark	: 2.40 KN/m ³
Duvar yk	: 1.50 KN/m ³

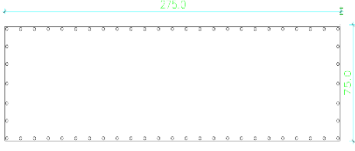
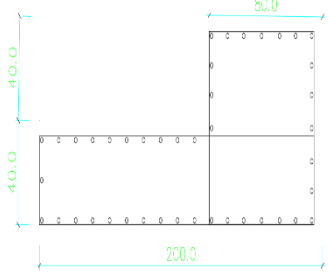
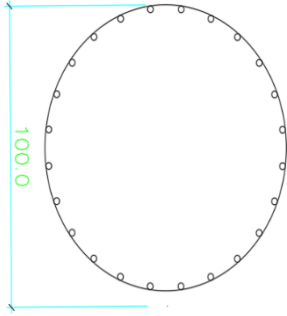
➤ Kolon Aplikasyon

Kolon aplikasyonları Tablo 6’da verilmiştir.

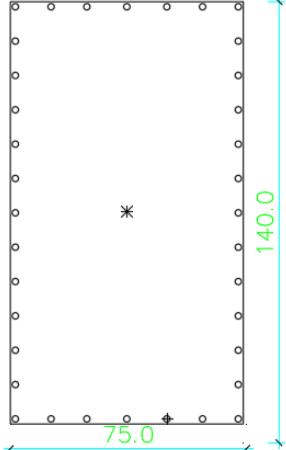
Tablo 6. Kolon boyutları

Kolon kesitleri	Kolon boyutları (cm)	Boyuna donatı	Etriye	Paspayı (cm)
	S(100*120)	36Ø32	Ø12/10	3
	S(100*100)	42 Ø 32	Ø12/10	3
	S(100*220)	52 Ø 32	Ø12/10	3
	S(100*155)	44 Ø26	Ø12/10	3

Tablo 6. (Devam)

Kolon kesitleri	Kolon boytları (cm)	Boyuna donatı	Etriye	Paspayı (cm)
	S(75*275)	44 Ø26	Ø12/10	3
	S(AL)	44 Ø26	Ø12/10	3
	S(100*100)	44 Ø32	Ø12/10	3

Tablo 6. (Devam)

Kolon kesitleri	Kolon boytları (cm)	Boyuna donatı	Etriye	Paspayı (cm)
	S(75*140)	20 Ø26	Ø12/10	3

2.1.1. Depremsellik Durumu

➤ Deprem Tehlike Bölgesi

Yapının deprem hesaplarında, 2019 yılında yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar” hükümleri esas alınmıştır. TBDY 2018 16.4’e göre yapılan yerel zemin sınıflandırmasında ZD sınıfı olarak tanımlanmıştır. Yapının bulunduğu alanda sahaya özel deprem tehlike analizleri yapılmıştır.

➤ Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)

Bina Kullanım Sınıflarına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için 2.3.2.2’de tanımlanan Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısına bağlı olarak, deprem etkisi altında tasarımda esas alınacaktır.

Bina kullanım sınıfı	BKS1
Bina önem katsayısı	1.5
Deprem tasarım sınıfı	DTS= 1 a
Toplam bina yüksekliği	31.3
Bina yükseklik sınıfı	BYS=4

dikkate alınmıştır.

➤ **Bina Yükseklik Sınıfı**

➤ **(BYS)**

Deprem etkisi altında tasarımda binalar yükseklikleri bakımından sekiz Bina Yükseklik Sınıfı'na (BYS) ayrılmıştır. Yapı için, esas alınarak tanımlanan yükseklik aralıkları, aşağıda belirtilmiştir. BYS= 4 alınmıştır.

2.1.2. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Yerinde dökme ve ön üretimli betonarme, çelik, hafif çelik, yığma, ahşap bina taşıyıcı sistemleri ve TBDY 2018'de tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve dayanım fazlalığı katsayısı (D) aşağıda verildiği gibi analizler de dikkate alınmıştır.

İzolatör üstü

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R):1.2

Dayanım fazlalığı katsayısı (D): 1.2

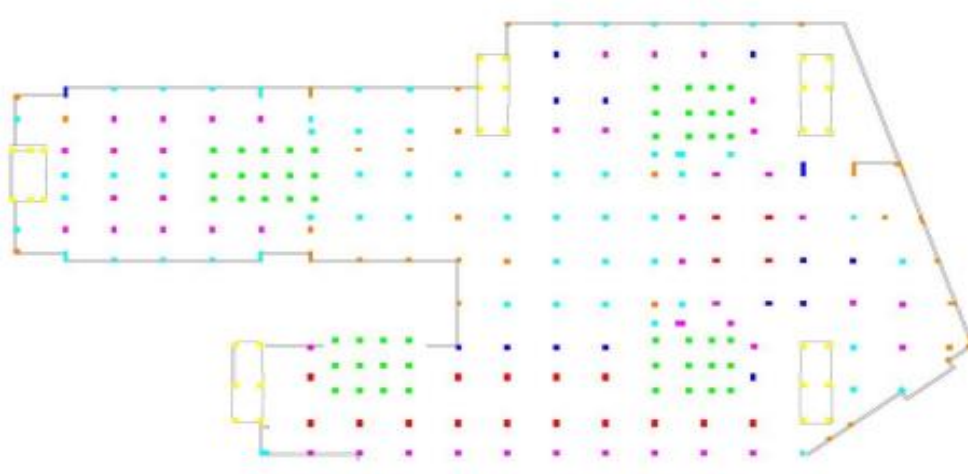
İzolatör altı

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R):1

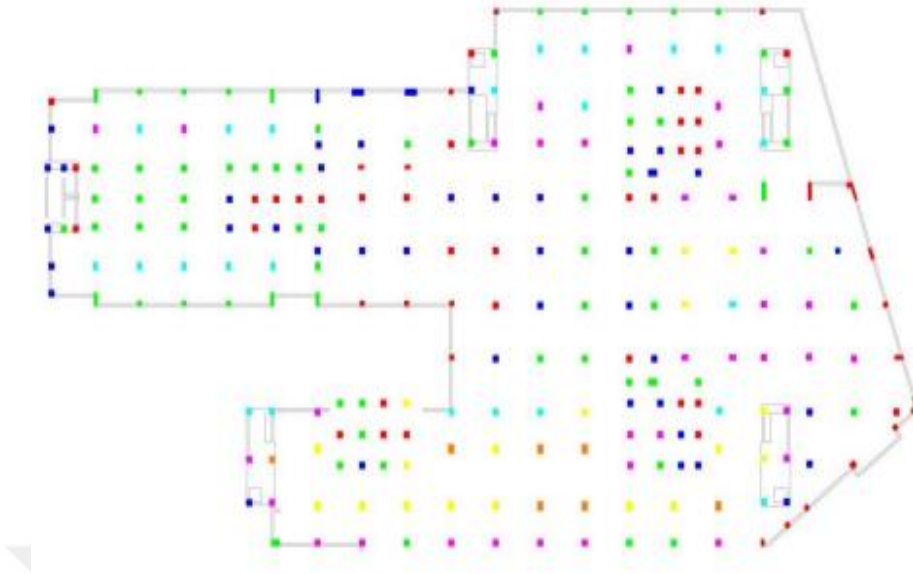
Dayanım fazlalığı katsayısı(D): 1

2.2. Taban Yalıtımı Özellikleri

Şekil 40-41'de gösterildiği gibi Taban yalıtımı özellikleri sürtünmeli sarkaç tipi (FPS) ve kurşun çekirdekli kauçuk tipi (LRB) için ayrı ayrı belirlenmiştir. Bina taban yalıtımında her kolon altına birer tane olmak üzere toplamda 248 adet sismik izolatör kullanılması öngörülmüştür.



Şekil 40. FPS sismik izolatör noktaları



Şekil 41. LRB sismik izolatör noktaları

2.3. Yapısal Analiz Aşamaları

2.3.1. Sürtünmeli Sarkaç Tipi izolatör (FPS)

TBDY Bölüm 14.14.2 kapsamında, “Etkin Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılarak, yukarıda 1.7 ve 1.8.2.1.1 bölümlerindeki eşitlikleri kullanılarak istenilen değerleri elde edilmiştir (TBDY-2018).

$$\mu_{\text{nominal}} (\text{Sürtünme Katsayısı}) = 0.054 (5.40 \%)$$

$$\lambda_{\text{Alt}} = 0.8$$

$$\lambda_{\text{Üst}} = 1.5$$

$$\mu_{\text{Alt}} = 0.043 (\%4.3)$$

$$\mu_{\text{Üst}} = 0.08 (\%8)$$

$$R (\text{Eğrilik Yarıçapı}) = 6 \text{ m}$$

Yapılan iterasyonlar sonucunda aşağıdaki değerler elde edilmiştir (TBDY-2018).

$$K_{\text{eff}} (\text{Efektif Rijitlik, MCE alt sınır}) = 0.2501 (1/\text{m}) (\text{Eksenel yükten bağımsız})$$

K_{eff} (Efektif Rijitlik, MCE üst sınır) = 0.3876 (1/m) (Eksenel yükten bağımsız)

K_{eff} (Efektif Rijitlik, DBE alt sınır) = 0.3682 (1/m) (Eksenel yükten bağımsız)

K_{eff} (Efektif Rijitlik, DBE üst sınır) = 0.6054 (1/m) (Eksenel yükten bağımsız)

T_{eff} (Efektif Periyot, MCE alt sınır) = 4.05 sn

T_{eff} (Efektif Periyot, MCE üst sınır) = 3.20 sn

T_{eff} (Efektif periyot, DBE alt sınır) = 3.30 sn

T_{eff} (Efektif periyot, DBE üst sınır) = 2.60 sn

ζ_{eff} (Efektif sönüm, MCE alt sınır) = %21.24

ζ_{eff} (Efektif sönüm, MCE üst sınır) = %36,29 (%30 ile sınırlandırılmıştır.)

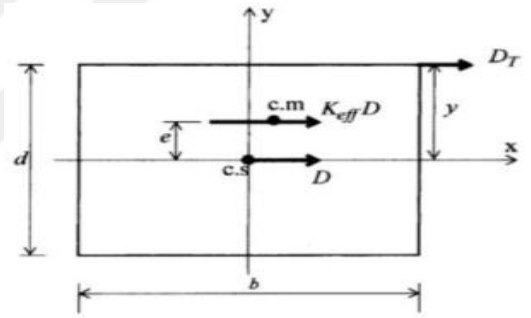
ζ_{eff} (Efektif sönüm, DBE alt sınır) = %34.85 (%30 ile sınırlandırılmıştır.)

ζ_{eff} (Efektif sönüm, DBE üst sınır) = %46,14 (%30 ile sınırlandırılmıştır.)

D_D (alt-sınır) = 22 cm

D_M (alt-sınır) = 52 cm

Yapıdaki burulma etkileri dikkate alındığında:



$$X_G = 86 \text{ m}$$

$$Y_G = 37 \text{ m}$$

$$X_R = 88 \text{ m}$$

$$Y_R = 42 \text{ m}$$

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

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

$$D_{TD} \text{ (alt-sınır)} = 1.13 \times 22 = 25 \text{ cm}$$

$$D_{TM} \text{ (alt-sınır)} = 1.13 \times 52 = 59 \text{ cm}$$

Üst Yapıya Etkiyen Kuvvet:

$$V_D/W \text{ (üst-sınır)} = (S_{ae} \cdot T_d \eta_d) / R = 0.206 \cdot 0.5345 / 1.2 = 0.092 \leq 0.2$$

$$V_D/W \text{ (üst-sınır)} = 0.092$$

Alt Yapıya Etkiyen Kuvvet

$$VM/W \text{ (üst-sınır)} = (Sae \cdot Tm \eta m) / R = 0.270 \cdot 0.5345 / 1 = 0.144$$

$$V_M/W \text{ (üst-sınır)} = 0.144$$

2.3.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Tipi İzolatör (LRB):

TBDY-2018 Bölüm 14.14.2 kapsamında, “Etkin Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılarak, aşağıdaki izolatör parametreleri ve öngörülen deplasman ve taban kesmeleri hesaplanmıştır.

Yapılan iterasyonlar sonucunda aşağıdaki değerler elde edilmiştir (TBDY-2018).

$$K_{eff} \text{ (Efektif Rijitlik, MCE alt sınır)} = 339254 \text{ (kN/m)}$$

$$K_{eff} \text{ (Efektif Rijitlik, MCE üst sınır)} = 568188 \text{ (kN/m)}$$

$$K_{eff} \text{ (Efektif Rijitlik, DBE alt sınır)} = 459992 \text{ (kN/m)}$$

$$K_{eff} \text{ (Efektif Rijitlik, DBE üst sınır)} = 818260 \text{ (kN/m)}$$

$$T_{eff} \text{ (Efektif Periyot, MCE alt sınır)} = 3.62 \text{ sn}$$

$$T_{eff} \text{ (Efektif Periyot, MCE üst sınır)} = 3.24 \text{ sn}$$

$$T_{eff} \text{ (Efektif periyot, DBE alt sınır)} = 3.11 \text{ sn}$$

$$T_{eff} \text{ (Efektif periyot, DBE üst sınır)} = 2.70 \text{ sn}$$

$$\zeta_{eff} \text{ (Efektif sönüm, MCE alt sınır)} = \%16,80$$

$$\zeta_{eff} \text{ (Efektif sönüm, MCE üst sınır)} = \%30 \text{ (\%30 ile sınırlandırılmıştır.)}$$

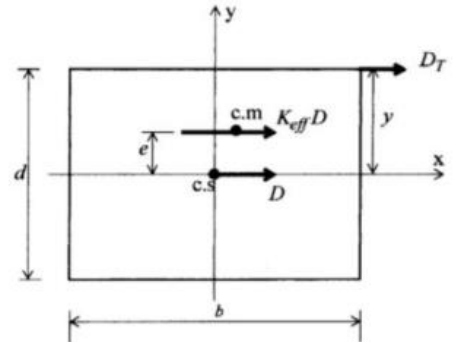
$$\zeta_{eff} \text{ (Efektif sönüm, DBE alt sınır)} = \%28$$

$$\zeta_{eff} \text{ (Efektif sönüm, DBE üst sınır)} = \%30 \text{ (\%30 ile sınırlandırılmıştır.)}$$

$$D_D \text{ (alt-sınır)} = 21 \text{ cm}$$

$$D_M \text{ (alt-sınır)} = 49 \text{ cm}$$

Yapıdaki burulma etkileri dikkate alındığında;



$$X_G = 86 \text{ m}$$

$$Y_G = 37 \text{ m}$$

$$X_R = 88 \text{ m}$$

$$Y_R = 42 \text{ m}$$

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

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

$$D_{TD} (\text{alt-sınır}) = 1.13 \times 21 = 24 \text{ cm}$$

$$D_{TM} (\text{alt-sınır}) = 1.13 \times 52 = 56 \text{ cm}$$

Üst Yapıya Etkiyen Kuvvet:

$$V_D/W (\text{üst-sınır}) = (S_{ae} \cdot T_d \eta_d) / R = 0.243 \cdot 0.5345 / 1.2 = 0.108 \leq 0.2$$

$$V_D/W (\text{üst-sınır}) = 0.108$$

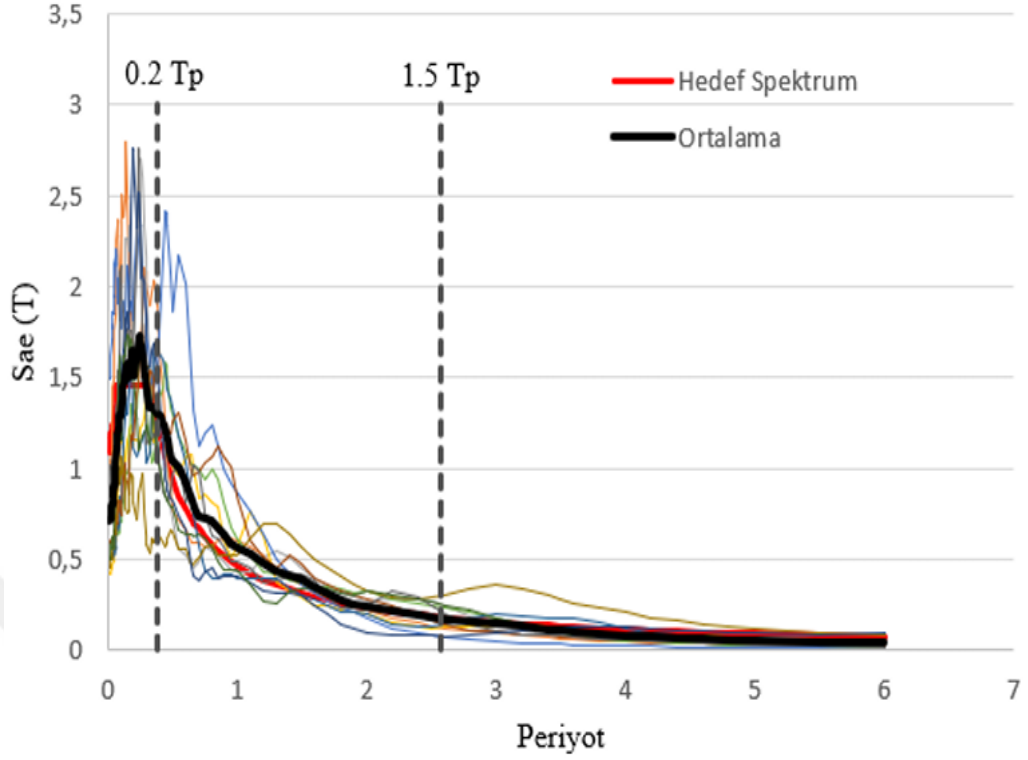
Alt Yapıya Etkiyen Kuvvet:

$$V_M/W (\text{üst-sınır}) = (S_{ae} \cdot T_m \eta_m) / R = 0.270 \cdot 0.5345 / 1 = 0.144$$

$$V_M/W (\text{üst-sınır}) = 0.144$$

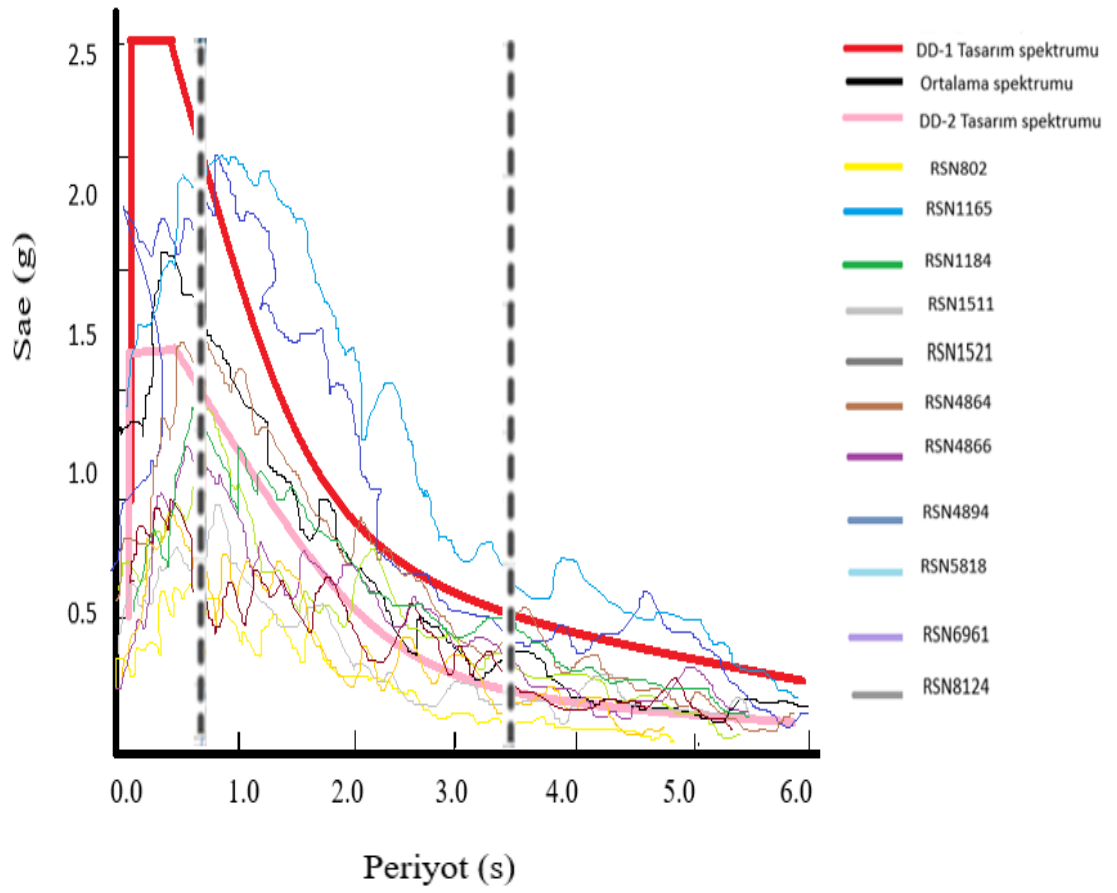
2.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analizi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler, depremin düşey bileşeni de dahil olmak üzere 3 bileşenli olarak yürütülmüştür. Her bir deprem kaydına ait birbirine dik 2 bileşen 90 derece döndürülmek sureti ile 2 farklı yük tanımlanması ile tanımlanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile izolatörlerin maksimum bileşke deplasmanları, maksimum bileşke taban kesme kuvveti, maksimum bileşke kat ivmelenmeleri ve görelî kat ötelemeleri kontrolleri yapılmıştır. Deprem kayıtlarının seçimi yapıldığında kullanılacak spektrum deprem üst sınır (DD-1) düzeyinde AFAD internet sitesinde yer alan deprem tehlike haritaları aracılığı ile oluşturulmuştur. Seçilmiş olan deprem kayıtlarının bileşkesi yatay spektrumun 0.2Tp ve 1.5Tp Şekil 42’de gösterilmiştir. (Çavdar ve Bayraktar, 2016).



Şekil 42. Basit ölçeklendirme sonucu oluşan spektrumlar

Karakteristikleri özetlenen deprem yer hareketlerinin deprem yalıtımlı olarak modellenen yapıların zaman tanım alanında analizlerinde kullanılmak üzere uygun yöntemlerle ölçeklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Temel olarak izin verilen basit ölçeklendirme ve spektral uyum yöntemlerinden tez kapsamında basit ölçeklendirme yöntemi seçilmiş ve uygulanmıştır (Çavdar, 2023). TBDY 2.5.2’de ayrıntıları verilen yönteme göre seçilen 11 adet deprem kaydına ait spektrumların ortalamasının belirli periyotlar ölçeklendirilmiştir. TBDY 2.5.2’de ankastre yapılar için verilen $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ değeri yine aynı maddenin yönlendirmesi ile deprem yalıtımlı yapı için TBDY 14.14.4.2 gereği $0.5T_M$ ve $1.25T_M$ olarak belirlenmiştir. Şekil43’te gösterildiği gibi yine burada bahsedilen genliğe ait minimum periyot sınır değeri, depremi yalıtımlı yapının üst sınır değerleri ile; maksimum periyot sınır değeri ise deprem yalıtımlı yapının alt sınırı değerleri ile yönetmeliğe uygun şekilde hesaplanmıştır. Buna göre deprem yalıtımlı yapıda ölçeklendirme dikkate alınan genlik aralığı 0.8 s ($0.5 \cdot T_M = 0.5 \cdot 1.6 = 0.8\text{ s}$) ile 3.43 s ($1.25 \cdot T_M = 1.25 \cdot 2.75 = 3.43\text{ s}$) olarak elde edilmiştir.



Şekil 43. Sismik yalıtımlı bina için ölçülendirilmiş yatay spektrum ve DD-1 ile DD-2 deprem yer hareketleri düzeylerine ait yatay elastik tasarım ivme spektrumları

Bunu yapıldıktan sonra deprem kayıtlarının tanıtılması “Peer Strong Motion Database” kullanılarak yapılmıştır. Seçilen deprem kayıtları bilgileri Tablo 7-8’de gösterildiği gibi verilmiştir. (Peer, 2025).

Tablo 7. DD-2 Yapısal analizlerde kullanılan yer hareketleri ve özellikleri

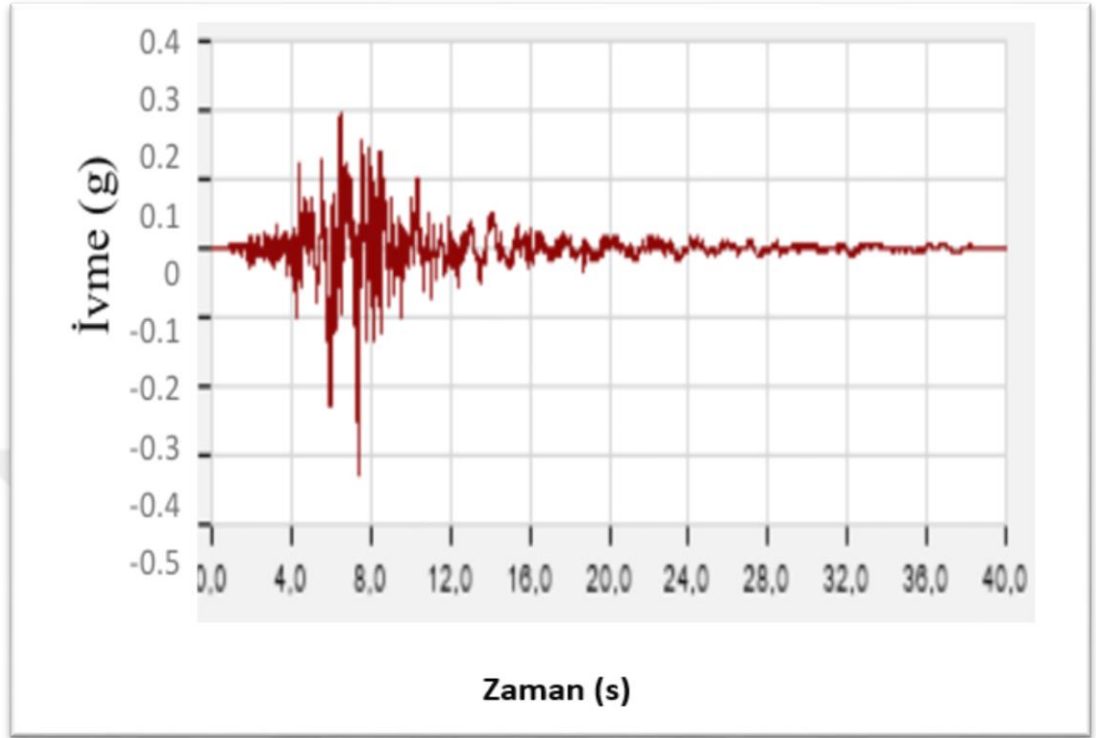
RSN	Yer	Büyüklik	Derinliği(km)	Kayıt süresi	Fay tipi	Ölçek
RSN802	Loma Prieta	6.93	7.6	40	RV	0.97
RSN1165	Kocaeli, Turkey	7.51	3.6	30	SS	1.35
RSN1184	Chi-Chi, Taiwan	7.62	19.9	135	RV	2.68
RSN1511	Chi-Chi, Taiwan	7.62	2.7	90	RV	0.88
RSN1521	Chi-Chi, Taiwan	7.62	0.0	90	RV	1.44
RSN4864	Chuetsu- oki.	6.80	4.7	60	RV	2.06
RSN4866	Chuetsu- oki.	6.80	0.0	60	RV	1.56
RSN4894	Chuetsu- oki.	6.80	0.0	70	RV	0.41
RSN5818	Iwate.	6.90	12.8	120	RV	0.91
RSN6961	Darfield, New Zealand	7.00	13.4	65	SS	3.15
RSN8124	Christchur ch, New Zealand	6.20	9.4	65	RV	1.49

Tablo 8. DD-1 Yapısal analizlerde kullanılan yer hareketleri ve özellikleri

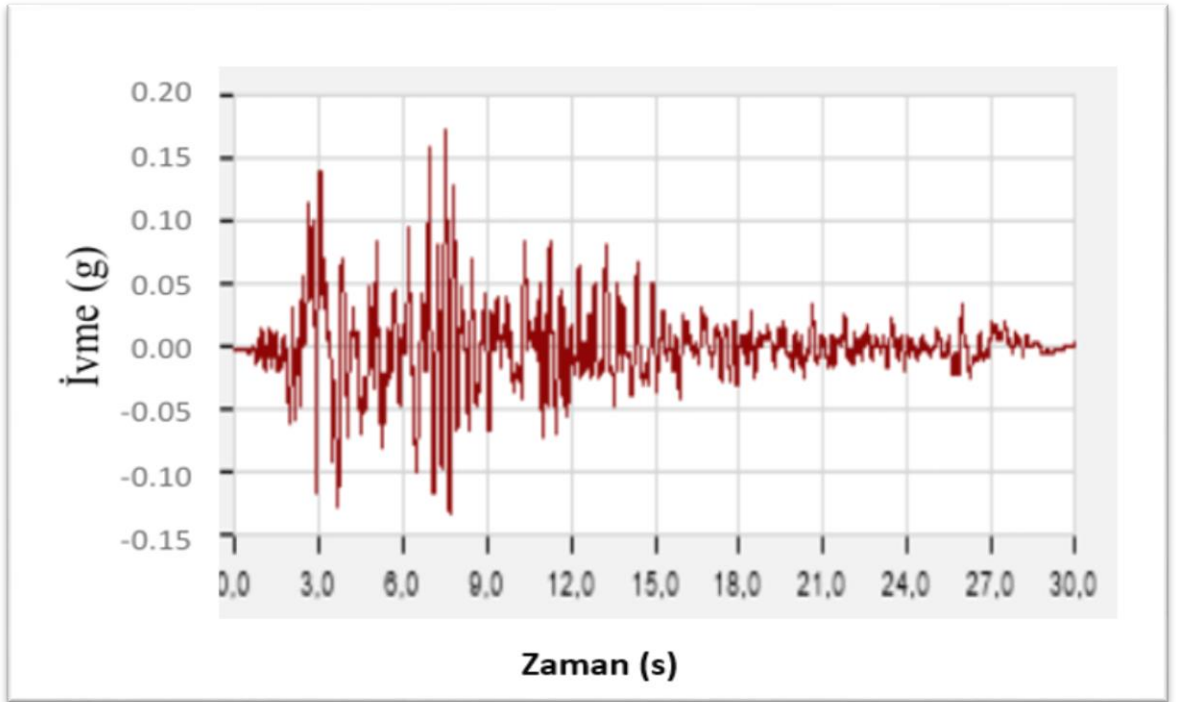
RSN	Yer	Büyükölük	Derinliğı(km)	Kayıt süresi	Fay tipi	Ölçek
RSN802	Loma Prieta	6.93	7.6	40	RV	1.67
RSN1165	Kocaeli, Turkey	7.51	3.6	30	SS	2.29
RSN1184	Chi-Chi, Taiwan	7.62	19.9	135	RV	5.00
RSN1511	Chi-Chi, Taiwan	7.62	2.7	90	RV	1.44
RSN1521	Chi-Chi, Taiwan	7.62	0.0	90	RV	2.35
RSN4864	Chuetsu-oki.	6.80	4.7	60	RV	3.74
RSN4866	Chuetsu-oki.	6.80	0.0	60	RV	2.68
RSN4894	Chuetsu-oki.	6.80	0.0	70	RV	0.76
RSN5818	Iwate.	6.90	12.8	120	RV	1.52
RSN6961	Darfield, New Zealand	7.00	13.4	65	SS	4.98
RSN8124	Christchurch, New Zealand	6.20	9.4	65	RV	2.55

2.4.1. Seçilen Kayıtlara Ait İvme – Zaman Grafikleri ve Tepki Spektrumları

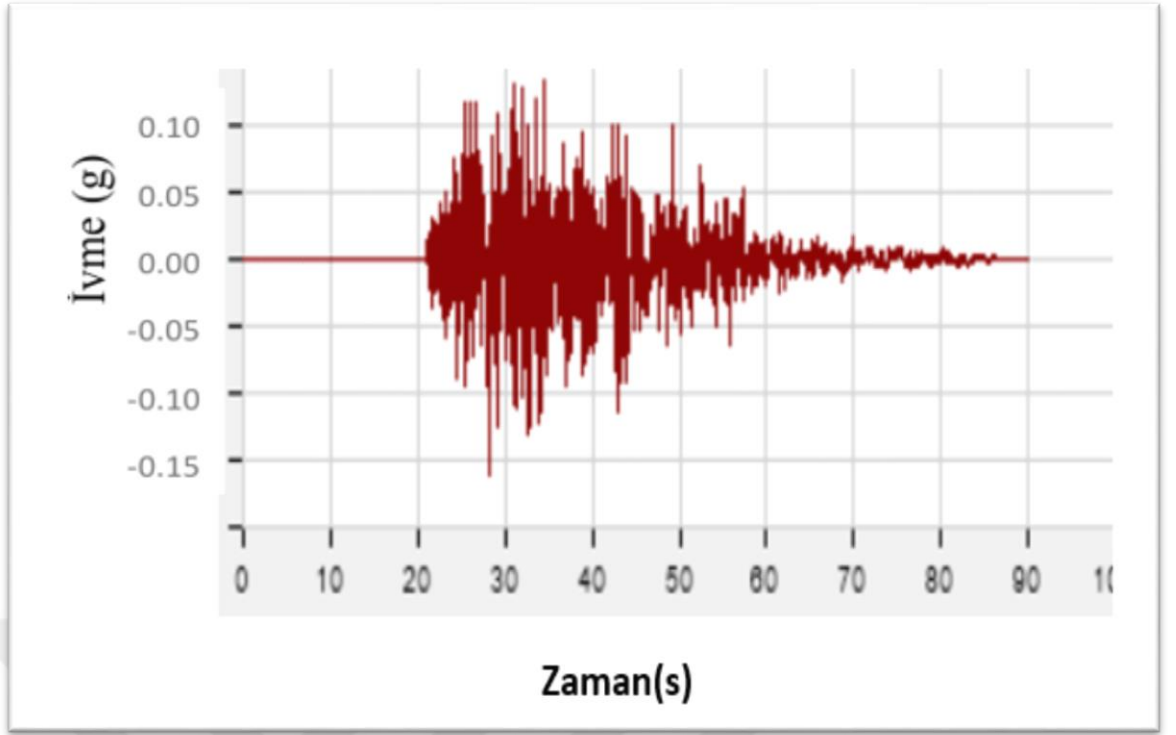
Tablo 7’de verildiği deprem kayıtlarına ait ivme zaman grafikleri Şekil 44-54’te verilmiştir.



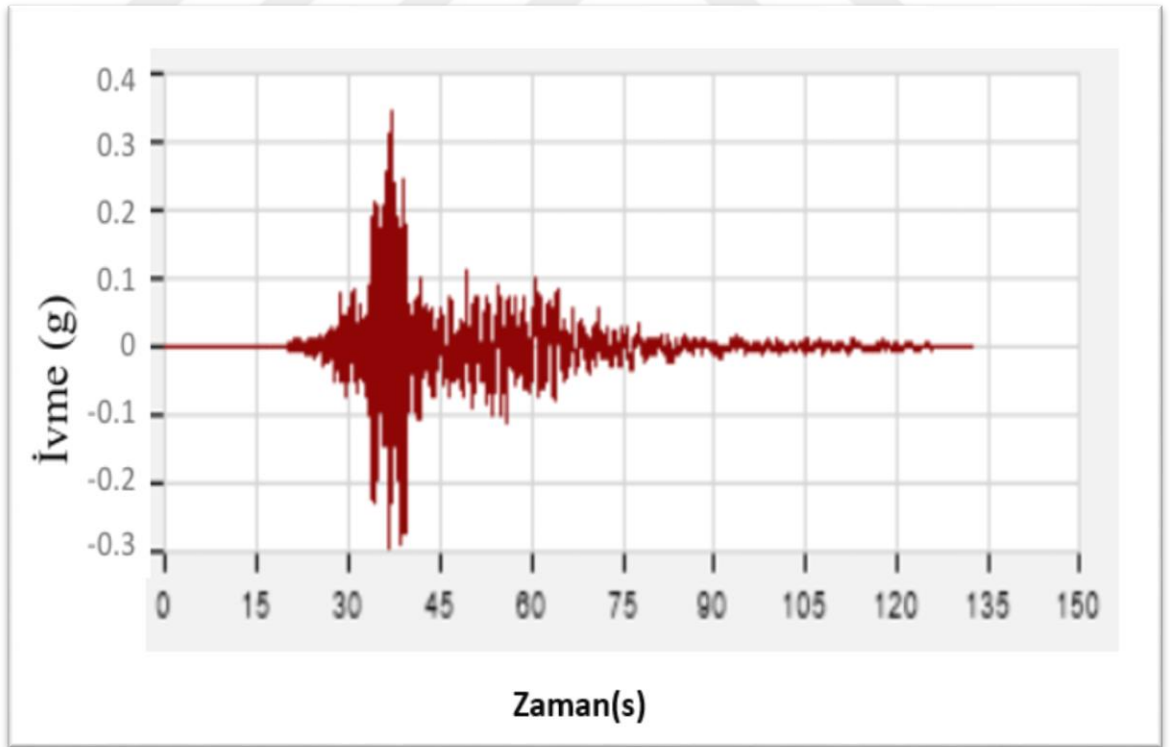
Şekil 44. RSN 802 ivme zaman grafiği



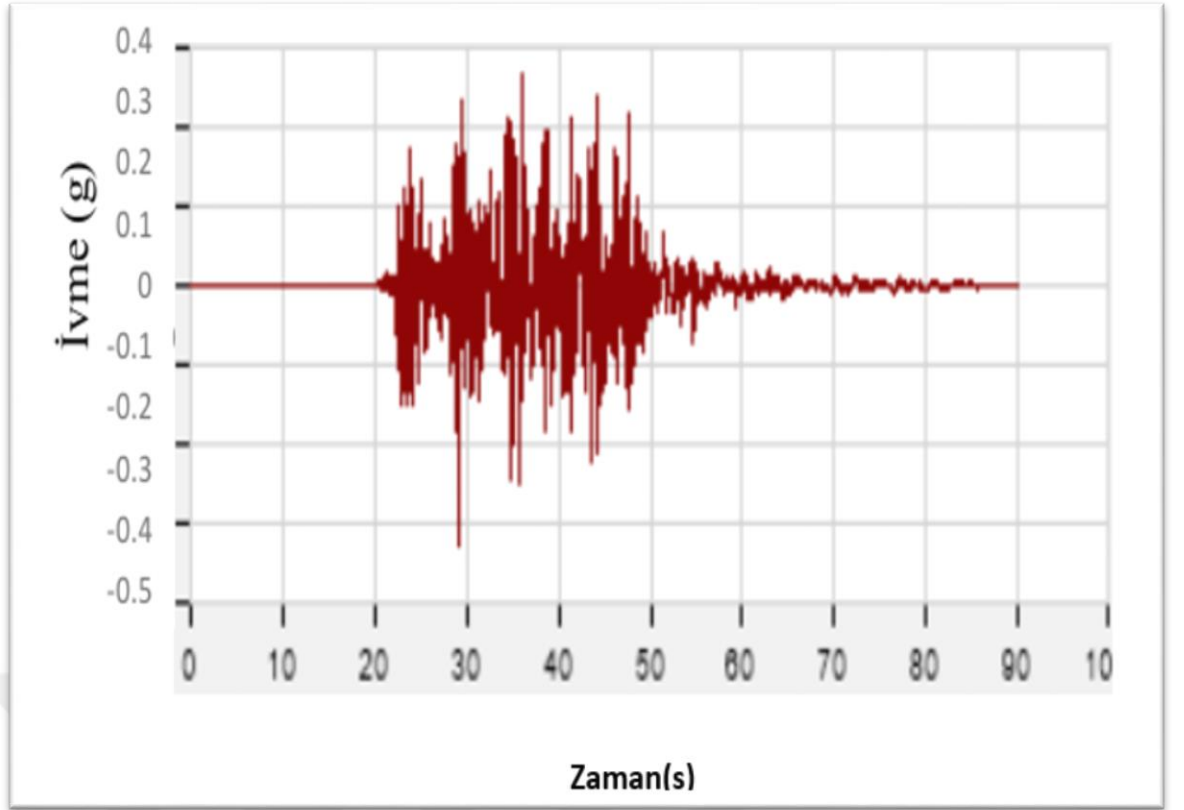
Şekil 45. RSN 1165 ivme zaman grafiği



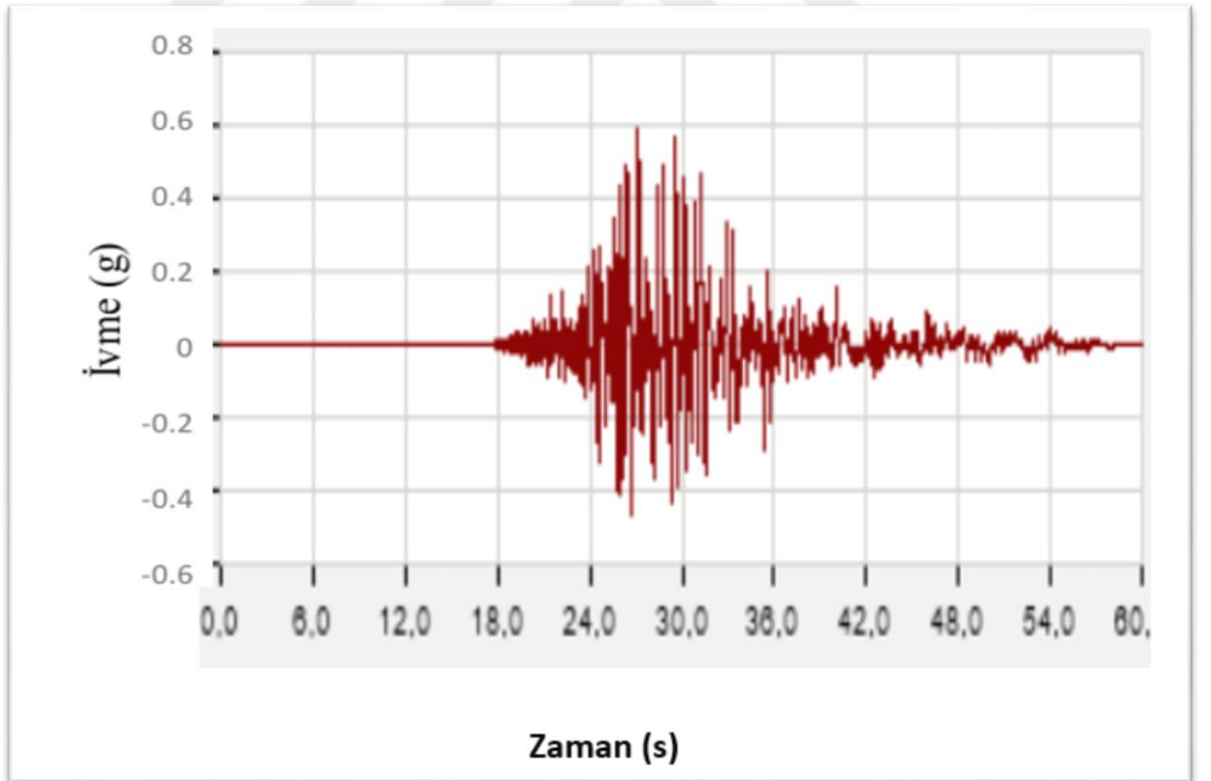
Şekil 46. RSN 1184 ivme zaman grafiği



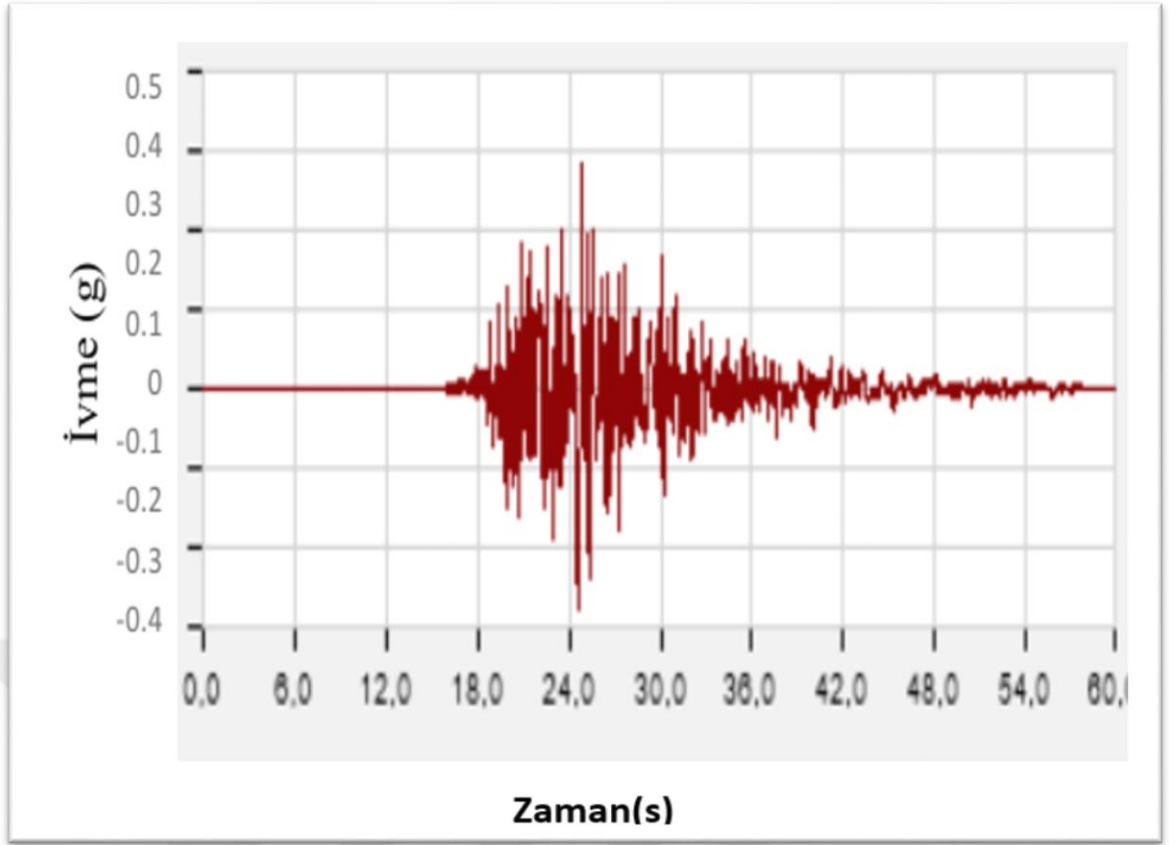
Şekil 47. RSN 1511 ivme zaman grafiği



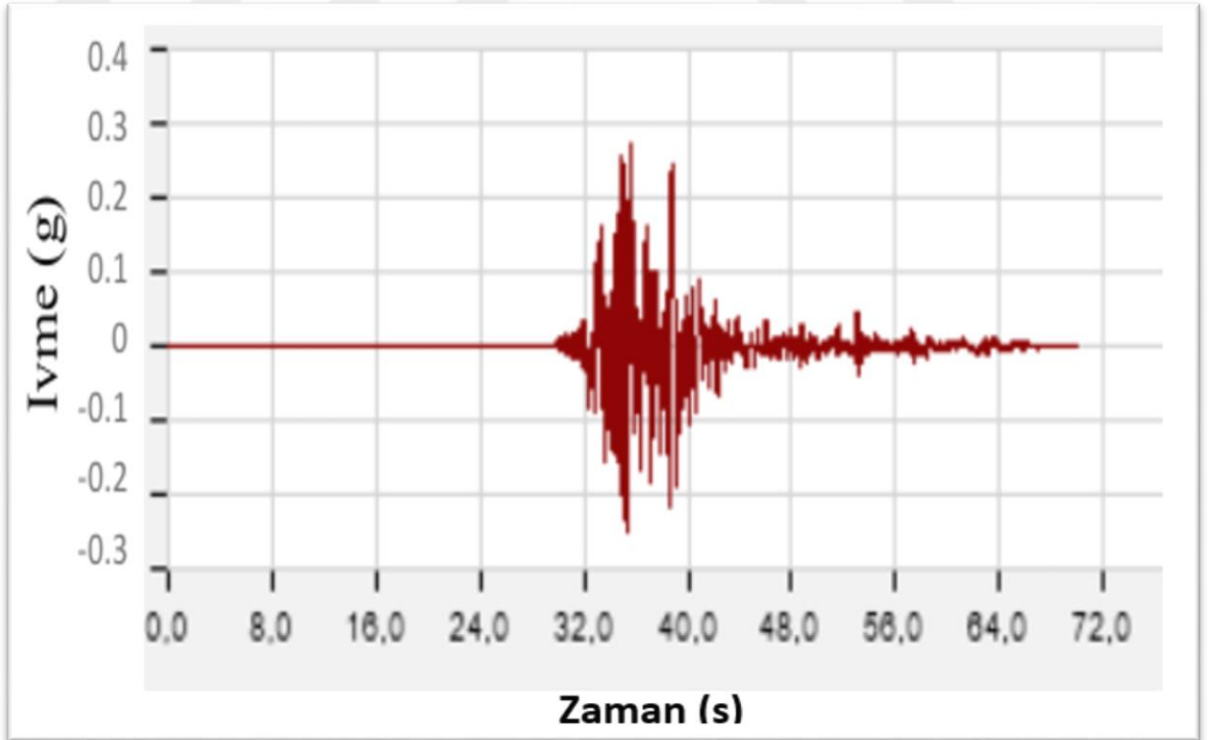
Şekil 48. RSN 1521 ivme zaman grafiği



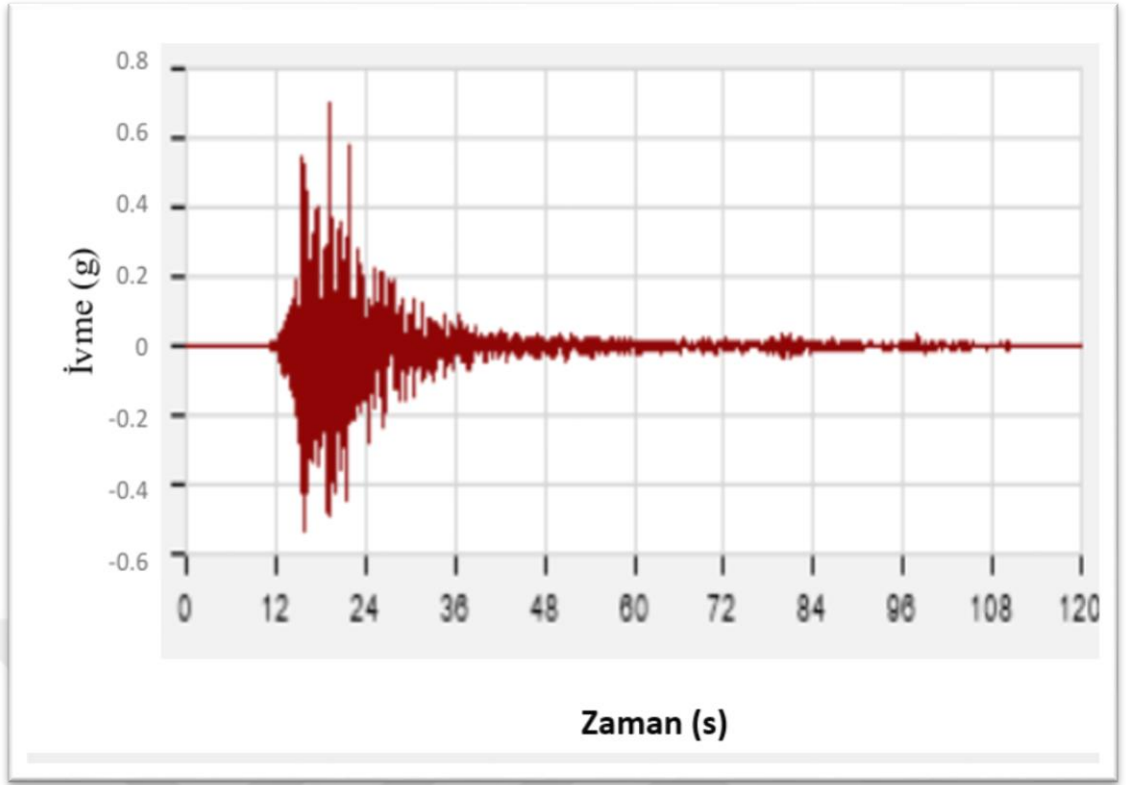
Şekil 49. RSN 4864 ivme zaman grafiği



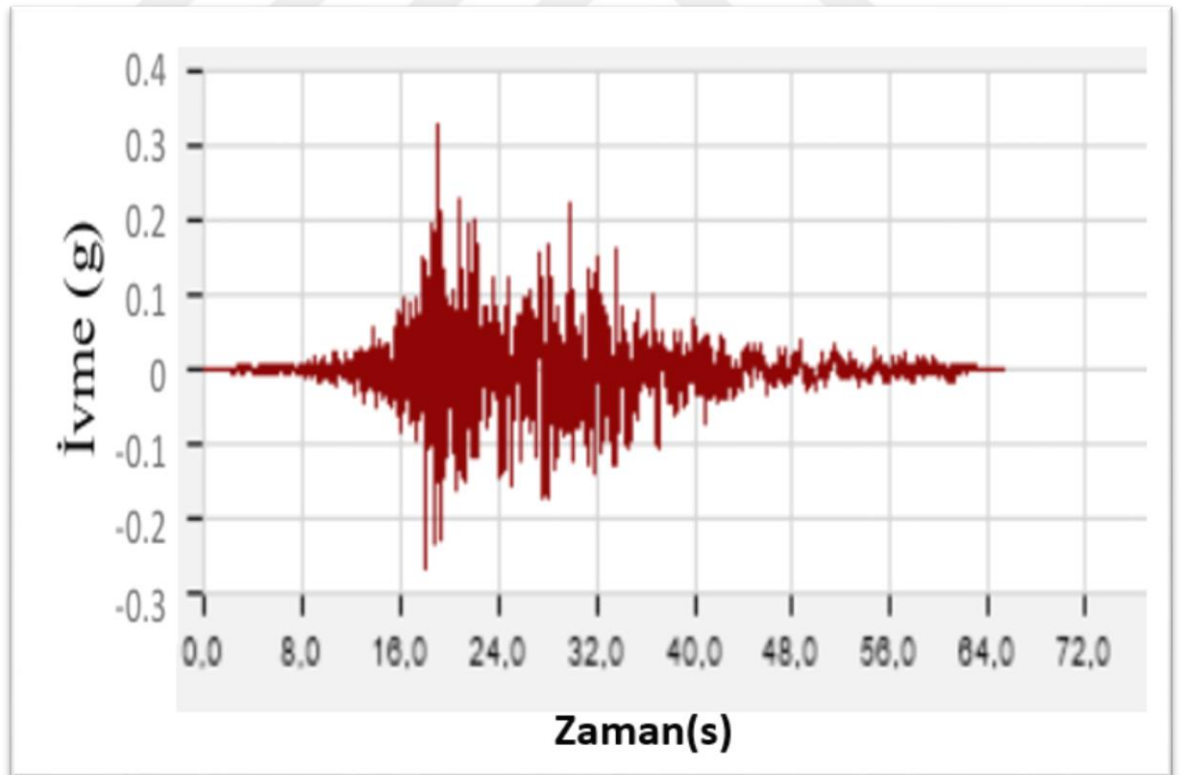
Şekil 50. RSN 4866 ivme zaman grafiği



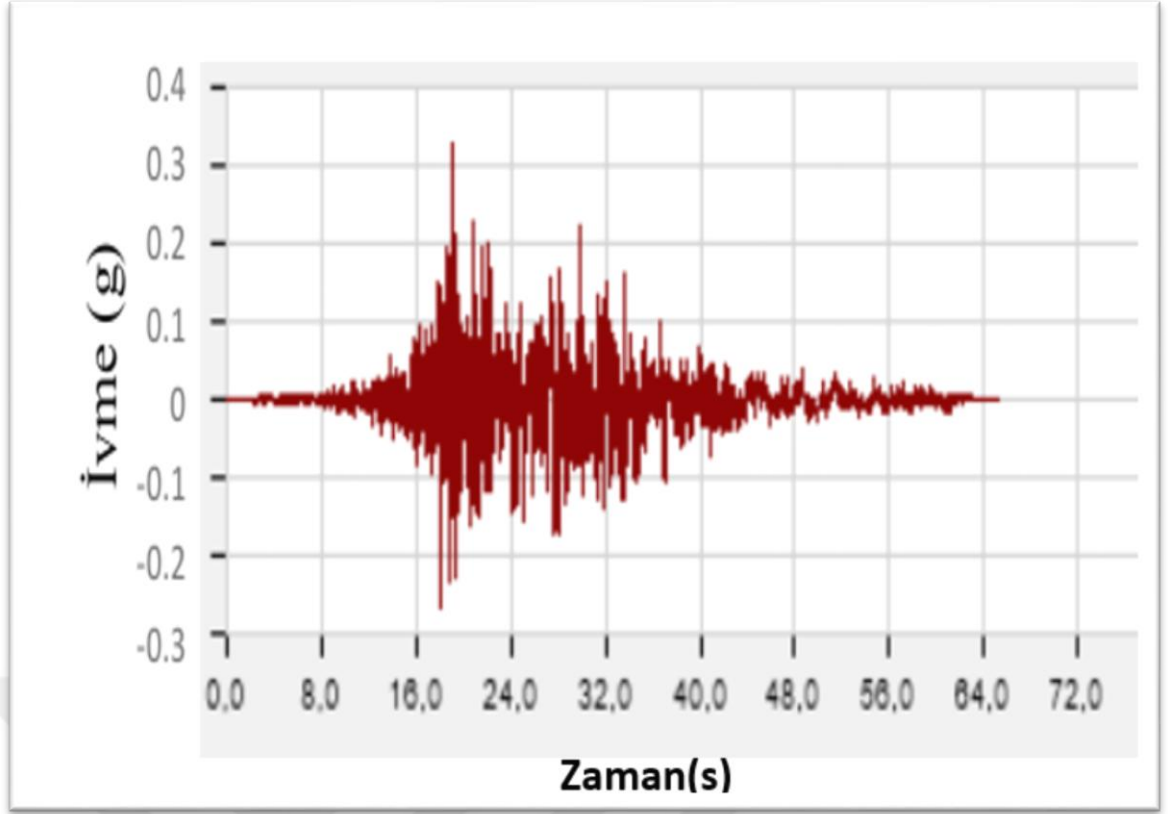
Şekil 51. RSN 4898 ivme zaman grafiği



Şekil 52. RSN 5818 ivme zaman grafiği



Şekil 53. RSN 6961 ivme zaman grafiği



Şekil 54. RSN 8124 ivme zaman grafiği

Doğrusal olmayan analiz yüksek deplasmanlara bağlı olarak oluşan yüksek ikincil mertbe momentlerinin de yapısal analize dahil edilmesini sağlamaktadır. Şekil 55'te P-Delta moment dağılımları gösterilmiştir.

Fraction of P-Delta Moment to Each End of Link

M2 P-delta to I-end of link as moment (M2I)	0.5
M2 P-delta to J-end of link as moment (M2J)	0.5
M2 P-delta as shear couple	0
M3 P-delta to I-end of link as moment (M3I)	0.5
M3 P-delta to J-end of link as moment (M3J)	0.5
M3 P-delta as shear couple	0

Şekil 55. FPS ve LRB Tip izolatörlerde P-Delta Momentlerinin Dağılımı

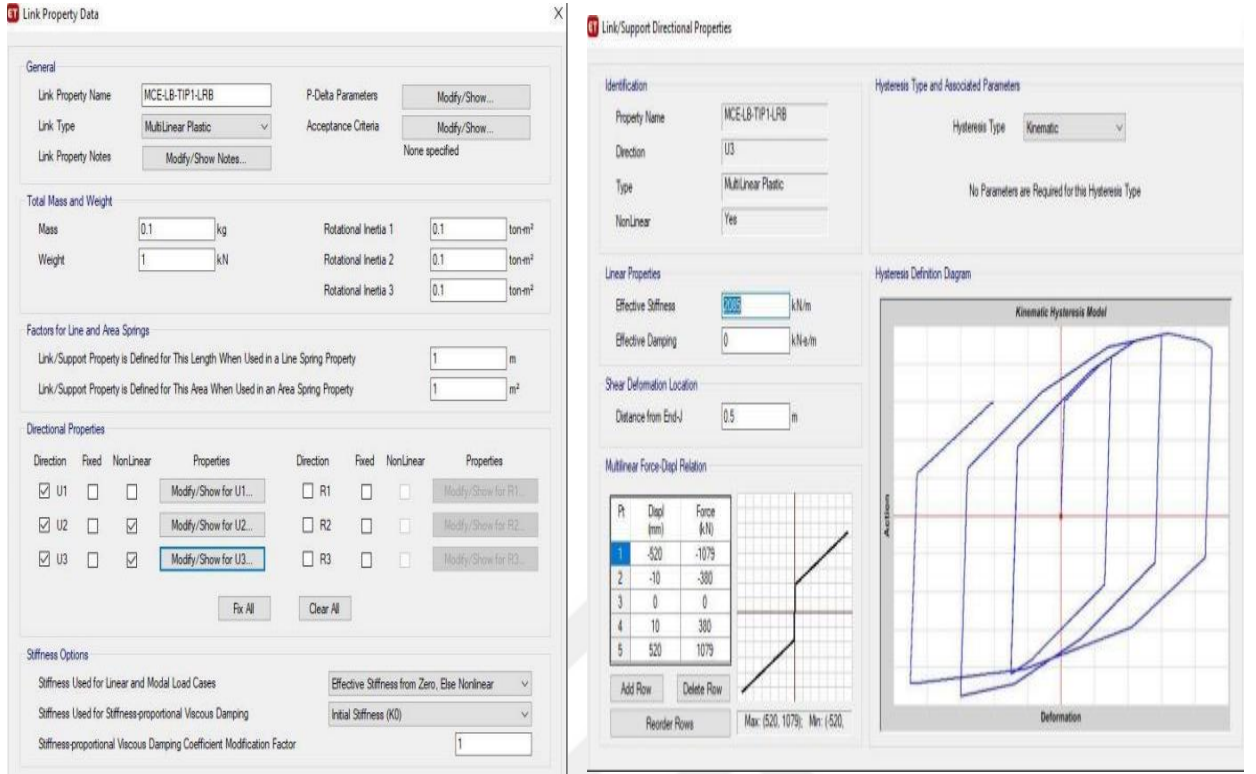
2.5. İzolatörlerin Modellenmesi

ETABS uygulaması kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılan, FPS ve LRB tipi izolatörlerin tanımlanması için ETABS yazılımında link elemanlar bulunmaktadır. İzolatörler Şekil 56-57’de gösterildiği gibi P-Delta etkilerini alacak şekilde tanımlanmıştır. Tüm analizlerde CSI ETABS v18.1.0 yapısal analiz ve tasarım programı kullanılmıştır (ETABS, 2018).

The image displays two screenshots from the ETABS software interface. The top screenshot shows the 'Link Property Data' dialog box. The 'General' tab is active, showing the 'Link Property Name' as 'DBE-UB-TIP1', 'Link Type' as 'Friction Isolator', and 'Link Property Notes' as 'None specified'. The 'Total Mass and Weight' section shows 'Mass' as 0.1 kg and 'Weight' as 1 kN. The 'Factors for Line and Area Springs' section shows 'Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property' as 1 m and 'Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property' as 1 m². The 'Directional Properties' section shows 'Fixed' and 'NonLinear' checkboxes for U1, U2, and U3 directions. The 'Stiffness Options' section shows 'Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear' and 'Initial Stiffness (K0)' as 1.

The bottom screenshot shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box. The 'Identification' section shows 'Property Name' as 'DBE-UB-TIP1', 'Direction' as 'U2', 'Type' as 'Friction Isolator', and 'NonLinear' as 'Yes'. The 'Linear Properties' section shows 'Effective Stiffness' as 5145 kN/m and 'Effective Damping' as 0 kN-s/m. The 'Shear Deformation Location' section shows 'Distance from End-J' as 0.5 m. The 'Nonlinear Properties' section shows 'Stiffness' as 70266 kN/m, 'Friction Coefficient, Slow' as 0.08, 'Friction Coefficient, Fast' as 0.08, 'Rate Parameter' as 1 sec/mm, and 'Net Pendulum Radius' as 6 m.

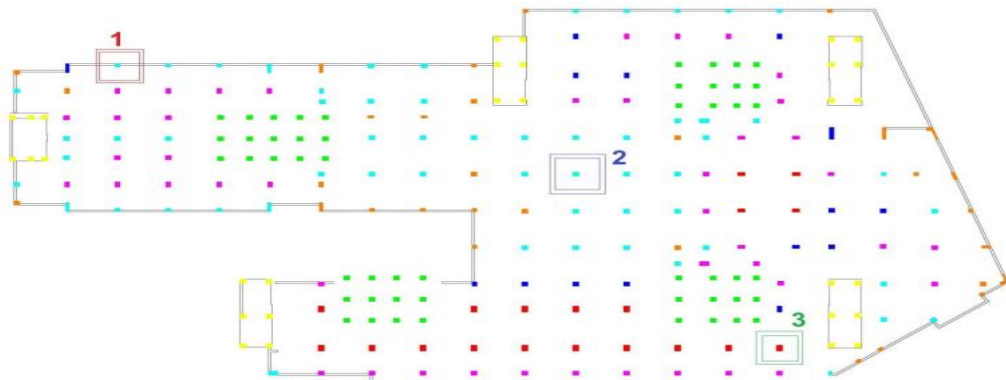
Şekil 56. FPS tipi izolatörlerin modellenmesi



Şekil 57.LRB tipi izolatörlerin modellenmesi

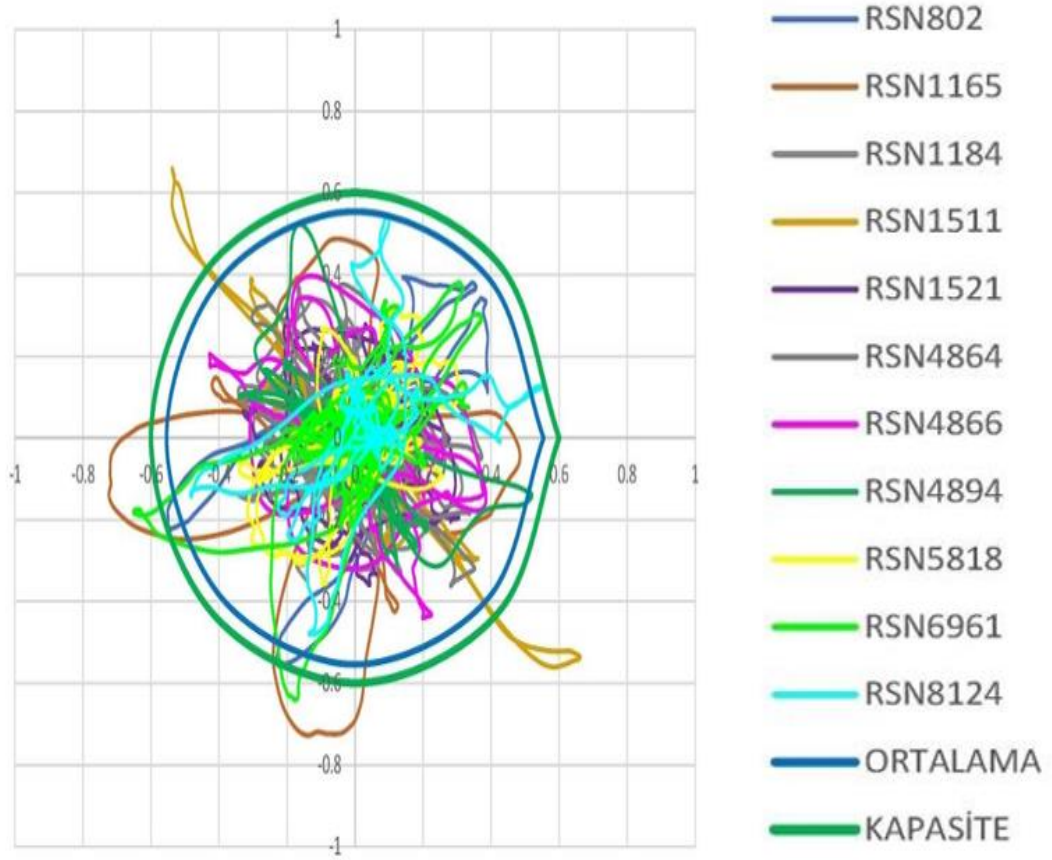
2.5.1. İzolatör Maksimum Deplasmanlarının Belirlenmesi

İzolatör maksimum deplasmanları üç adet izolatör seçilerek belirlenmiştir. Deplasmanlar burulma etkisini de takip edebilmek adına sistem rijitlik merkezine yakın bir noktaya ilave olarak kenar noktalarında da izlenmiştir. Şekil 58’de verildiği gibi maksimum deplasmanlar herhangi bir andaki X ve Y yönleri deplasmanlarının bileşkeleri ile elde edilmiştir



Şekil 58. İzolatör izleme noktaları

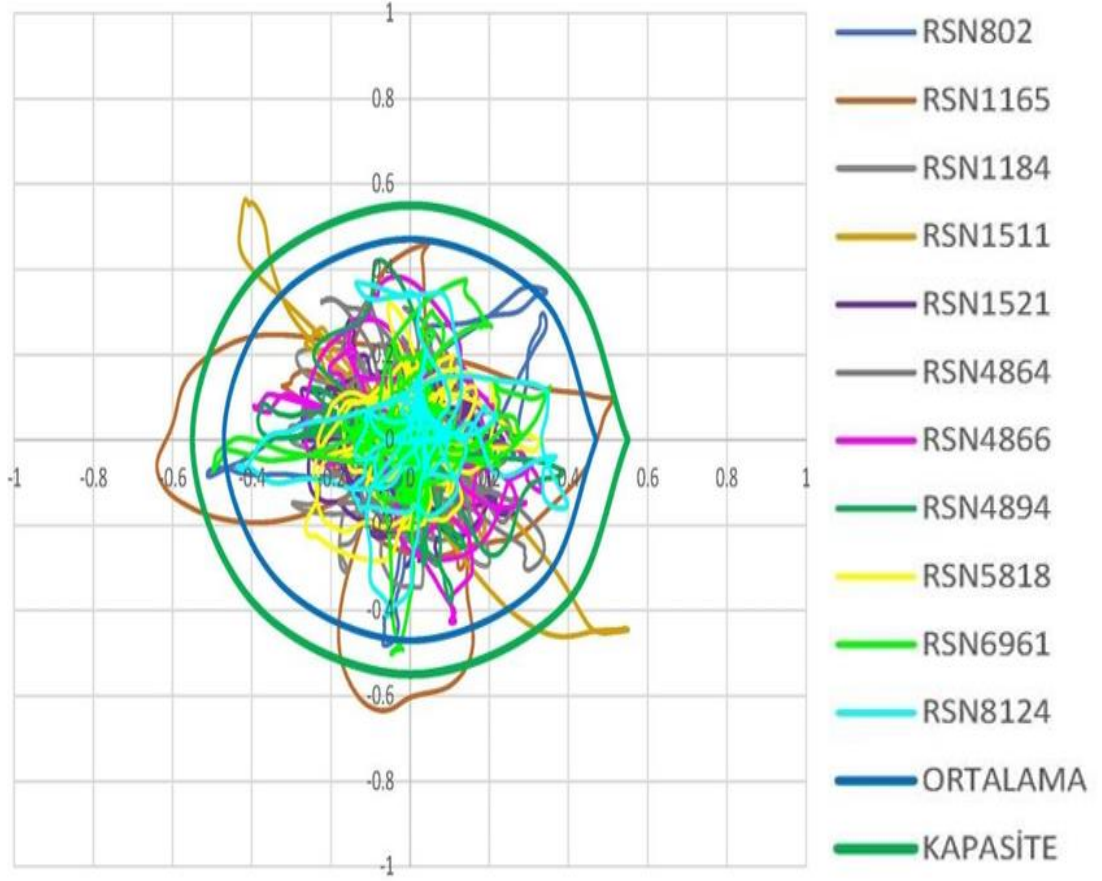
Alt-Sınır özellikleri kullanılarak yapılan analizlerde, 11 deprem kaydının en büyük deplasman 56 cm olarak hesaplanmıştır Şekil 59'da gösterildiği gibi. TBDY 2018 Madde 14.14.4 uyarınca, Bölüm 12.1'de etkin deprem yükü yöntemi ile hesaplanan deplasman değerinin %90'ından ve 11 kaydın ortalamasından hesaplanan deplasman değerinden büyük olan deplasman değeri tasarımda kullanılacaktır. $59 \times 0.90 = 53 \text{ cm}$ $< 56 \text{ cm}$ olduğundan, deplasman kapasitesi 60 cm olarak belirlenmiştir.



Şekil 59. FBS tipi için izolatör deplasmanları.

LRB sismik izolatör tipi için, alt-sınır özellikleri kullanılarak yapılan analizlerde, 11 deprem kaydının ortalaması en büyük deplasman 49 cm olarak hesaplanmıştır Şekil 60'ta gösterildiği gibi TBDY-2018 Madde 14.14.4 uyarınca, Bölüm 12.1'de etkin deprem yükü yöntemi ile hesaplanan deplasman değerinin %90'ından ve 11 kaydın ortalamasından hesaplanan deplasman değerinden büyük olan deplasman değeri

tasarımda kullanılacaktır. $56 \times 0.90 = 51 \text{ cm} > 49 \text{ cm}$ olduğundan, deplasman kapasitesi 55 cm olarak belirlenmiştir.



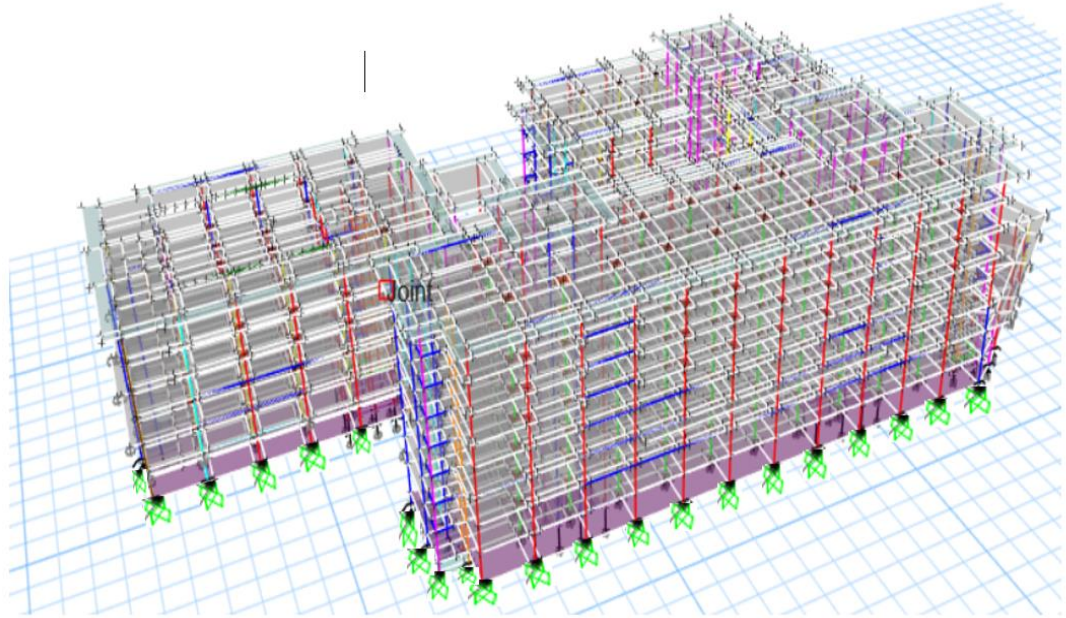
Şekil 60. LRB tipi için izolatör deplasmanları

3.BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu çalışma kapsamında İstanbul ili Fatih ilçesi Haseki Sultan mahallesinde inşası bitmiş olan Haseki Eğitim ve Araştırma Devlet Hastanesi örnek yapı olarak seçilmiştir. Yapıda kullanılan taban izolatörler kurşun çekirdek kauçuk ve sürtünme sarkaç tipi izolatörlerdir. Yapı 165 metre uzunluğunda, 120 metre genişliğindedir ve 14 katlıdır. Yapı oturma alanı yaklaşık 6400 m²'dir. Kolon boyutları; 40x40 cm 220x100'e cm değişken boyutlarda yer almaktadır. Perde kalınlıkları; 30 ve 40 cm'dir. Döşeme sistemi kirişsiz döşemedir. Döşeme kalınlıkları 30 ve 40 cm'dir. Mesnet bölgelerinde kolon başlıkları kullanılmıştır. Bu bölümde; ankastre mesnetli ve sismik yalıtımlı hastane binası modelleri için karşılaştırmalar yapılmıştır.

3.1. Ankastre Mesnetli Binanın Tasarımı

Ankastre mesnetli hastane binası üç boyutlu sonlu elemanlar modeli Şekil 61'de gösterilmiştir.



Şekil 61. Ankastre mesnetli sonlu eleman modeli

3.1.1. Ankastre Mesnetli Binanın Modal Analiz Sonuçları

Tablo 9’da ankastre mesnetli yapı için periyot değerleri verimiştir.

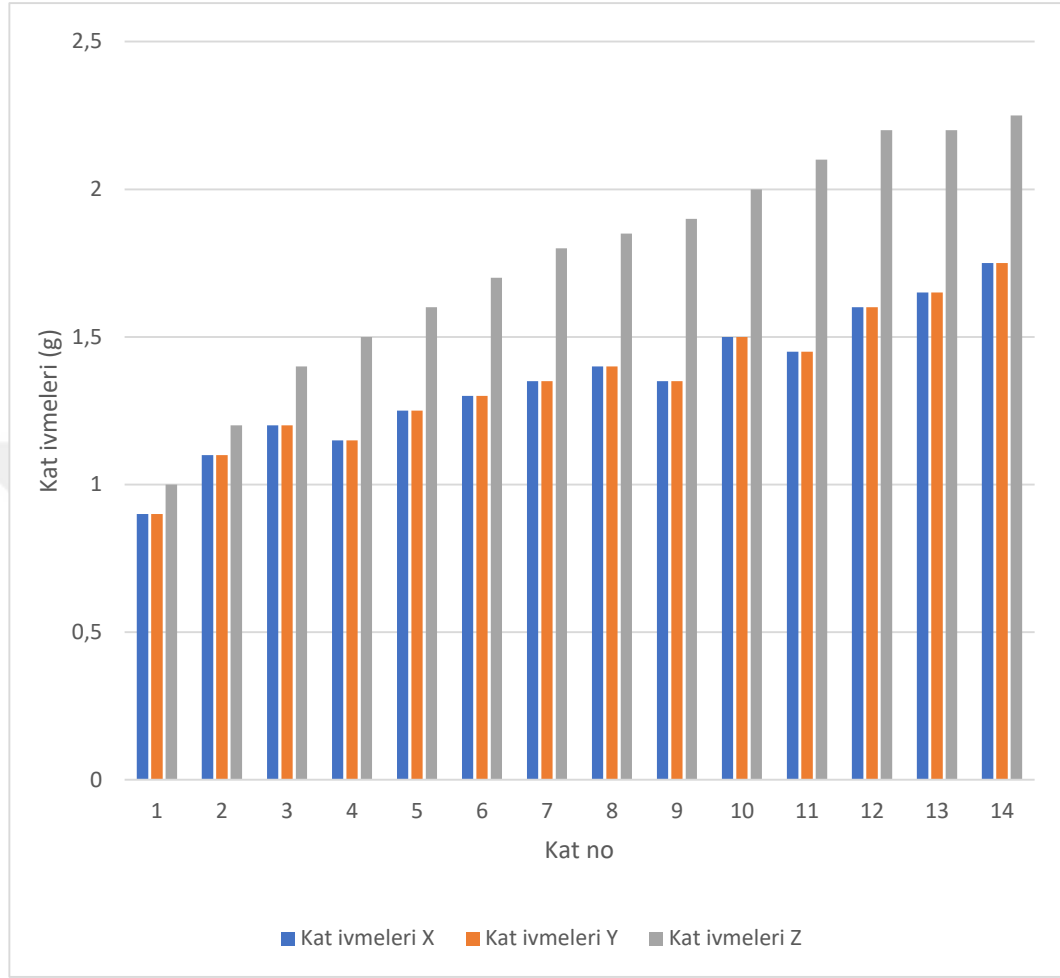
Tablo 9. Ankastre mesnetli yapı için periyot değerleri

Mod	Periyot(s)
1	1.9850
2	1.8575
3	1.5430
4	0.6245
5	0.5540
6	0.5170
7	0.4110
8	0.3820
9	0.3220
10	0.2850
11	0.2480
12	0.2010

3.1.2. Ankastre Mesnetli Bina için Kat İvmeleri Grafikleri

Bilindiği üzere deprem kuvveti eşittir kütle çarpı ivme ($F=m \cdot a$). Kat ivmeleri, sismik izolatörlü bir yapıya daha az etki ettiğini bilinmektedir. Büyük ve önemli yapıların içinde ankastre mesnetli binanın şiddetli bir depreme maruz kaldığı zaman içindeki özel ve pahalı malzemeleri titreşimden dolayı kat ivmeleri artırarak malzemeleri zarar görebilir. Ankastre mesnetli binanın kat ivmelerinin Şekil 62’de

görüldüğü gibi verilmiştir. Ankastre mesnetli olarak tasarlanan hastane binasında üst katlara doğru gidildikçe kat ivme değerleri artmaktadır.



Şekil62. Ankastre mesnetli binanın tüm depremlerin ortalamaları için X,Y ve Z doğrultularında kat ivmelerinin katlara göre değişimi

3.1.3. Ankastre Mesnetli Bina İçin Taban Kesme Kuvvetleri

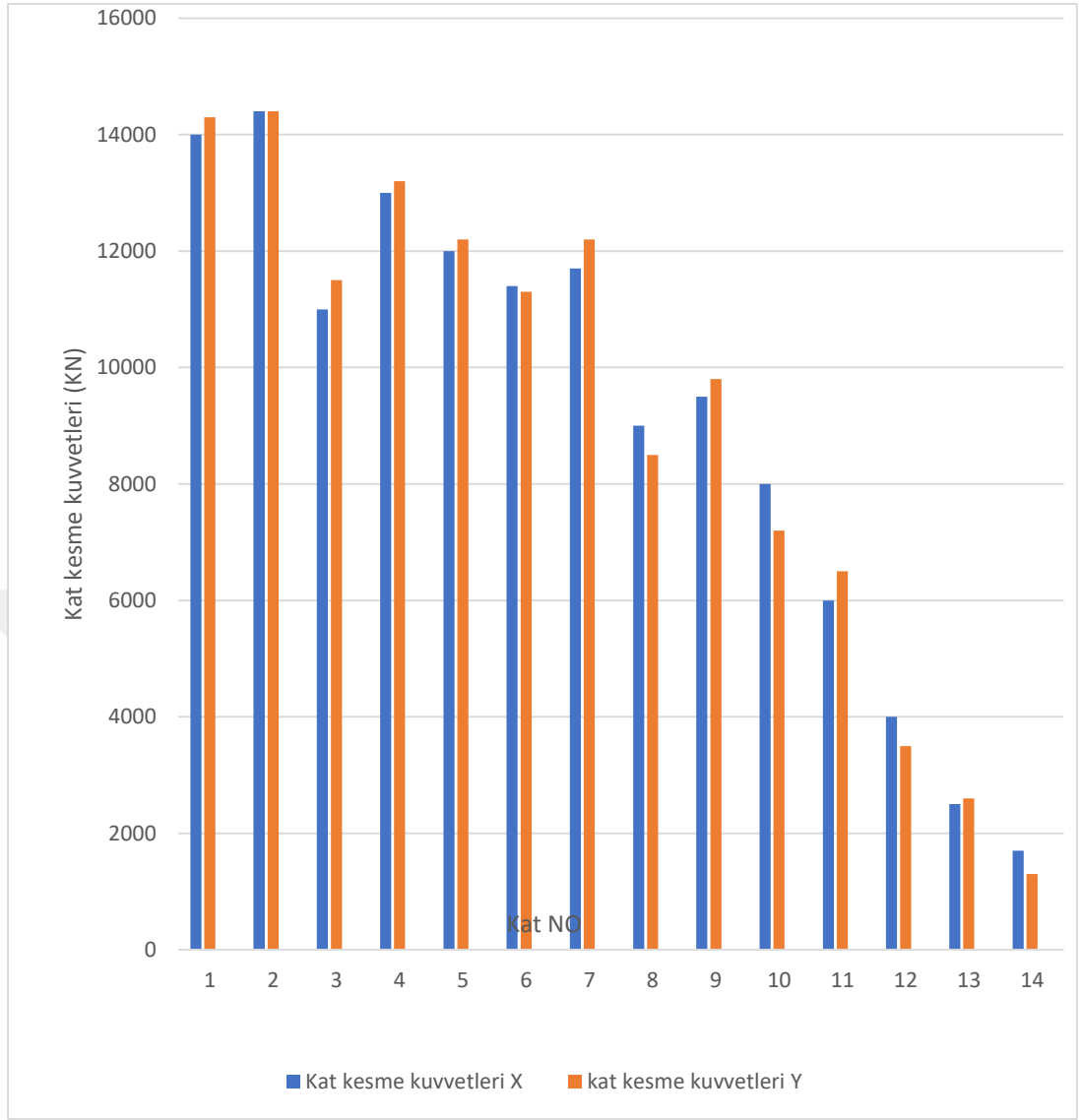
Binaya gelen deprem taleplerinin değerlendirilmesinde bir diğer önemli parametre de taban kesme kuvvetidir. Öyle ki, bina tabanına etkiyen kesme kuvveti ne kadar büyük olursa, katlara dağılan ve etkiyen yatay kuvvetler o kadar büyük olur. dinamik analizler sonucunda elde edilen maksimum taban kesme kuvvetleri bina ağırlığı ile normalize edilerek taban kesme katsayısı elde edilmiştir. Ankastre mesnetli modellerde sismik yalıtımlı modellere göre taban kesme kuvveti çok daha yüksektir. Ankastre mesnetli modelde taban kesme kuvvetleri Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Ankastre mesnetli modelde taban kesme kuvvetleri

Analiz türü	Ortalama taban kesme kuvvetleri (kN)	
	X doğrulru (kN)	Y doğrultu(kN)
DD-1 (alt sınırı)	1030	1060
DD-1 (üst sınırı)	1850	2000
DD-2 (alt sınırı)	800	850
DD-2 (üst sınırı)	1400	1500

3.1.4. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Kesme Kuvvetleri Grafikleri

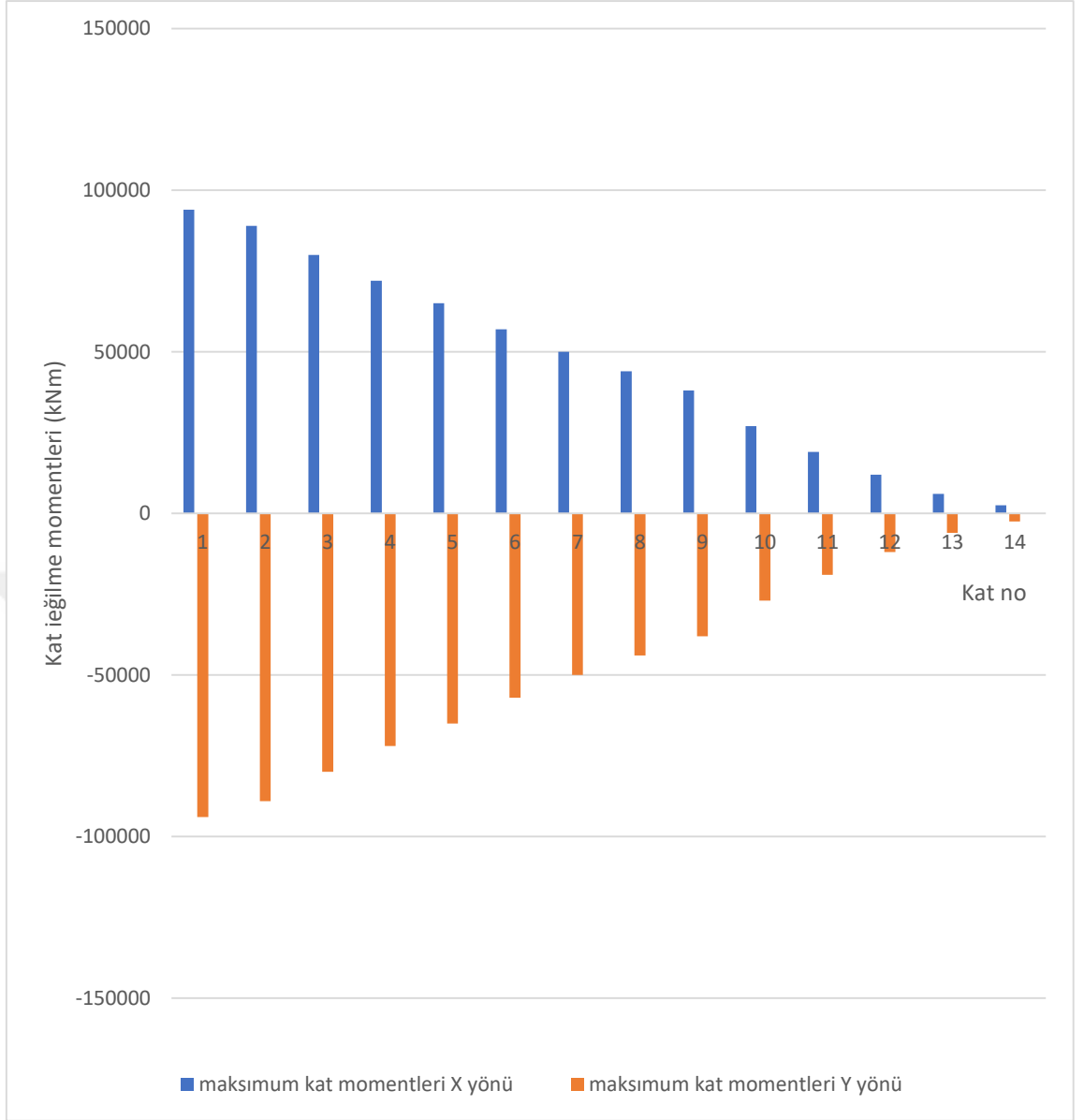
Ankastre mesnetli yapının periyodu sismik izolatörlü yapının periyoduna göre daha kısa olduğu için ankastre mesnetli yapıya gelen yatay yük daha fazladır. Ankastre mesnetli durumunda yatay kuvveti (deprem kuvveti) binaya geldiğinde alt katlara çok yüksek yüklere maruz kalır ve bundan dolayı anıdan bir göçme neden olur Şekil 63’te gösterildiği gibi alt katlarda kat kesme kuvvetleri değerleri yüksek olduğunu görülmüştür.



Şekil 63. Ankastre mesnetli binanın kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi

3.1.5. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Momentleri Grafikleri

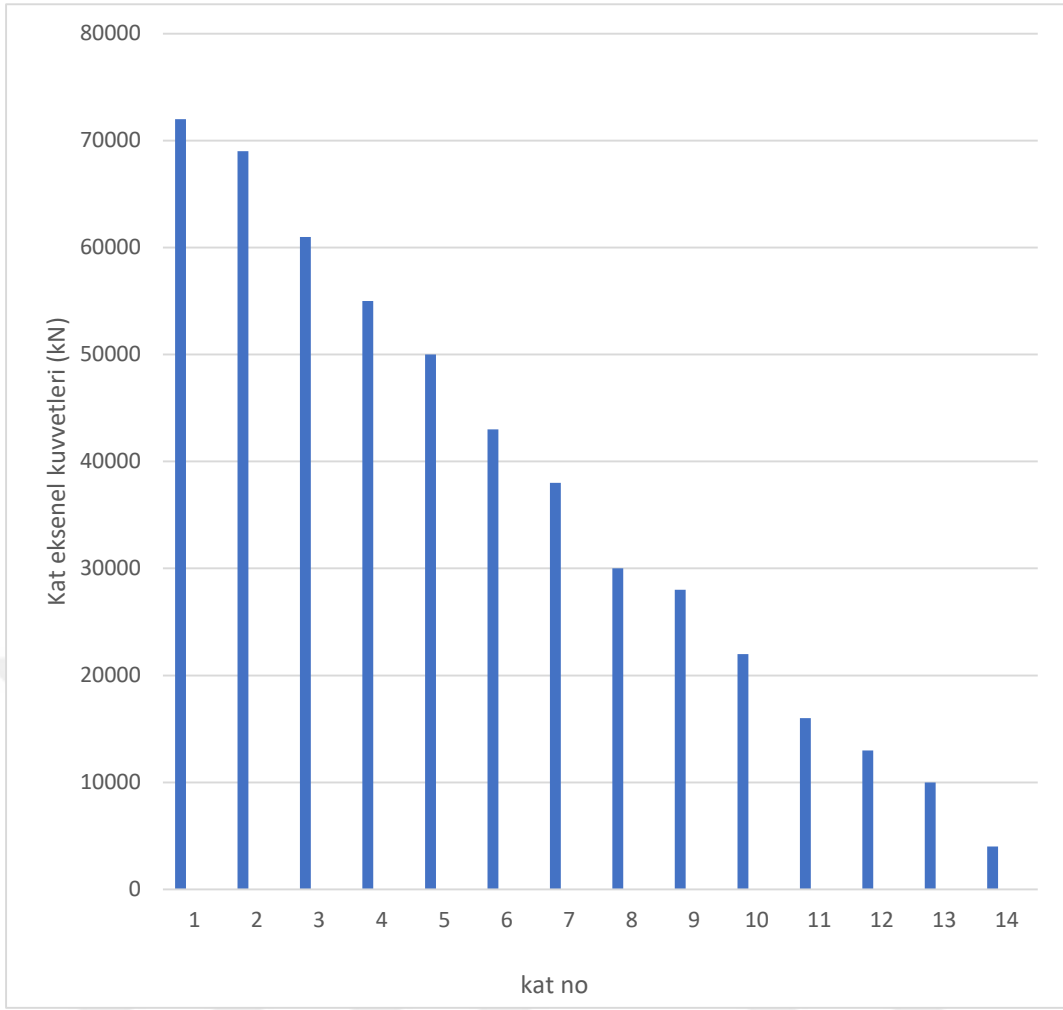
Yapının taşıyıcı elemanlarının betonarme tasarımı yapıldığında iç kuvvetlerin boyutları önemli bir faktör olmaktadır. İç kuvvetleri azaldıkça daha az masraflı bir tasarım elde edilebilir. Şekil 64'te gösterildiği gibi moment değerleri alt katlarda yüksek olduğunu görülmüştür.



Şekil 64. Ankastre mesnetli binanın kat momentlerinin katlara göre değişimi

3.1.6. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Eksenel Kuvvetleri Grafikleri

Kat Eksenel kuvvetleri kolon tasarımında ciddi bir unsur olmaktadır. Kat eksenel kuvvetleri üst katlara gidildikçe azalmaktadır. Şekil 65'te kat eksenel kuvvetleri ankastre mesnetli binanın yukarı doğru çıkıldıkça azaldığını görülmüştür.

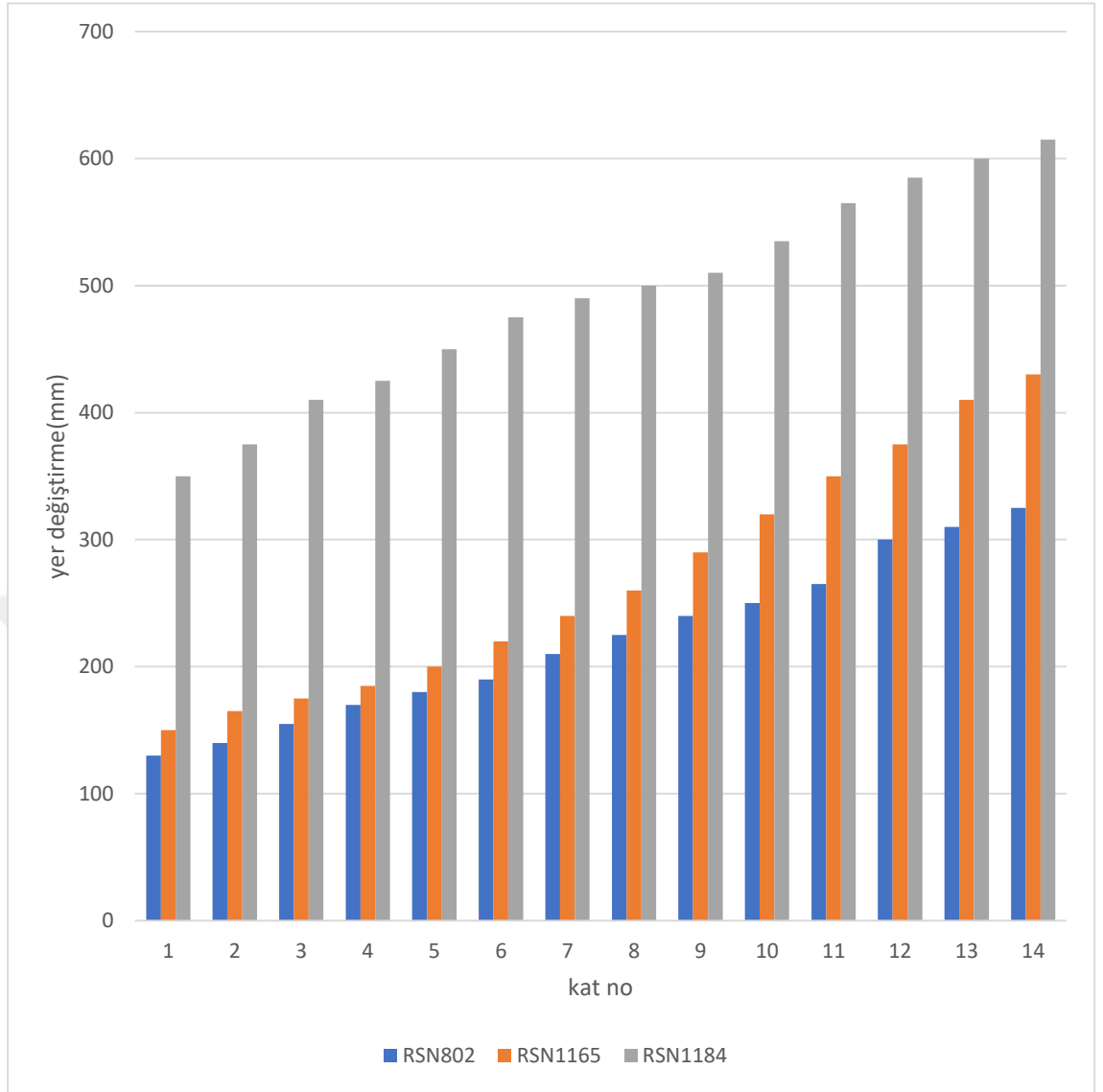


Şekil 65. Ankastre mesnetli binanın maksimum normal kuvvetlerini

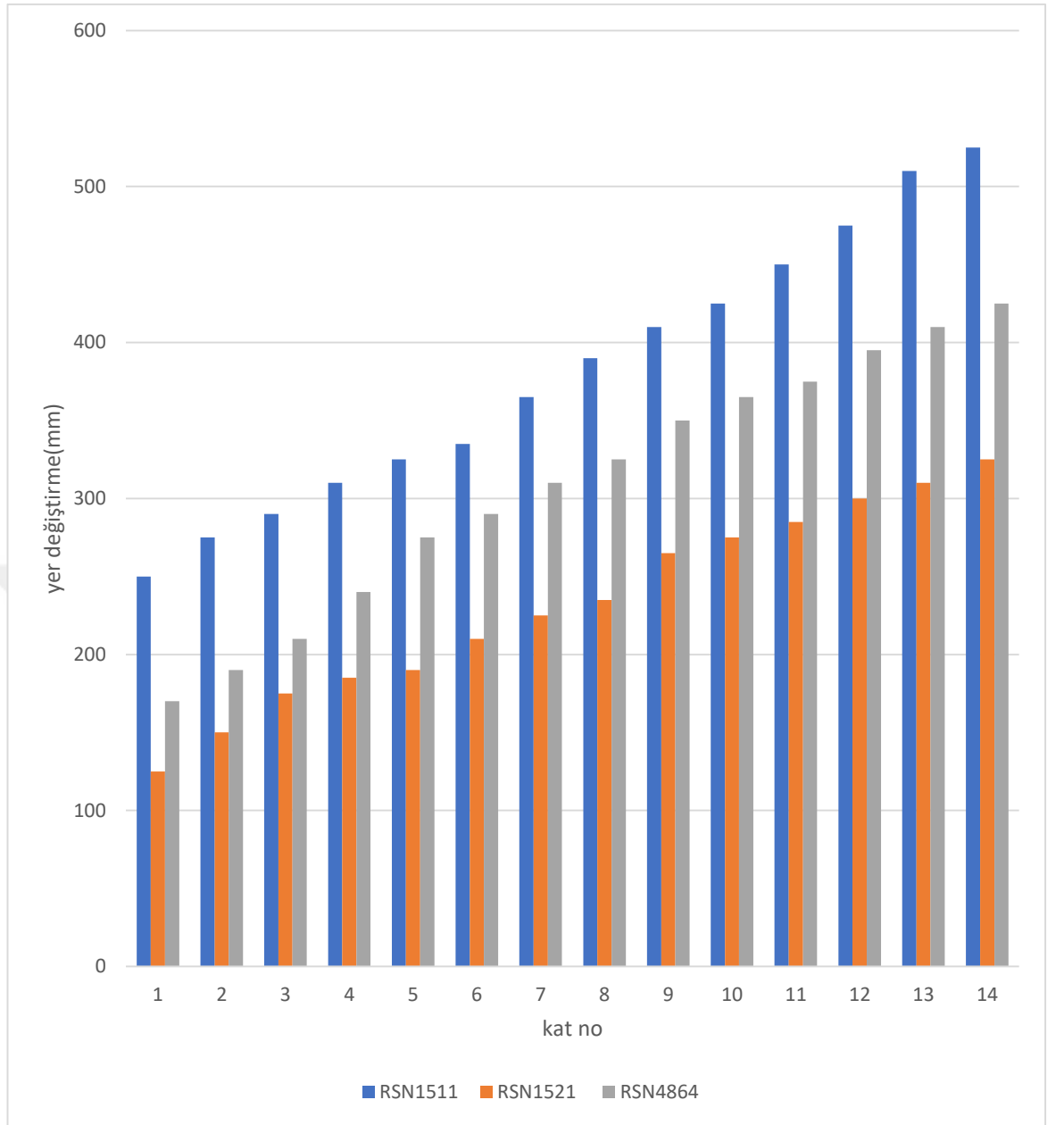
3.1.7. Ankastre Mesnetli Binanın Kat Yer Değiştirmeleri

Yapılan analizlerde, 11 deprem kaydının. TBDY- 2018 Madde 14.14.4 uyarınca, Bölüm 12.1’de etkin deprem yükü yöntemi ile hesaplanan deplasman değerinin %90’ından ve 11 kaydın ortalamasından hesaplanan deplasman değerinden büyük olan deplasman değeri tasarımda kullanılmıştır.

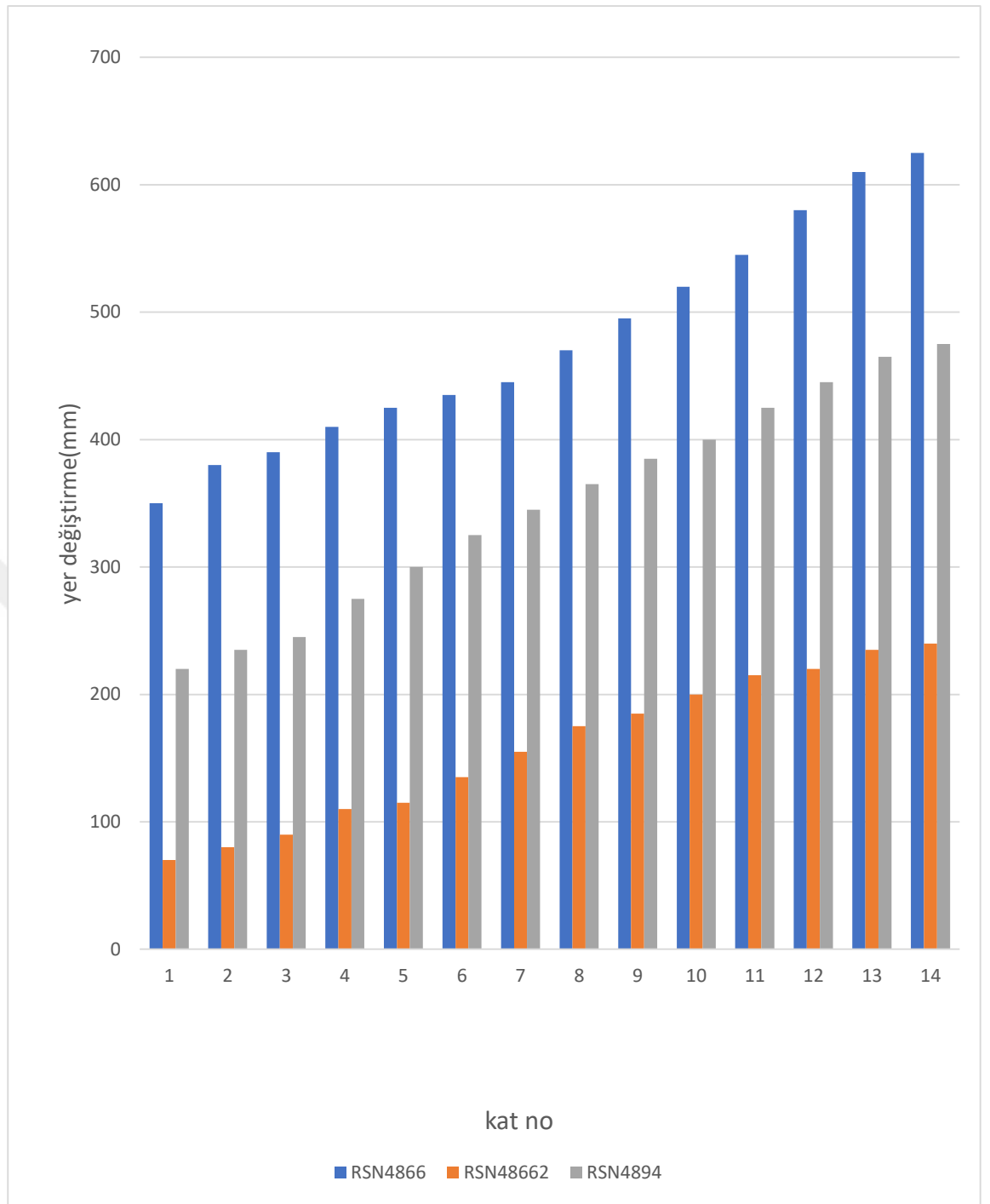
Ankastre mesnetli durumunda kat yer değiştirme katlar arası çok fark olduğunu Şekil 66-69’da gösterilmiştir.



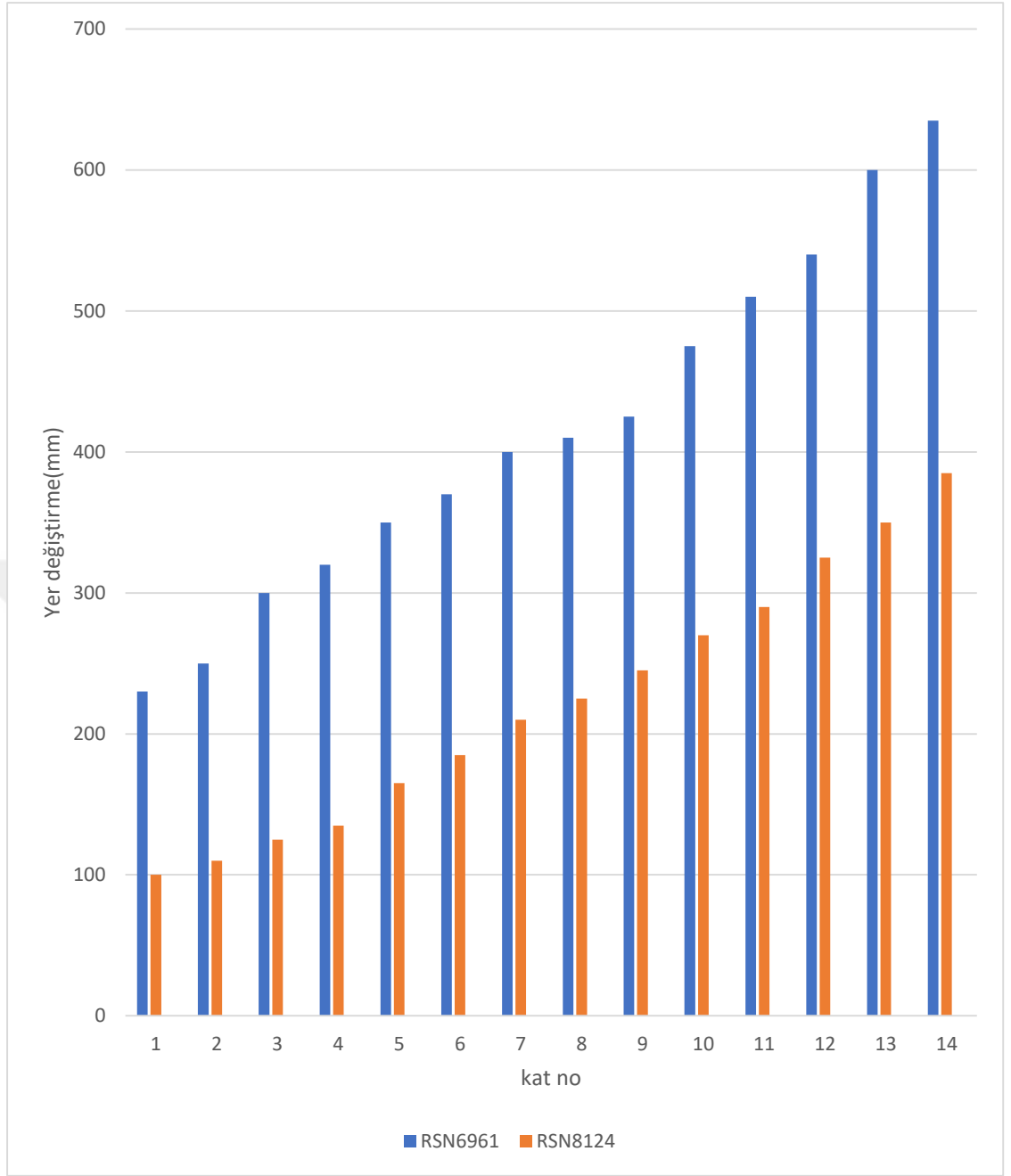
şekil 66. Ankastre mesnetli RSN802 RSN1165 RSN1184 katlara göre yer değiştirme değişimi



Şekil 67. Ankastre mesnetli, RSN1511 RSN1521 RSN4864 katlara göre yer değiştirme değişimi



Şekil 68. Ankastre mesnetli RSN4866 RSN4894 RSN5818 katlara göre yer değiştirme değişimi



şekil 69. Ankastre mesnetli RSN6961 RSN8124 katlara göre yer değiştirme değişimi

3.2. Sismik İzolasyonlu Binanın Tasarımı

3.2.1. DD-2 Depremi İçin Periyot Değerleri

DD-2 depremi için binanın hakim periyodu $T_M=2.821$ sn bulunmuştur. TBDY 2018 Bölüm 14.14.4.2’de belirtildiği üzere seçilen deprem kayıtları $0,5T_M = 1.41$ sn ve $1.25T_M= 3.53$ sn arasında veri tabanında ölçeklenmiştir Tablo 11’de verildiği gibi sismik izolasyonlu bina DD-2 depremi üst sınır için modal analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 11. DD-2 depremi için periyot değerleri

Mod	Periyot(s)
1	2.8210
2	2.7730
3	2.1220
4	0.9760
5	0.9010
6	0.5440
7	0.5110
8	0.4320
9	0.3220
10	0.3150
11	0.3080
12	0.3010

3.2.2. DD-1 Depremi için periyot değerleri

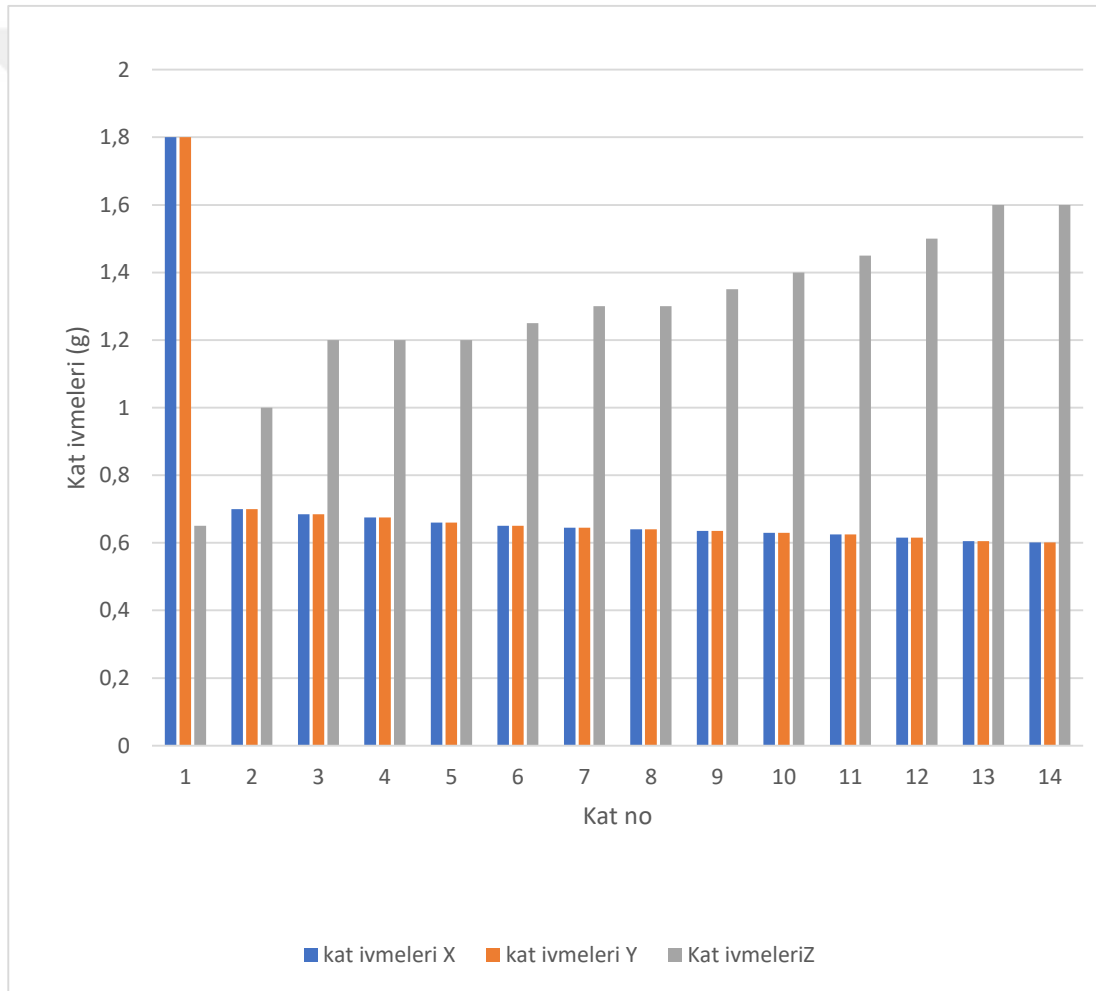
DD-1 depremi için yapılan analiz sonucundan periyot değerleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo12. DD-1 depremi için periyot değerleri

Mod	Periyot(s)
1	3.3250
2	3.1450
3	2.7650
4	1.3250
5	0.8370
6	0.6550
7	0.5740
8	0.4020
9	0.3205
10	0.2500
11	0.2400
12	0.2120

3.2.3. Sismik İzolasyonlu Binanın Depremi Kat İvmeleri, Taban Kesme Kuvvetleri, Kat Kesme Kuvvetleri, Kat Eğilme Momentleri, Kat Eksenel Kuvvetleri ve Kat Yer değiştirmeleri

Taban izolatörlü modellerde, üst yapıya aktarılan sismik model geleneksel modellere göre daha küçüktür. Çünkü önemli bir kısmı izolatör sistemi tarafından sönümlenmektedir. Deplasman taleplerinin bu ifadeyi destekleyen bir diğer parametre de izole edilmiş arayüzden üstyapıya aktarılan ivme talepleridir. Kat ivmeleri katlara göre değişmesini Sismik izolasyonlu yapılar ankastre mesnetli yapılara göre daha az değerler elde edilebilir görünmüştür. Şekil 70 kat ivmeleri katlara göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Bilindiği üzere hastanelerde özel ve pahalı malzemeler bulunmaktadır ve bu malzeme titreşimlerden dolayı çok zarar görebilir dolayısıyla sismik izolasyonlu bir yapıda kat ivmeleri minimum seviyesine indiğini görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 1'inci katın dışında diğer katlar ivme değerleri birbirine çok yakın dolayısıyla titreşim üst katlarda minimuma inmiştir.



Şekil 70. Sismik izolasyonlu binanın kat ivmelerinin katlara göre değişim

DD-2 durunu için özellikleri kullanılarak yapılan analizlerde, 11 deprem kaydının ortalaması kesme kuvveti oranı %14.78 olarak belirlenmiştir. TBDY Madde 14.14.4 uyarınca, Bölüm 12.1'de etkin deprem yükü yöntemi ile hesaplanan taban

kesme kuvveti değerinin %90'ından ve 11 kaydın ortalamasından hesaplanan kesme kuvveti değerinden büyük olan kesme kuvveti değeri üst yapıya aktarılan kesme kuvveti olarak tasarımda kullanılacaktır. $0.092 \cdot 0.90 = \%8 < \%14.78$ olduğundan, üst yapıya etkiyen kesme kuvveti oranı %14.78 olarak belirlenmiştir. Tablo 13'te DD-2 durumu için taban kesme kuvvetleri verilmiştir.

Tablo 13. Sismik izolasyon DD-2 taban kesme kuvvetleri

RSN NO	Taban Kesme Kuvveti (kN)
RSN802	148.976 kN
RSN1165	190.877 kN
RSN1184	160.923 kN
RSN1511	166.772 kN
RSN1521	148.807 kN
RSN4864	174.207 kN
RSN4866	169.283 kN
RSN4894	170.301 kN
RSN5818	154.540 kN
RSN6961	169.579 kN
RSN8124	151.121 kN
Ortalama	164.126 kN
Sismik Yük	1110.284 kN
Kesme Oranı	14.78%

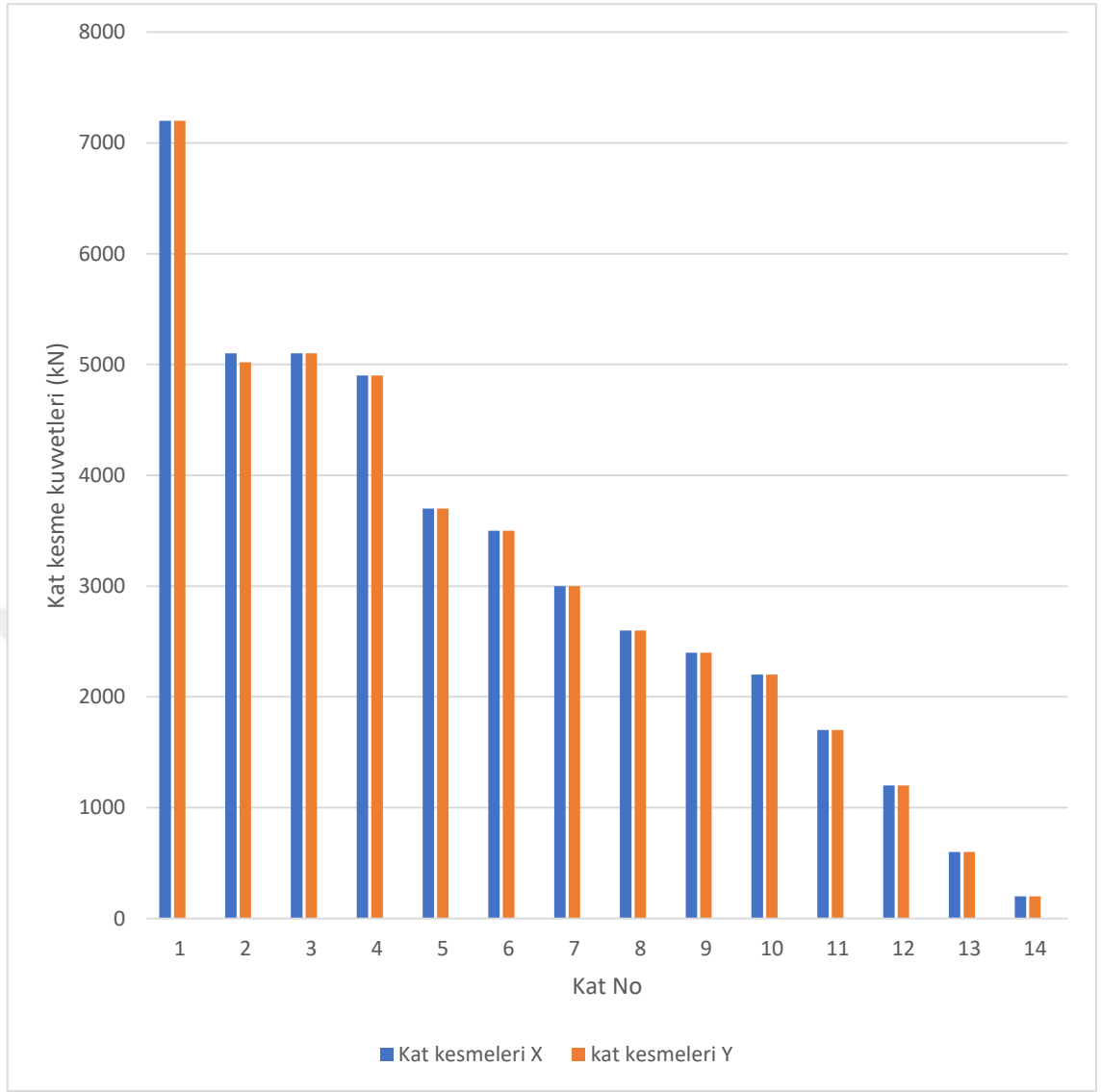
DD-1 durumu için özellikleri kullanılarak yapılan analizlerde, 11 deprem kaydının ortalaması kesme kuvveti oranı %20.35 olarak belirlenmiştir. TBDY-2018 Madde 14.14.4 uyarınca, Bölüm 12.1'de etkin deprem yükü yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvveti değerinin %90'ından ve 11 kaydın ortalamasından hesaplanan

kesme kuvveti değerinden büyük olan kesme kuvveti değeri alt yapıya aktarılan kesme kuvveti olarak tasarımda kullanılacaktır. $0.144 \cdot 0.90 = \%13 < \%20.35$ olduğundan, alt yapıya etkiyen kesme kuvveti oranı $\%20.35$ olarak belirlenmiştir. Tablo 14'te DD-1 durumu için taban kesme kuvvetleri verilmiştir.

Tablo 14. Sismik izolasyon DD-1 taban kesme kuvvetleri

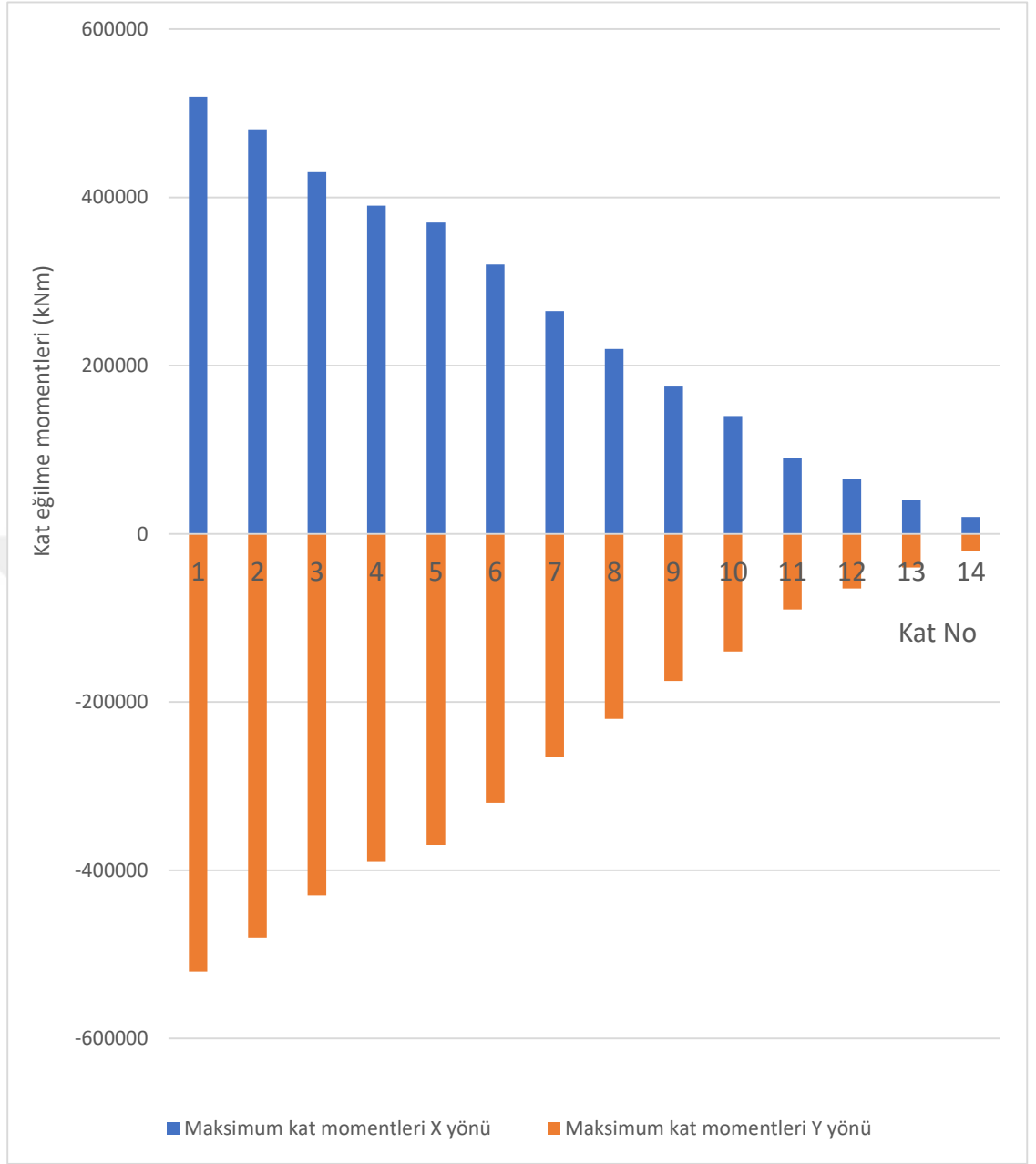
RSN NO	Taban Kesme Kuvvetleri (KN)
RSN802	235.953 kN
RSN1165	256.514 kN
RSN1184	226.749 kN
RSN1511	221.589 kN
RSN1521	193.428 kN
RSN4864	243.374 kN
RSN4866	226.352 kN
RSN4894	232.489 kN
RSN5818	204.657 kN
RSN6961	225.453 kN
RSN8124	218.355 kN
Ortalama	225.901 kN
Sismik Yük	1110.284 kN
Kesme Oranı	20.35%

Sismik izolasyonlu durumunda binaya gelen yatay kuvvetleri azaltılıp kesme kuvvetlerini düşürmektedir. Şekil 71'de sismik izolasyonlu hastane binasının kat kesme kuvvetlerinin değişimi verilmiştir.



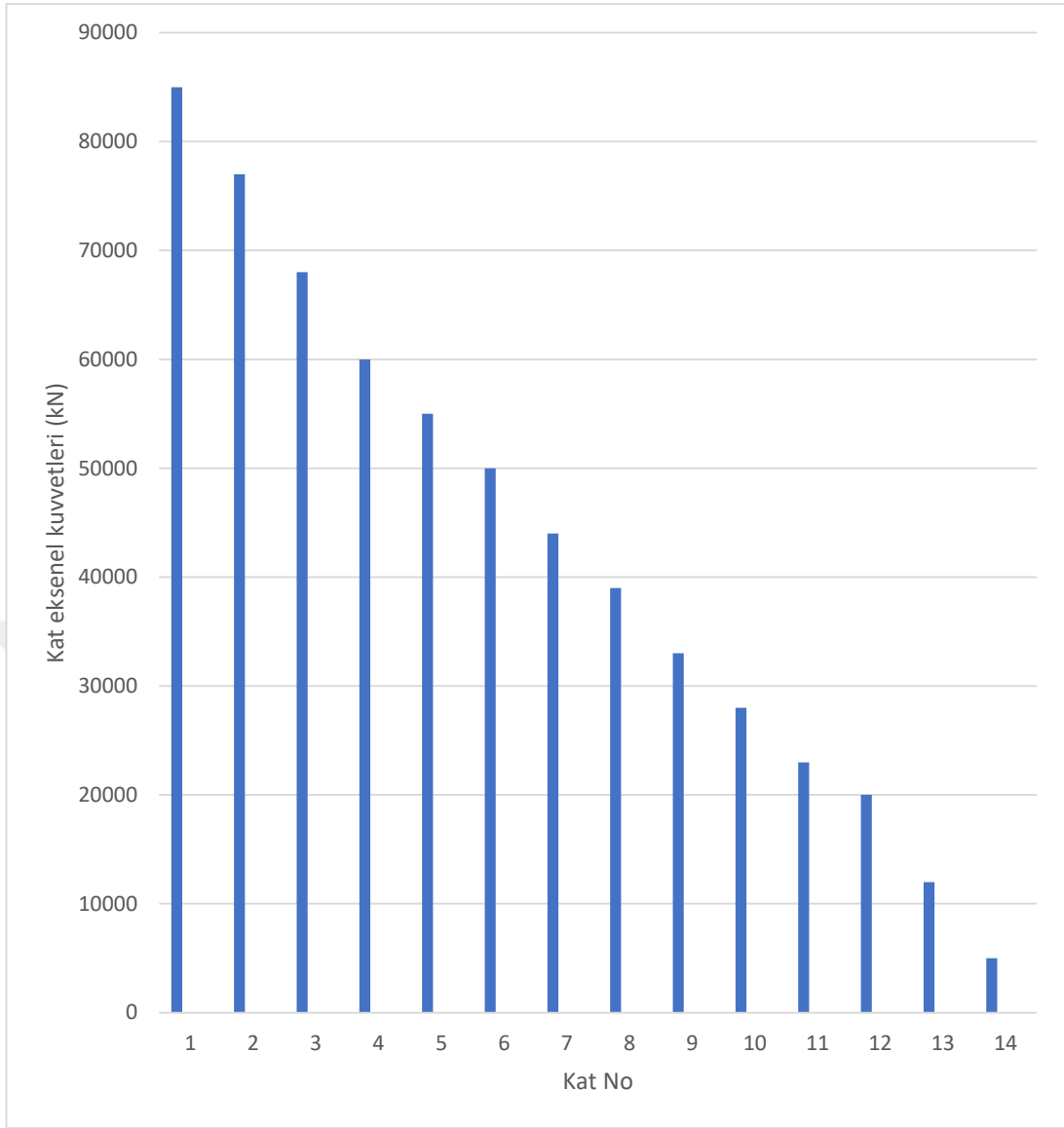
Şekil 71. Sismik izolasyonlu binanın kat kesme kuvvetlerinin katlara göre değişimi

Sismik izolasyonlu olarak tasarlanan hastane binasında üst katlara doğru gidildikçe kat ivme değerleri azalmaktadır. Şekil 72'den görüldüğü gibi, sismik izolasyonlu binanın kat eğilme momentleri üst katlara doğru gidildikçe azalmaktadır.



Şekil 72. Sismik izolasyonlu binanın kat eğilme momentlerinin değişmesi

Kat eksenel kuvvetleri kolon tasarımında ciddi bir unsur olmaktadır Sismik izolasyonlu hastane binası için Şekil 73'te kat eksenel kuvvetlerinin katlara göre değişimi görülmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere kat eksenel kuvvetleri üst katlara doğru gidildikçe azalmıştır.

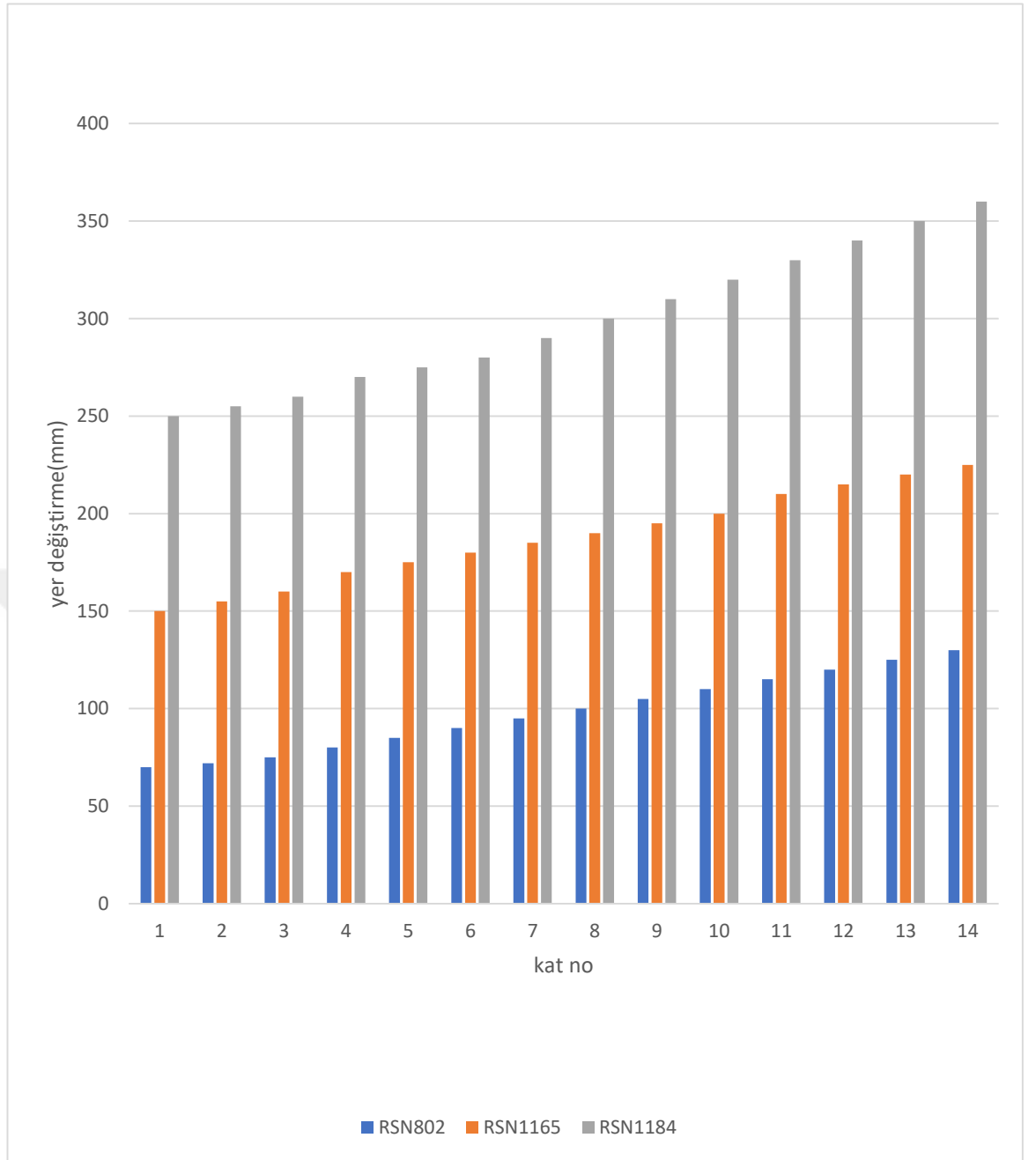


Şekil 73. Sismik izolasyonlu binanın kat eksenel kuvvetlerinin değişmesi

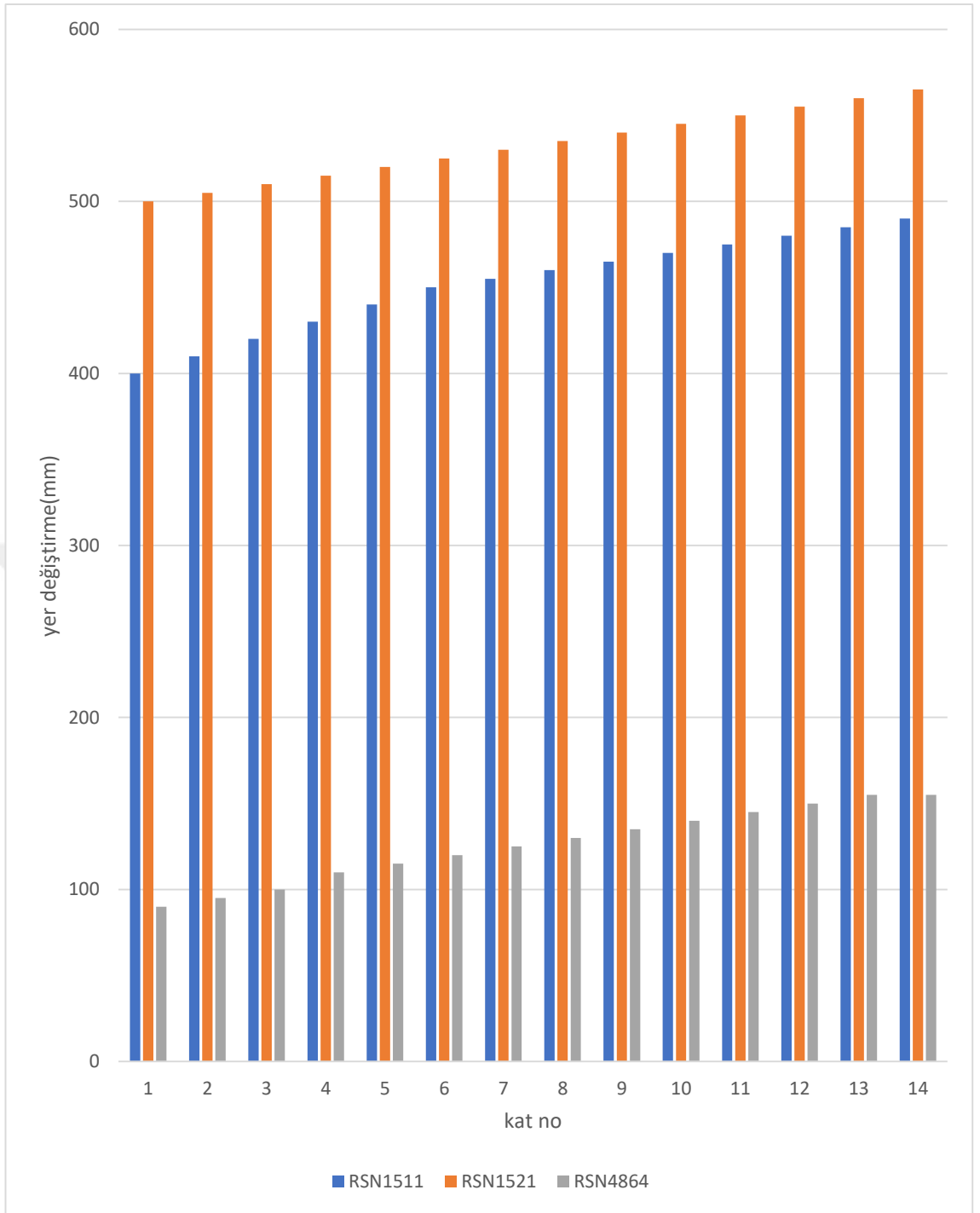
3.2.4. Sismik İzolasyonlu Kat Yer değiştirme Grafikleri

Yapılan analizlerde, 11 deprem kaydının ortalaması en büyük deplasman 56 cm olarak hesaplanmıştır. TBDY- 2018 Madde 14.14.4 uyarınca, Bölüm 12.1’de etkin deprem yükü yöntemi ile hesaplanan deplasman değerinin %90’ından ve 11 kaydın ortalamasından hesaplanan deplasman değerinden büyük olan deplasman değeri tasarımda kullanılacaktır.

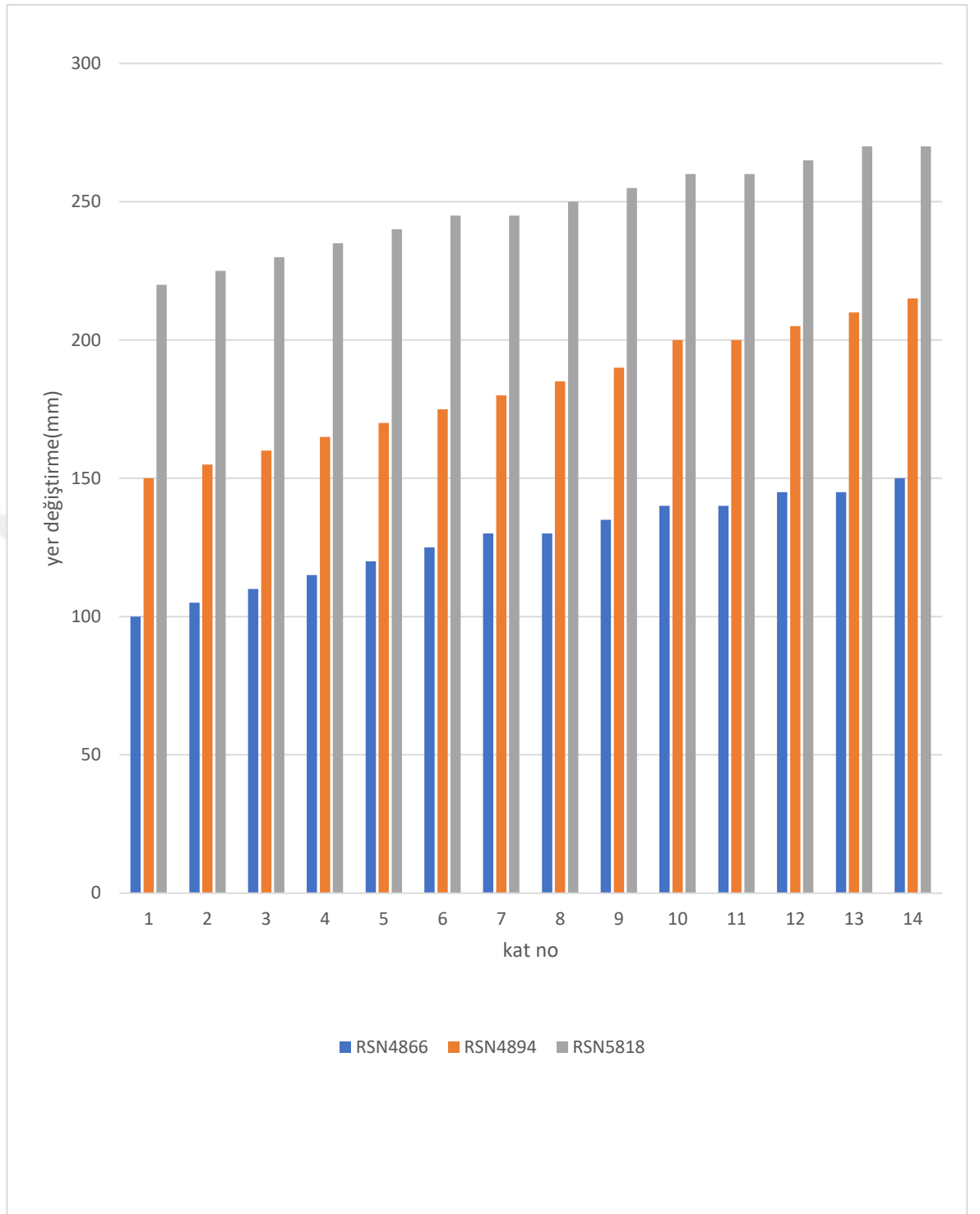
Şekil 74-77’de sismik izolasyon sayesinde kat yer değiştirme katlar arası yer değiştirmelerin farkı çok azaldığını görülüp, DD-2 depremi için kat yer değiştirme grafikleri verilmiştir.



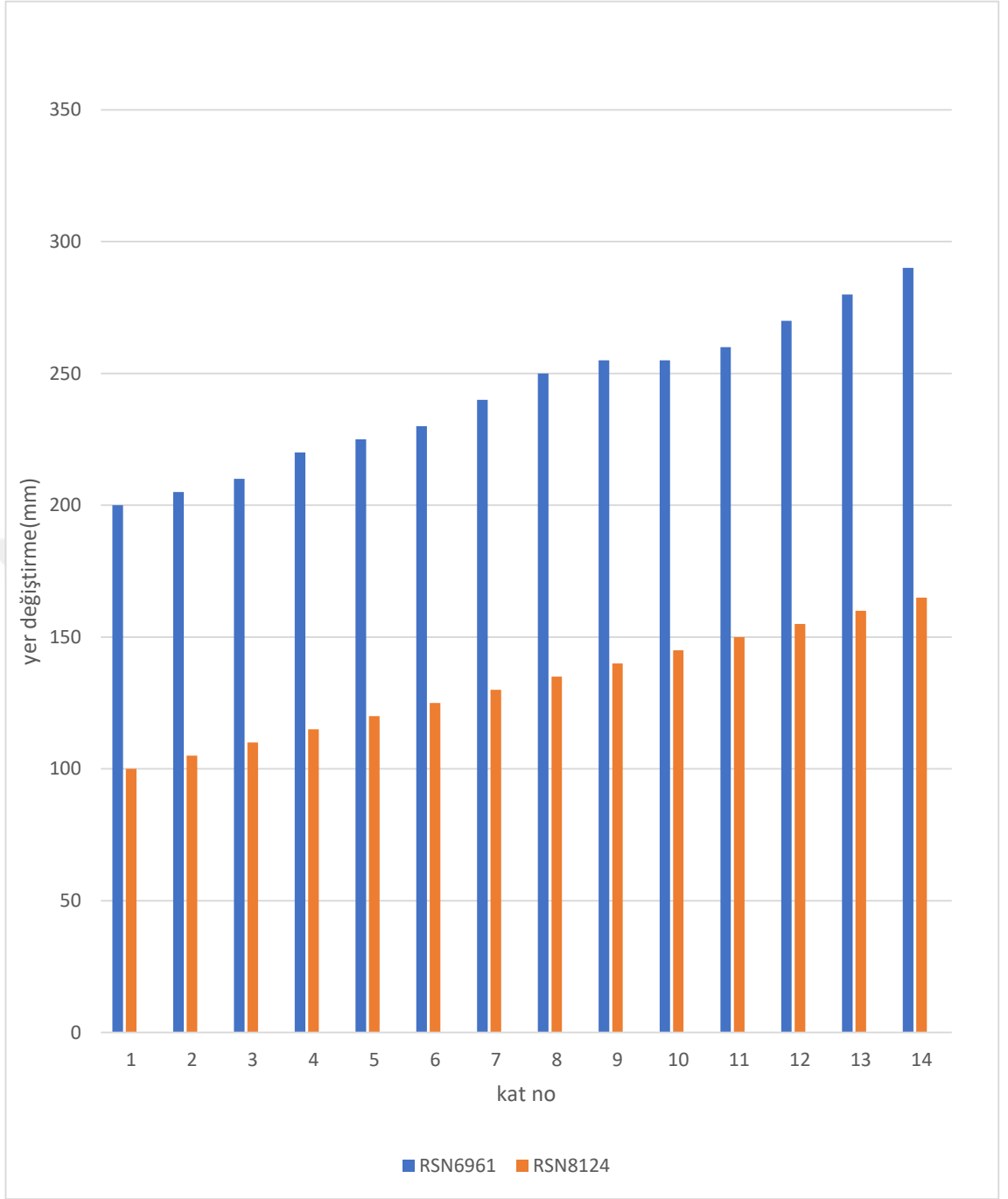
Şekil 74. Sismik izolasyonlu üst sınır durumu için (DD-2) RSN802, RSN1165 ve RSN1184 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi



Şekil 75. Sismik izolasyonlu üst sınır durumu için (DD-2) RSN1511, RSN1521 ve RSN4864 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi

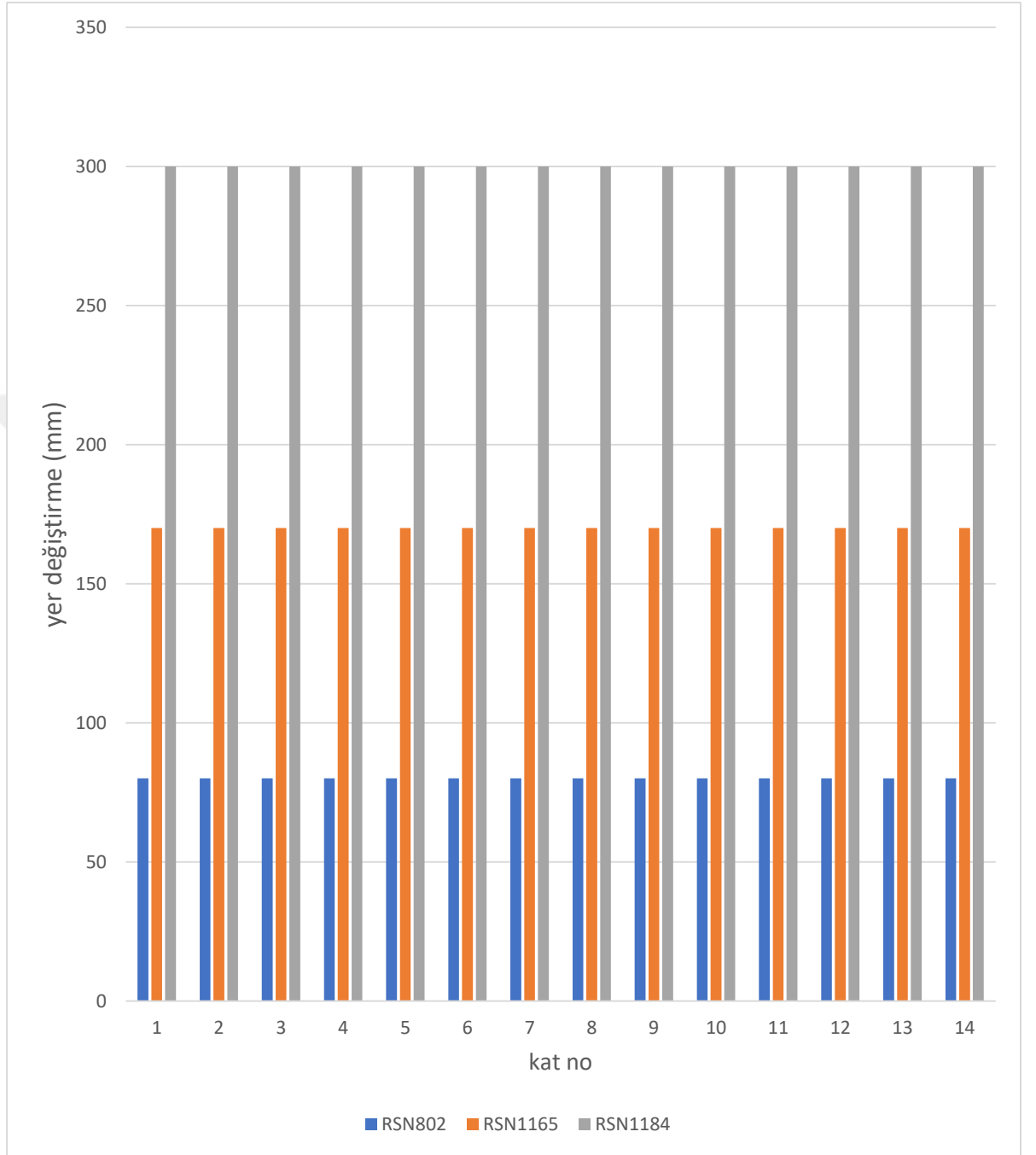


Şekil 76. Sismik izolasyonlu üst sınır durumu için (DD-2) RSN4866, RSN4894 ve RSN5818 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi

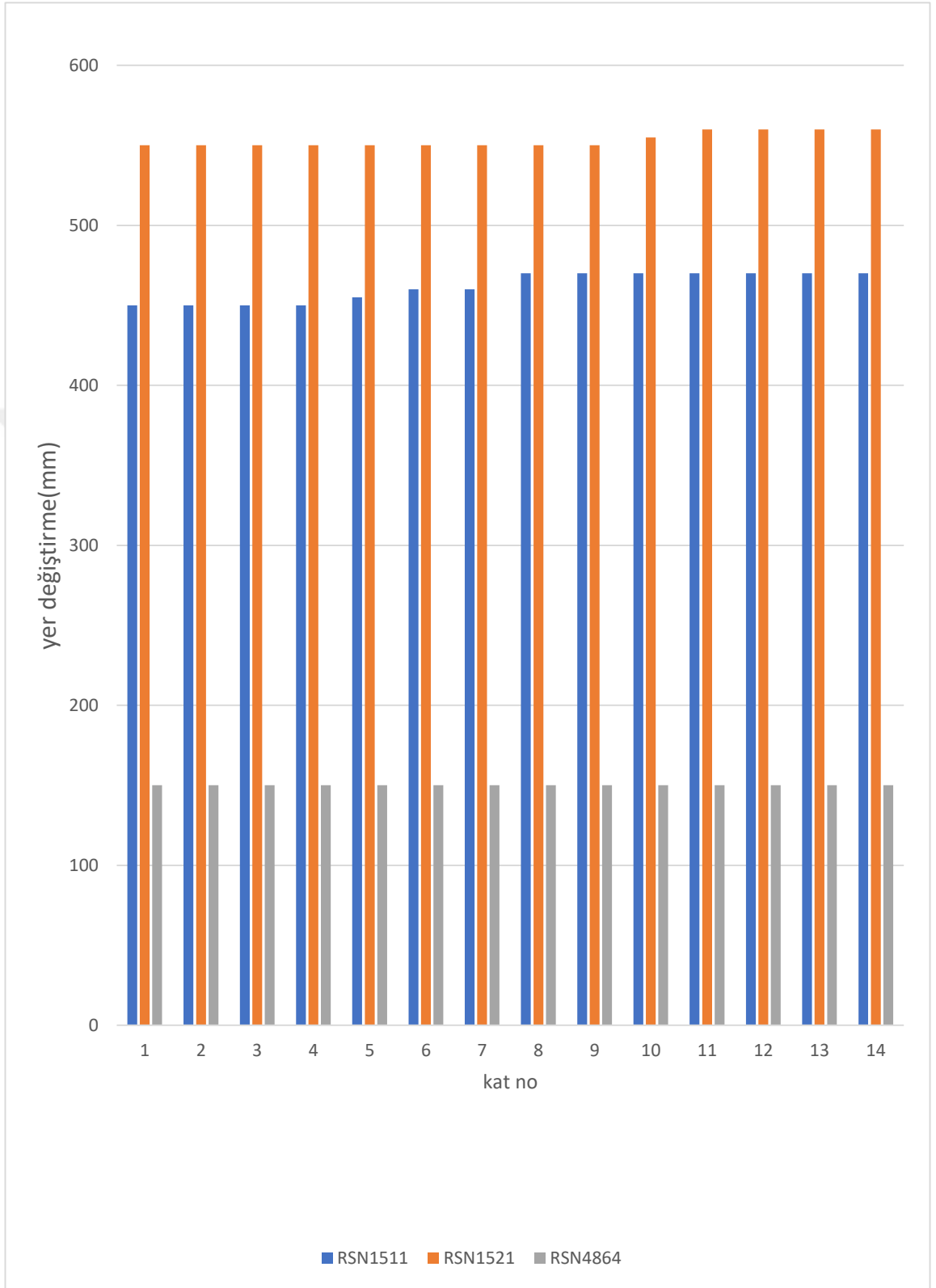


Şekil 77. Sismik izolasyonlu üst sınır durumu için (DD-2) RSN6961 ve RSN8124 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi

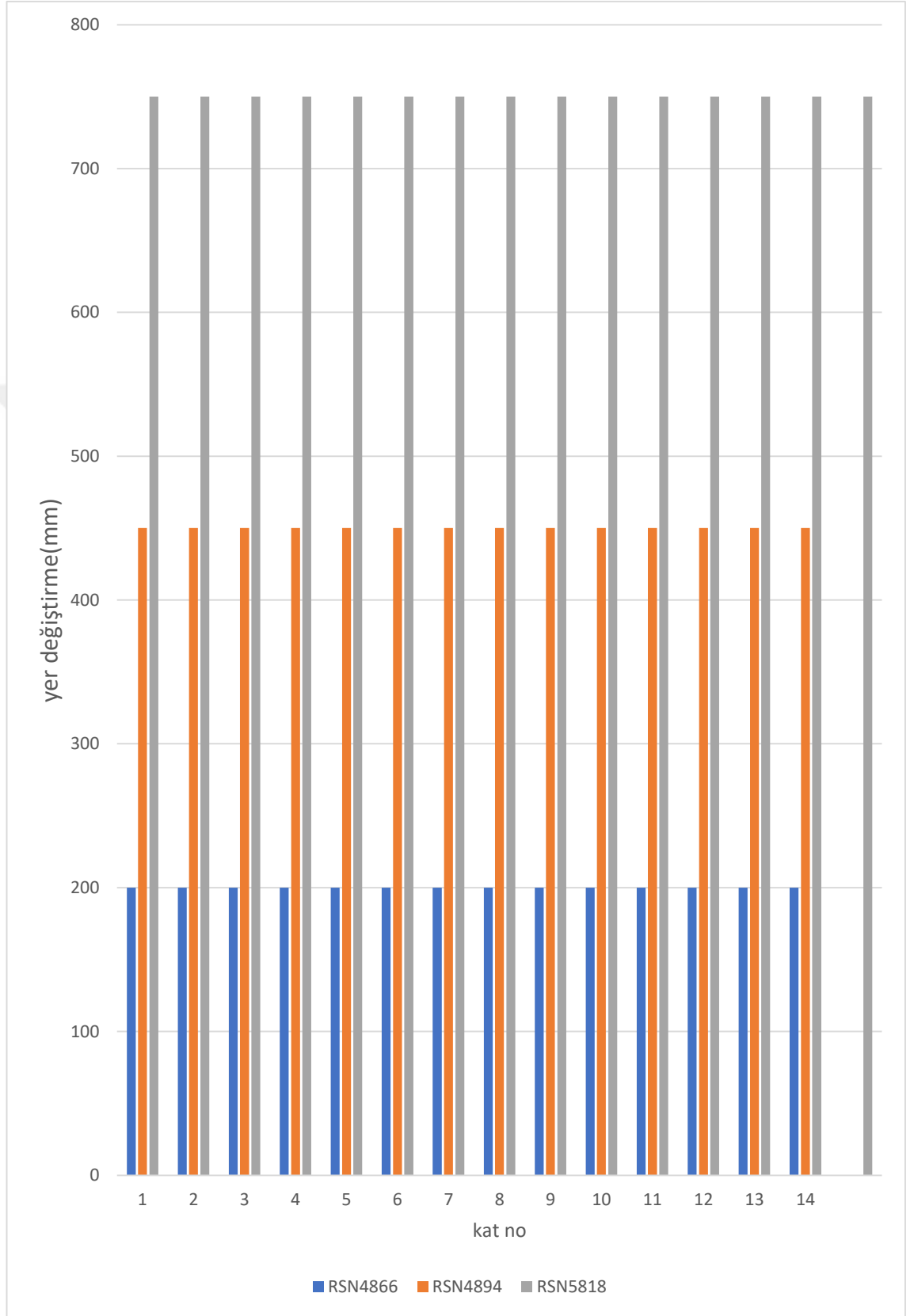
Sismik izolasyonlu için DD-1 depremi için kat yer değiştirme grafikleri şekil 78-81’de verilmiştir.



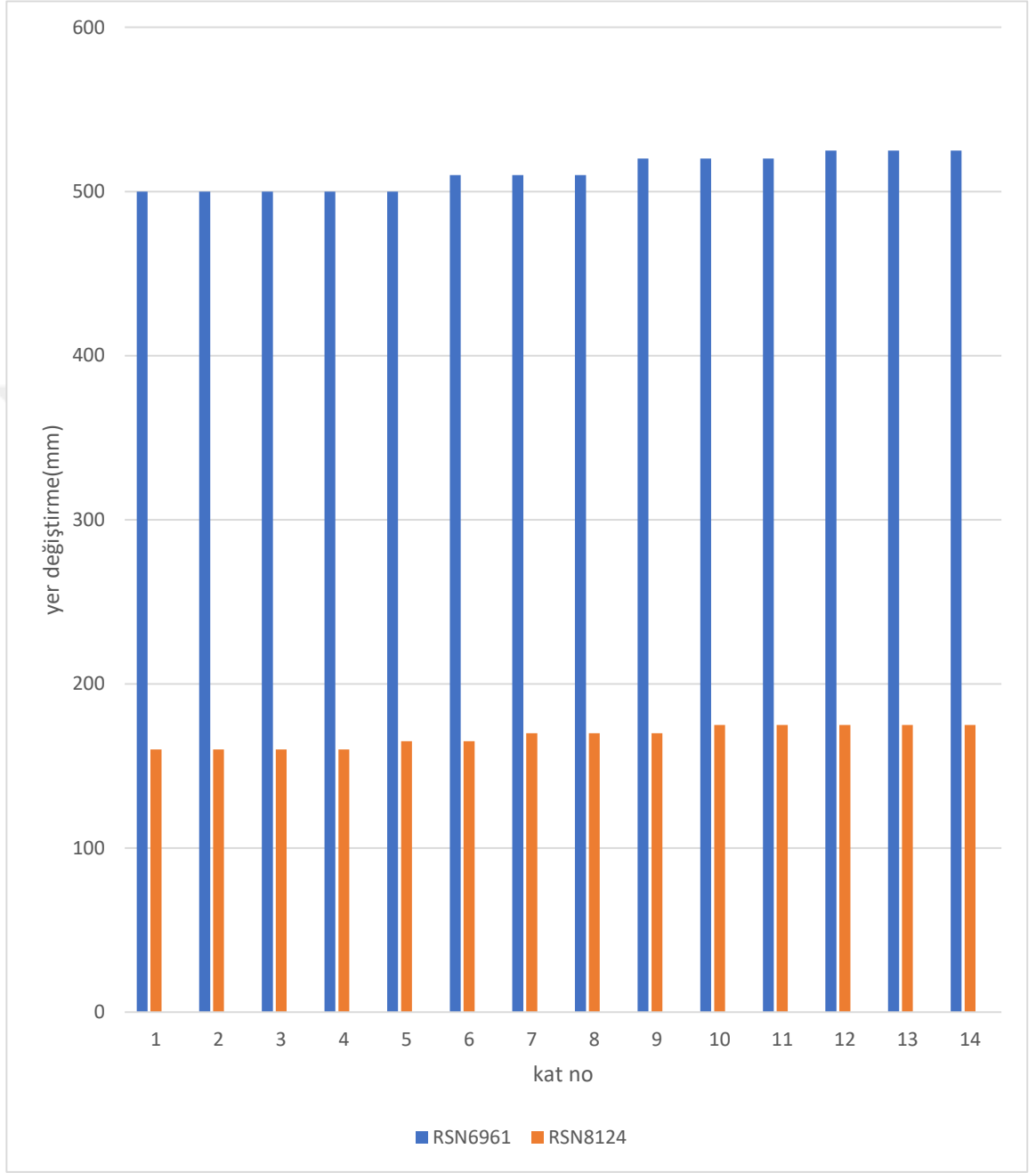
şekil 78. Sismik izolasyonlu alt sınır durumu için (DD-1) RSN802, RSN1165 ve RSN1184 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi



Şekil 79. Sismik izolasyonlu alt sınır durumu için (DD-1) RSN1511, RSN1521 ve RSN4864 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi



Şekil 80. Sismik izolasyonlu alt sınır durumu için (DD-1) RSN4866, RSN4894 ve RSN5818 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişim



Şekil 81. Sismik izolasyonlu alt sınır durumu için (DD-1) RSN6961 ve RSN8124 depremleri için katlara göre yer değiştirmelerinin değişimi

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Depremler, can kaybı ve ekonomiye zarar verme potansiyeli olan önemli bir doğal tehlikeyi temsil eder. Depreme dayanıklı yapıların tasarımı, bina sakinlerinin güvenliğini sağlarken deformasyona olanak sağlamak için yapının sünekliğini ve enerji dağıtma kapasitesini artırma ihtiyacı göz önüne alındığında, mühendisler için zorlu bir görev olmaya devam etmektedir. Ancak, yüksek deformasyon seviyelerinin yapısal arızaya yol açabileceği ve insan hayatını tehdit edebileceği hastaneler gibi belirli bina tipleri için deformasyon ve kalıcı hasar kabul edilemez olabilir. Sonuç olarak, sismik taban izolasyonu, üst yapıyı temelden izole etmek için mekanik cihazlardan yararlanarak deformasyondan arınmış yapılar tasarlamak için uygulanabilir bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada 14 katlı bir hastane binasının temeli üstü kolonların altında genellikle kullanılan sürtünmeli sarkaç ve çekirdekli kauçuk izolatörler yerleştirilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler, depremin düşey bileşeni de dahil olmak üzere 3 bileşenli olarak yürütülmüştür. Her bir deprem kaydına ait birbirine dik 2 bileşen 90 derece döndürülmek sureti ile 2 farklı yük tanımlanması ile tanımlanmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile izolatörlerin maksimum bileşke deplasmanları, maksimum bileşke taban kesme kuvveti, maksimum bileşke kat ivmelenmeleri ve göreceli kat ötelemeleri kontrolleri yapılmıştır.

Bu çalışmada yalıtım sistemi (LRB+FSP) ikisi birlikte bina alt katında kullanılarak analiz yapılmıştır. Yalıtımlı binaların tepkisi üzerindeki etkisini incelenmiş ve bulunan sonuçlar geleneksel temelli binaların tepkisiyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlardan bu yalıtım sistemi yapının performansını iyileştirmede önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır.

Analiz sonuçlarına bakılırsa ankastre mesnetli yapının periyodu $T_{\text{ankastre}} = 1.985$ s olurken, sismik izolasyonlu yapı DD-2 depremi için $TDD-2=2.821$ s, DD-1 depremi için $TDD-1=3.325$ s olmuştur. Sismik izolasyon kullanılmasıyla periyot değerleri artırarak binaya gelen ivmeleri düşürüp yapıya gelen yüklerin azaldığı grafiklerden anlaşılmaktadır.

Ankastre mesnetli binanın kat ivmeleri katlarda yukarı doğru gittikçe artarken sismik izolasyonlu binada yukarı doğru gittikçe azaldığı görülmektedir. Binanın en üst katında kat ivmeleri ankastre mesnetli bina için 1.750 g iken sismik izolasyonlu 0.601 g

izolasyon binada olduğu görülmüştür. Böylelikle sismik izolasyon kullanımı kat ivmelerini %65 azalttığı görülmüştür.

Analiz sonucunda yapı taban kesme kuvvetlerinde ciddi bir farklılık görülmektedir. Taban izolasyonu uygulanan modelde yapı taban kesme kuvveti yaklaşık %75 azalmıştır. (Varılan bu sonucun olumlu katkısının “R” yapı davranış katsayısının sismik izolasyon uygulanan modelde daha düşük alınması sebebiyle tasarım safhasında bir miktar azalacağı göz önünde bulundurulmalıdır.) Ulaşılan bu sonuç sismik izolasyonlu yapılarda yapı taban kesme kuvvetinin azalması sayesinde taşıyıcı elemanların boyutlarının küçültülebilmesine imkân tanımaktadır

Kat kesme kuvvetleri bakımından değerlendirilecek olursa, ankastre mesnetli için 14000 kN iken sismik izolasyonlu bina için 7100 kN olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak izolatör kullanılan bina izolatör kullanmayan binalara göre kat kesme kuvvetlerini tabanda yaklaşık olarak %50 azaldığı görülmektedir.

Kat eğilme momentleri karşılaştırılmasında ankastre mesnetli için 92000 kNm iken sismik izolasyonlu bina için 52000 k Nm’dir. Sismik izolasyonlu ankastre mesnetli binaya göre % 43 oranında azaldığı elde edilmiştir.

Kat yer değiştirmelere incelendiğinde; ankastre mesnetli yapının üst sınır durumu DD-2 depremi için 390.6mm alt sınır durumu DD-1 depremi için 693.5mm, sismik izolasyonlu bina DD-2 depremi için 342.5mm, sismik izolasyonlu bina DD-1 depremi için 420.3mm olduğu görülmüştür. Sismik izolasyon kullanımı kat yer değiştirmelerini DD-2 depremi için yaklaşık %12.3; DD-1 depremi için %39.4 azalttığı görülmüştür.

Kat eksenel kuvvetleri karşılaştırıldığında, ankastre mesnetli için 85000 kN iken Sismik izolasyonlu bina için 71000 kN olarak elde edilmiştir. Sismik izolasyonlu ankastre mesnetli binaya göre %16 oranında azalttığı sonucu elde edilmiştir.

Sismik izolasyon yöntemi tarihi yapıların güçlendirilmesinde, yeni yapılacak olan ve günlük hayatın sürdürülmesinde vazgeçilmez olan hastane, itfaiye, kolluk kuvvetleri binaları gibi kamu kurumlarının binalarının projelendirilmesinde ve inşasında depremde sonra kesintisiz hizmet için kullanılması elzemdir.

5. KAYNAKÇA

- Al Asaf, E. (2022). Sismik İzolatörlü Yapıların Tasarımına Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Barmo, A. (2013), The behavior of multi-story buildings seismically isolated with Friction Isolation and equipped with Friction Viscous Elastic Damper", Master, the Higher Institute of Seismic Studies and Research, University of Damascus, 2013.
- Beha, G. (2019), Analytical and experimental study of a base seismic isolator model. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(4), 3016-3018. <https://www.researchgate.net/publication/338886200>
- Constantinou, M. (2014). Passive and active structural vibration control in civil engineering, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 978-3-7091-3012-4, <https://doi.org/10.1007/eqe.3012>
- Constantinou, M. (2022). Effect of modeling of inherent damping on the response and collapse performance of seismically isolated buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 52(3):571-592 <https://doi.org/10.1002/eqe.3773>
- Constantinou, M. (2023). Mid-height seismic isolation of equipment in nuclear power plants, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 52(4):998-1015 <https://doi.org/10.1002/eqe.3798>
- Çavdar, Ö. ve Bayraktar A. (2016). Nonlinear earthquake performance evaluation of a structure collapsed during the Van, Turkey, earthquake on October 23, 2011. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30 (4), 04015092
- Çavdar, Ö., (2023). Seismic performance of a high-rise building by using linear and nonlinear methods. *Natural Hazards*, 112 (2), 1359-1378
- Çavdar, Ö., Yıldız Z. ve Naghshineh, A.K. (2025). Investigation of new mixtures based on natural rubber and nitrile-butadiene rubber for high damping base isolation systems. *Journal of Elastomers & Plastics*, 1–16, DOI: 10.1177/00952443251328185
- Çelik, M. (2019). Sismik Taban Yalıtımlı Binaların Modellenmesi, Tasarımında Karşılaşılan Problemler ve Pratik Mühendislik Çözümleri. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.

- Davas, Ö., (2018). Probabilistic behavior of semi-active isolated buildings under pulse-Like earthquakes. *Smart Structures and Systems*, 23(3):227-242. <https://doi.org/10.12989/sss.2019.23.3.227>
- ETABS, (2018) Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.
- Francisco, L. ve Carlos M. (2022). “Survey On Major Worldwide Regulation on Seismik Base İsolation Of Buildings”, *İnternaional Journal for Numerical Methods*, Volume 2022, <https://doi.org/10.1155/2022/6162698>
- Fujita, T. (1998). Seismic isolation of civil buildings in Japan. *Progress In Structural Engineering and Materials*, 1: 295-300.
- Gazi, H. (2015). Sismik izolasyonlu binaların deprem yükleri altındaki olasılıksal Davranışı. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Gesualdi, G., Cardone, D. ve Rosa, G. (2019). Finite element model updating of base-isolated buildings using experimental results of in-situ tests, *Soil Dynamics and EarthquakeEngineering*, 119, 422-432. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.02.003>
- Gökhan, E.(2009). Betonarme yapılarda izolatör kullanımının taşıyıcı sistem davranışına etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güler, E. (2013). Sismik İzolasyonlu Binalardaki Doğrusal Olmayan Sıvı Viskoz Sönümleyicilerin Yakın Depremlere Karşı Etkinliği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Hasan, H. (2016). Improving the behavior of tall buildings using a hybrid base isolation system and rotational friction dampers, *Earthquake Structural Engineering-Higher Institute of Seismic Research and Studies -University of Damascus*.
- He, P., Ma, Y. ve Liu, C. (2025). Seismic resilience assessment of base-isolated structures with friction pendulum isolation bearings based on two-dimensional fragility. *Journal of Building Engineering*, 103,112202, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112202>
- Hilmi, A. (2019). Effect of friction pendulum bearing properties on behaviour of buildings subjected to seismic loads. *An International Journal*, Gaziantep üniversitei, Gaziantep.
- İslam, S. ve Jameel, M. (2011). “Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behaviour of structure and installation technique”. *Journal of Engineering and Technology Research* Vol. 3(4), pp. 99-117, <https://www.researchgate.net/publication/229045386>

- İsmail, M. (2017). “Seismic isolation of structures. Part I: Concept, review and a recent development”. *Journal of Engineering*, vol. 69. Issue pages 147- 161, <https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.10.002>
- Jangid, R. S., (2022). Performance and optimal design of base-isolated structures with clutching inerter damper, *Structural Control and Health Monitoring*, <https://doi.org/10.1002/stc.3000>
- Karaca, E. O., Tanyıldızı, M. ve Bozkurt, N. (2022). Sismik taban izolasyon sistemlerinin ve özelliklerinin araştırılması. *Mühendislik Uygulamaları*, 1 (1), 63–71. <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/enap/article/view/318>
- Karuk, V. (2023). “Variation in Mechanical Properties of a Lead–Rubber Bearing Exposed to Low Temperature”, Eskişehir university, *Journal of Cold Regions Engineering* V(37),I(3) <https://doi.org/10.1061/JCRGEI.CRENG-698>,
- Kasimzade, A. (2024). New Generation Structural Seismic Isolation System, Particularities and State of the Applications, *Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures* (PP: 518-537), https://doi.org/10.1007/978-3-031-66888-3_42
- Kök, S. (2014). “Depreme Dayanımı için Sismik İzolasyon Sistemleri Kullanımı ve Türkiye’deki Uygulamalarının Analizi”, yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Nakamura, Y. ve Okada, K. (2019). “Review on seismic isolation and response control methods of buildings in Japan”. *Geoenvironmental Disasters* volume 6, Article number: 7, 2019
- Nascimbene, R., Furinghetti, M. ve Pavese, A. (2025). Evaluating Seismic Isolation Design: Simplified Linear Methods vs. Nonlinear Time-History Analysis, Faculty of Engineering, University of Pavia, 27100 Pavia, Italy, 9(2), 34; <https://doi.org/10.3390/designs9020034>
- PEER (2025) (Pacific Earthquake Engineering Research Centre), [http:// peer. Berke ley. Edu/ smcat/ data](http://peer.berkeley.edu/smcat/data)
- Pekgökgöz, R., K., Gürel, M., A., Kömür, M. ve Çılı, F. (2007) Cost Analysis of Building with Seismic Base Isolation System, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3, 25 (2007) 236-246, <https://sigma.yildiz.edu.tr/article/1162>
- ResGaz 1, (2018), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmî Gazete.
- Saiful Islam, A.B.M., Jameel, M. ve Jumaat, Z. (2011). Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behavior of structure and installation technique. *Journal of*

Engineering and Technology Research, 3(4), 99-117,
<https://www.researchgate.net/publication/229045386>

Severcan, M. (2019). Sismik İzolatörlü Binalarda Kat Adedi Etkisi. Ömer Halisdemir Üniversitesi *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 8, Sayı 2,
<https://doi.org/10.28948/ngumuh.598230>

Soyluk, A. (2010). Sismik taban izolatörü kullanımının mimari tasarıma etkisi. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2018

Trisi (2010). An algorithm for the analysis of seismic base isolated shear frame structures *JES Journal of Engineering Sciences* 38(6):1429-1445
<https://doi.org/10.21608/jesaun.2010.125568>

URL-1 <https://images.app.goo.gl/i9eo7u5TonaLDkJd7>

URL-2 <https://images.app.goo.gl/6EMJpmgHDMwokRFs5>

URL-3 <https://images.app.goo.gl/kbbqqGNRaKFy1wua7>

URL-4 <https://images.app.goo.gl/TEb3RFcs1yYbPSy36>

URL-5 <https://images.app.goo.gl/7u2bG6cxPCoBxWHM7>

URL-6 <https://images.app.goo.gl/D4VtJfCRauuA97C36>

Üner, İ. (2020). Sismik izolasyonlu binalarda yapısal olmayan elemanların deprem güvenliğinin irdelenmesi. Yüksek lisans tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.

Yıldız, Ö. (2021). Numerical Analysis of Geotechnical Seismic Isolation System for High-Rise Buildings, Volume: 2 Issue: 1, 34- 43, 01.06.2021,
<https://doi.org/10.46572/naturengs.872231>

Yurdakul, M. (2024). The effect of positioning of seismic isolators in a reinforced concrete building, *J. Innovative Eng. Nat. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 1-18, 2025,
<https://doi.org/10.61112/jiens.1514611>

Zhou, F.L., Yang, Z., Liu, W.G. ve Tan, P. (2004). New seismic isolation system for irregular structure with the largest isolation building area in the world. 13th World Conference On Earthquake Engineering, Canada, 1-11, 2004

ÖZGEÇMİŞ

Hassan Al COUMA, Lise öğrenimini Halep’te tamamlayarak Türkçe dilini 2018 yılında Ege Üniversitesi. Türkçe Öğretim Merkezinde öğrendi. Lisans eğitimini 2019-2022 yılları arasında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. İnşaat Mühendisliği bölümünde tamamladı. 2022 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

