

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI BİLİM DALI**

**FARKLI SİSMİK İZOLATÖR TİPLERİ İLE TASARLANAN BETONARME
YAPILARIN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Mehmet Kemal ALTINAY

Danışman

Prof Dr. Recep Tuğrul ERDEM

MANİSA – 2024

M. Kemal ALTINAY	FARKLI SİSMİK İZOLATÖR TİPLERİ İLE TASARLANAN BETONARME YAPILARIN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ	2024
---------------------	--	------

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zeka ve program kullanmadığımı beyan ederim.

Mehmet Kemal ALTINAY



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Mehmet Kemal ALTINAY

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Recep Tuğrul ERDEM

Bu çalışmada, yapıların sismik performansını iyileştirmek için kullanılan sismik izolatörlerin, farklı betonarme yapılar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Özellikle hastane ve veri merkezi gibi kritik yapılarda tercih edilen bu sistemler, yapının temel seviyesinde konumlandırılarak üstyapının zemin hareketlerinden izole edilmesini ve deprem kuvvetlerinin sönmülenmesini sağlamaktadır.

Çalışmada, farklı zemin koşullarında iki ayrı betonarme yapının performans hedefleri, kurşun çekirdekli kauçuk ve eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapı modeli ve sismik izolatör tasarımları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, TSEN 1337-1 ve TSEN 15129 standartları esas alınarak tasarlanmıştır.

Zaman tanım alanında analizleri için seçilen deprem kayıtları, Seismosignal ve Seismomatch programları kullanılarak düzenlenmiş, yapıların modellenmesi ve analizleri SAP2000 ve Protastructure 2025 programları ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarında, iki farklı yapının sismik davranışları, kullanılan izolasyon sistemlerinin birbirlerine göre üstünlükleri ve sınırlamaları ile zemin-yapı etkileşiminin performans üzerindeki etkileri sistematik bir şekilde incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sismik İzolatör, Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör, Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör, Zaman Tanım Alanında Analiz, İzolatör Tasarımı

2024, 197 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Mehmet Kemal ALTINAY

**Manisa Celal Bayar University
Institute of Postgraduate Education
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Recep Tuğrul ERDEM

In this study, effects of the seismic isolators which are used to improve the seismic performance on different reinforced concrete structures are investigated. These systems, particularly preferred in critical structures such as hospitals and data centers, are positioned at the foundation level of the structure to isolate the superstructure from ground motions and provide damping of earthquake forces.

In the study, performance objectives of two separate reinforced concrete structures under different soil conditions have been evaluated using lead rubber and curved surface friction pendulum type isolators. The structural model and isolator designs have been designed based on Turkish Building Earthquake Code 2018, TSEN 1337-1, and TSEN 15129 standards.

For time history analysis, while selected earthquake records have been processed by using Seismosignal and Seismomatch programs, structural modeling and analyses have been performed by SAP2000 and Protastructure 2025 programs. In the analysis results, seismic behavior of two different structures, advantages and limitations of the isolation systems compared to each other, and the effects of soil-structure interaction on performance have been systematically investigated.

Keywords: Seismic Isolator, Lead Rubber Isolator, Friction Pendulum Type Isolator, Time History Analysis, Isolator Design

2024, 197 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Öncelikle bu süreçte desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, sürekli yanımda olan, bana rehberlik eden, süreci araştırmacı ve eğitici kılan kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Recep Tuğrul ERDEM'e teşekkürlerimi borç bilirim. Öğrenciniz olmak benim için büyük bir şeref.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolator verilerini benimle paylaşan ARSAN KAUÇUK'tan Murat AĞCAKOCA'ya, Tasarım ve modellemede yardımcı olan Protastructure ekibinden Burçin GÖVSULU'ya araştırmalarda destek veren Demirci Belediyesi İmar ve Şehircilik müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca süreç boyunca beni hep destekleyen maddi manevi her zaman yanımda olan canım anneme, ablalarım ve merhum babama tez çalışma sürecimde çalışma gayreti göstermemi destekleyen, sevgi ve sabırla her daim yanımda olan bana güç veren eşim Elif Verda ALTINAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Kemal ALTINAY

Manisa, 2024

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
DD	: Tasarım depremi yer hareketi seviyesinde göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme
KK	: Kesintisiz Kullanım
LRB	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler
HDRB	: Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler
FPS	: Sürtünmeli Sarkaç İzolatörler
TBDY – 2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – 2018
TS-500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları Standartı
TS-498	: ‘Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri’ adlı Standart
UBC	: Uniform Building Code
K.Ç.K.İ.	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör
E.Y.S.S.T.İ.	: Eğri Yüzeyle sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör
A	: Elastomer mesnetin brüt kesit alanı
A _L	: Elastomer mesnetin kenar yüzey alanı
A _P	: Kurşun çekirdekli elastomer mesnette kurşun çekirdeğin alanı
A _r	: Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz kalan yüzey alanı
B	: Elastomerin çapı
B _L	: Kurşun çekirdeğin çapı
C	: Beton sınıfı
D	: Yalıtım birimi için yatay yer değiştirme değeri
D _y	: Yalıtım biriminin etkin akma yer değiştirmesi
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
E _v	: Düşük rijitlik modeli
E _c	: Belirli bir düşey yük altındaki elastomer mesnetin elastisite modülü
E ₀	: Kauçuk malzemenin esneklik modülü
E _b	: Betonun elastisite modülü

E_s	: Çeliğin elastisite modülü
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
G	: Elastomer mesnetin kayma modülü
h	: Kat yüksekliği
h_t	: Yapı yüksekliği
h_d	: Döşeme kalınlığı
I	: Bina önem katsayısı
K_1	: Elastik rijitlik
K_2	: Akma sonrası rijitlik değeri
K_H	: Yatay rijitlik değeri
K_{eff}	: Efektif rijitlik
n	: Hareketli yük katsayısı
P_d	: Duvar yükü
P_k	: Kaplama yükü
PGA	: En büyük yer ivmesi
PGV	: En büyük yer hızı
R_r	: Küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı
R	: Deprem azaltma katsayısı
S	: Şekil faktörü
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
δ_v	: Düşey yöndeki yer değiştirme değeri
T_r	: Kauçuğun toplam kalınlığı
T_A	: Yatay elastik tasarım spektrumu (A) köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım spektrumu (B) köşe periyodu
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumu
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım spektrumu (A) köşe periyodu
T_{BD}	: Düşey elastik tasarım spektrumu (B) köşe periyodu
T_{LD}	: Düşey elastik tasarım spektrumu
T	: Efektif periyot

U_b	: Betonun poisson oranı
U_s	: Çeliğin poisson oranı
μ	: Sürtünme katsayısı (mafsallı kayıcı ve konkav yüzey arasında oluşan sürtünme kuvvetinden kaynaklı)
γ_m	: Maksimum kayma şekil değiştirmesi
Q_h	: Hareketli yük
Q	: Kuvvet – yer değiştirme histeresis eğrisinden alınan kuvvet eksenindeki büyüklük
W	: İzolatörün taşıdığı yük
β_{eff}	: Efektif sönüm
$[sgn(D')]$	: Kayma hızına bağlı olarak durumu gösteren işaret fonksiyonu
ω	: Doğal frekans

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Taipei 101 (Ayarlı Kütle Sönümleyici) [16]	11
Şekil 3.2. Jules Touailllo'a Tarafından Yapılan Patent Çizimleri [18]	14
Şekil 3.3. Imperial Hotel (Tokyo-Japonya) [19].....	15
Şekil 3.4. Toplam İzolasyonlu Yapı Stoğu (104 Adet Yapı) [22]	18
Şekil 3.5. Toplam İzolasyonlu Yapı Stoğu (35738 Adet Sismik İzolatör) [22]	19
Şekil 3.6. Doğal Kauçuk İzolatör [22]	22
Şekil 3.7. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör [23]	23
Şekil 3.8. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör [24]	24
Şekil 3.9. Çapraz Raylı İzolatör Kesiti ve 3D Görünümü [25].....	25
Şekil 3.10. Diğer Sistemler ile Birlikte Kullanıma Örnek [26]	26
Şekil 3.11. Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör [27]	26
Şekil 3.12. Çift Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör [28]	27
Şekil 3.13. Üç Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatörler [27].....	28
Şekil 3.14. GERB İzolatörleri [29]	29
Şekil 3.15. X-Tip Metalik Sönümleyici Yerleşimi [30]	31
Şekil 3.16. X-Tip Metalik Sönümleyici Kesiti	32
Şekil 3.17. T-Tip Metalik Sönümleyici Kesiti ve Sönümleyici Detayı [31]	32
Şekil 3.18. Eşkenar Dörtgen Tip Metalik Sönümleyici Kesiti ve Modeli [32].....	32
Şekil 3.19. Panel Tip Metalik Sönümleyici Yerleşimi [30].....	32
Şekil 3.20. Panel Tip Metalik Sönümleyici Kesiti.....	33
Şekil 3.21. Hexagonal Honeycomb Metalik Sönümleyici [33]	33
Şekil 3.22. Yarık Tip Metalik Sönümleyici Yerleşimi ve Uygulaması [34]	34
Şekil 3.23. Tek Yuvarlak Delikli Metalik Sönümleyici [35].....	34
Şekil 3.24. İkili X Tip Metalik Sönümleyici [36].....	34
Şekil 3.25. Spiral Tip Metalik Sönümleyici [37].....	35
Şekil 3.26. Boru Tip Metalik Sönümleyici [38]	35
Şekil 3.27. Çaprazlar arasına yerleştirilmiş X Tip Sürtünmeli Sönümleyici [39]	36
Şekil 3.28. Visko-Elastik Katı Sönümleyici ve Yerleşim Kesiti [40]	37
Şekil 3.29. Viskos Sönümleyici İç Planlaması [41].....	38
Şekil 3.30. Viskos Sönümleyicinin Yapıya Yerleşimi.....	38
Şekil 3.31. Ayarlı Kütle Sönümleyici (Mass Damper System) [42].....	39
Şekil 3.32. Hareketlenen Yapıda sistemin Gösterdiği Davranış [43]	41
Şekil 3.33. Turned Liquid Dampers Analiz Modeli	41
Şekil 5.1. Kompozit Tasarım İvme Spektrumu [50].....	52
Şekil 5.2. Yalıtım Birimleri İlgili Koşul Durumları (Sırasıyla a-b-c) [2].....	56
Şekil 5.3. Deplasman Durumu İzdüşüm Alanı Hesabı [2].....	57
Şekil 5.4. Kurşun Çekirdekli İzolatör Yükleme Döngüsü [2]	58
Şekil 5.5. Yüzeylerin “ μ ” Değerlerinin Belirlenmesi [2]	63
Şekil 5.6. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli İzolatör Yükleme Döngüsü [2].....	64
Şekil 6.1. Beton Malzeme Tanımlaması	74

Şekil 6.2. Donatı Malzeme Tanımlaması.....	74
Şekil 6.3. Kolon Etkin Rijitlikleri (Model-1)	75
Şekil 6.4. Kiriş Etkin Rijitlikleri (30x50) (Model-1 ve Model-2)	75
Şekil 6.5. Kiriş Etkin Rijitlikleri (30x60) (Model-1).....	76
Şekil 6.6. Model-1 Kat Planı	77
Şekil 6.7. Model-2 Kat Planı	78
Şekil 6.8. Model-1 (Sismik İzolatör Tanımlaması Öncesi Modelleme)	79
Şekil 6.9. Model-2 (Sismik İzolatör Öncesi Modelleme).....	79
Şekil 6.10. Model-1 (DD-1) ZB Üst sınır Değerli İzolatör U1 Rijitliği Tanımı.....	85
Şekil 6.11. Model-1 (DD-1) ZB Üst sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitlik ve Deplasman Tanımları.....	86
Şekil 6.12. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZB Zemin Sınıfı İçin)	86
Şekil 6.13. Model-1 DD-1 (ZB) Excel Çalışma Sayfası.....	88
Şekil 6.14. Model-1LRB Çizgisel İzolatör Tanımlı Çubuk Elaman 3D Görünüm ...	89
Şekil 6.15. Model-1 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U1 Rijitliği Tanımı	90
Şekil 6.16. Model-1 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitliği Tanımı	91
Şekil 6.17. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZC Zemin Sınıfı İçin)	91
Şekil 6.18. Model-1 DD-1 (ZC) Excel Çalışma Sayfası.....	93
Şekil 6.19. Model-2 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör U1 Rijitliği Tanımı	94
Şekil 6.20. Model-2 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitliği Tanımı	95
Şekil 6.21. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZB Zemin Sınıfı İçin)	95
Şekil 6.22. Model-2 LRB Çizgisel İzolatör Tanımlı Çubuk Elaman 3D Görünüm ..	97
Şekil 6.23. Model-2 DD-1 (ZB) Excel Çalışma Sayfası.....	98
Şekil 6.24. Model-2 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U1 Rijitliği Tanımı	99
Şekil 6.25. Model-2 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitliği Tanımı	100
Şekil 6.26. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZC Zemin Sınıfı İçin)	100
Şekil 6.27. Model-2 DD-1 (ZC) Excel Çalışma Sayfası.....	102
Şekil 6.28. Model-1 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitlik, Sürtünme ve Deplasman Tanımları.....	108
Şekil 6.29. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZB Zemin Sınıfı İçin)	109
Şekil 6.30. Model-1 DD-1 (ZB) Excel Çalışma Sayfası.....	110
Şekil 6.31. Model-1 (DD-1) ZC Üst Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitlik, Sürtünme ve Deplasman Tanımları.....	112
Şekil 6.32. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZC Zemin Sınıfı İçin)	112
Şekil 6.33. Model-1 DD-1 (ZC) Excel Çalışma Sayfası.....	114
Şekil 6.34. Model-2 (DD-1) ZB Üst Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitlik, Sürtünme ve Deplasman Tanımları.....	116
Şekil 6.35. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZB Zemin Sınıfı İçin)	116
Şekil 6.36. Model-2 DD-1 (ZB) Excel Çalışma Sayfası.....	118

Şekil 6.37. Model-2 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitlik, Sürtünme ve Deplasman Tanımları.....	120
Şekil 6.38. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZC Zemin Sınıfı İçin)	120
Şekil 6.39. Model-2 DD-1 (ZC) Excel Çalışma Sayfası.....	122
Şekil 6.40. Protastructure Malzeme Tanımlı Arayüz.....	124
Şekil 6.41. C35 Beton Mekanik Özellikleri.....	124
Şekil 6.42. B420C Donatı Mekanik Özellikleri.....	125
Şekil 6.43. Model-1 (Sismik İzolatör Tanımlaması Öncesi Modelleme)	125
Şekil 6.44. Model-1 (Sismik İzolatör Öncesi Modelleme)	126
Şekil 6.45. Model-1 (DD-1) ZB Üst Sınır Değerli İzolatör Tanımı (ProtaStructure2025)	127
Şekil 6.46. Model-1 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)	127
Şekil 6.47. Model-1 Analitik Model Görünümü.....	128
Şekil 6.48. Model-2 (DD-1) ZB Üst Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)	129
Şekil 6.49. Model-2 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)	130
Şekil 6.50. Model-2 Analitik Model Görünümü.....	130
Şekil 6.51. Model-1 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)	131
Şekil 6.52. Model-1 (DD-1) ZC Üst Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)	132
Şekil 6.53. Model-2 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)	133
Şekil 6.54. Model-2 (DD-1) ZC Üst Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)	133
Şekil 6.55. Yapı Periyodu ve İvme Değişimi	135
Şekil 6.56. Yakın Fay Depremi Kayıtları için Örnek Filtreleme	136
Şekil 6.57. Periyot Adımının Düzenleme Ayarları (Seismomatch).....	137
Şekil 6.58. Seismomatch İvme-Zaman Değerlerinin Temin Edilmesi (Örnek).....	137
Şekil 6.59. Seismosignal İndirgeme.....	138
Şekil 6.60. MTA Diri Fay Haritası (Kütahya Paftası Parçası).....	141
Şekil 6.61. Model-1 ZB DD-1 (Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör)	142
Şekil 6.62. Time-History Fonksiyon Tanımlamaları	143
Şekil 6.63. Load Case Data Oluşturulması	144
Şekil 6.64. SAP2000 Kombinasyonları	145
Şekil 6.65. Model-1 ZB DD-1 Deprem Kayıtlarının Tanımlanması	146
Şekil 6.66. Model-1 ZB DD-1 Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Değerinin Yapılması (Protastructure)	146
Şekil 6.67. Model-1 ZB DD-1 Ölçeklendirme Değerleri (Protastructure)	147
Şekil 6.68. Model-1 ZB DD-1 Modeli için Kombinasyonlar (Protastructure)	147
Şekil 7.1. Model-1 DD-1 ZB K.Ç.K.İ. (Alt Sınır Değer)	150

Şekil 7.2. Model-1 DD-1 ZC K.Ç.K.İ. (Nominal Değer)	151
Şekil 7.3. Model-1 DD-1 ZC E.Y.S.S.T.İ. (Nominal Değer)	151
Şekil 7.4. Model-1 E.Y.S.S.T.İ. ZC (Üst Sınır Değer)	152
Şekil 7.5. Model-1 E.Y.S.S.T.İ. ZC (Nominal Sınır Değer).....	153
Şekil 7.6. X Yönü Kat Deplasmanları	158
Şekil 7.7. Y Yönü Kat Deplasmanları	158
Şekil 7.8. İzolatörlü Yapıların Bileşke İvme Değerleri	160
Şekil 7.9. Model-2 DD-1 ZB K.Ç.K.İ (Üst Sınır Değer).....	161
Şekil 7.10. Model-2 DD-1 ZC K.Ç.K.İ. (Nominal Değer)	162
Şekil 7.11. Model-2 DD-1 ZC E.Y.S.S.T.İ. (Nominal Değer)	162
Şekil 7.12. Model-2 E.Y.S.S.T.İ ZC (Üst Sınır Değer)	164
Şekil 7.13. X Yönü Kat Deplasmanları	168
Şekil 7.14. Y Yönü Kat Deplasmanları	168
Şekil 7.15. İzolatörlü Yapıların Bileşke İvme Değerleri	170
Şekil 7.16. 3D Model Zaman Tanım Analizi (Protastructure 2025).....	171
Şekil 7.17. RSN879 Y Yönün Oluşturduğu Deplasman-Zaman Grafiği.....	173
Şekil 7.18. RSN-143 Kaydı için Oluşan deplasman Görünümleri	173

TABLO DİZİNİ

Tablo 4.1. TBDY 2018 Yalıtım Birimi Prototip Deneyleri [2]	45
Tablo 4.2. TBDY 2018 Yalıtım Birimi Üretim Kontrol Deneyleri [2]	45
Tablo 4.3. İzolatör Deneylerinde kullanılan Yük Bileşenleri Tablosu [2]	46
Tablo 5.1. Özellik Arz Eden Binaların Tasarım Gözetimi ve Kontrolü Hizmetlerine Dair Yönetmelik (Tablo D.1) [49]	48
Tablo 5.2. TBDY-2018 Deprem Yüğü Azaltma ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları [2]	50
Tablo 5.3. Elastomer Yalıtım Birimleri Dayanım ve Rijitlik Parametreleri Sınır Öneri Değerleri [2]	54
Tablo 5.4. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için Alt ve Üst Sınır Öneri Değerleri	63
Tablo 6.1. Model-1 Yapı Bilgileri	68
Tablo 6.2. Model-2 Yapı Bilgileri	68
Tablo 6.3. Model-1 Malzeme Bilgileri	69
Tablo 6.4. Model-2 Malzeme Bilgileri	69
Tablo 6.5. Analiz Modelleri Hakkında Bilgilendirme	70
Tablo 6.6. Tasarım Yüklemleri	70
Tablo 6.7. Model-1 Hedef Spektrum Spektral Parametreler	71
Tablo 6.8. Model-2 Hedef Spektrum Spektral Parametreler	72
Tablo 6.9. Üst Yapı Ağırlık Tablosu	80
Tablo 6.10. Ölçekleme Periyodu	84
Tablo 6.11. Ölçekleme Periyotları	107
Tablo 6.12. Kullanılan Deprem Kayıtları ve Deprem Yılları	134
Tablo 6.13. Model-1 DD-1 ZB Deprem Kayıtları	139
Tablo 6.14. Model-1 DD-1 ZC Deprem Kayıtları	139
Tablo 6.15. Model-2 DD-1 Deprem Kayıtları	140
Tablo 6.16. Model-2 DD-1 ZC Deprem Kayıtları	140
Tablo 6.17. Basit Ölçeklendirme Katsayı Değerleri	142
Tablo 7.1. Model-1 Yapı Periyotları	150
Tablo 7.2. Model-1 İzolatör Deplasman Değeri	152
Tablo 7.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Yapının S10 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZB)	154
Tablo 7.4. Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlü Yapının S10 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZB)	155
Tablo 7.5. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Yapının S10 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZC)	155
Tablo 7.6. Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlü Yapının S10 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZC)	156
Tablo 7.7. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolleri	157
Tablo 7.8. İvme Kayıtları ve Bileşke İvme	159

Tablo 7.9. Kat Kesme Kuvveti Değerleri.....	160
Tablo 7.10. Model-2 Yapı Periyotları	161
Tablo 7.11. Model-2 İzolatör Deplasman Değeri.....	163
Tablo 7.12. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Yapının S11 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZB).....	164
Tablo 7.13. Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlü Yapının S11 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZB)	165
Tablo 7.14. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Yapının S11 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZC).....	165
Tablo 7.15. Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlü Yapının S11 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZC)	166
Tablo 7.16. Göreli Kat Ötelemesi Kontrolleri.....	167
Tablo 7.17. İvme Kayıtları ve Bileşke İvme	169
Tablo 7.18. Kat Kesme Kuvveti Değerleri.....	170
Tablo 7.19. S1 Kolonu için Protastructure Analiz sonuçları.....	172

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLO DİZİNİ.....	XI
İÇİNDEKİLER	XIII
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3.YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİ VE SİSMİK İZOLATÖRLER.....	11
3.1.Yapısal Kontrol Sistemleri	11
3.1.1.Aktif Yapısal Kontrol Sistemleri	11
3.1.2.Pasif Yapısal Kontrol Sistemleri	12
3.1.3.Yarı Aktif Yapısal Kontrol Sistemleri	12
3.1.4.Karma Yapısal Kontrol Sistemleri.....	12
3.2. Sismik İzolatörler ve Tarihçesi.....	12
3.3 Sismik İzolasyonun Etkinliği ve Türkiye’de Sismik İzolasyon	17
3.4. Taban Yalıtım Cihazları	21
3.4.1. Elastomerik İzolatörler (Kauçuk Esaslı İzolatörler):.....	21
3.4.2. Sürtünmeli sarkaç veya kayıcı mesnetli izolatörler.....	24
2.4.2.1. Çapraz Raylı İzolatörler	25
3.4.2.2. Tek Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör	26
3.4.2.3 Çift Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör	27
3.4.2.4. Üç Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör.....	28
3.4.3. Yaylı izolatörler.....	29
3.4.3.1. Gerb İzolatörleri.....	29
3.5. Enerji Sönümleyici Cihazlar.....	30
3.5.1. Histerik Sönümleyici Sistemler	30
3.5.1.1. Metalik Sönümleyiciler	30
3.5.1.2. Sürtünmeli Sönümleyiciler	35
3.5.2. Visko-Elastik Sönümleyiciler.....	36
3.5.1.1. Visko-Elastik Katı Sönümleyiciler	36
3.5.1.2. Visko-Elastik Sıvı (Viskoz) Sönümleyiciler	37

3.5.3. Dinamik Titreşimli Sönümleyiciler.....	38
3.5.3.1 Ayarlı Kütle Sönümleyiciler.....	39
3.5.3.2. Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler	40
4.SİSMİK İZOLASYON SİTEMLERİNE DETAYLI BAKIŞ	42
4.1.Sismik İzolatörlerin Seçiminde Etkili Faktörler.....	42
4.1.1.Zeminin Jeolojik Özellikleri	42
4.1.2.Yakın Fay Durumu	42
4.1.3.Üst Yapı Ağırlığı	43
4.1.4.İzolatörlerin Enerji Yutabilme Kapasitesi	43
4.1.5.Eklenecek Olduğu Yapının Kullanımı ve Diğer Dinamik Etkiler.....	44
4.2.Sismik İzolatörlerin Test Edilmesi	44
4.2.1.Yalıtım Birimi Prototip Deneyleri:	44
4.2.2.Yalıtım Birimi Üretim Kontrol Deneyleri	45
4.3. Sismik İzolatörlerde Bakım ve Afet Sonrası Değerlendirme	46
5.SİSMİK İZOLATÖRLERİN TASARIMI.....	48
5.1. Taban Yalıtımlı Yapı Tasarım Aşamaları	49
5.1.1.Hesap Analiz Yönteminin Seçimi	50
5.2.Elastomer Sismik İzolatörlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	53
5.2.1.Elastomer Yalıtım Birimleri Alt ve Üst İndis Hesabı.....	53
5.2.2.Elastomer Yalıtım Birimlerinin Şekil değiştirme Sınırları	54
5.2.2.Elastomer Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı	56
5.2.3.Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Tasarımı.....	58
5.3.Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sismik İzolatörlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	62
5.3.1. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri Alt ve Üst İndis Hesabı.....	62
5.3.2.Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Tasarımı	64
6.SAYISAL MODEL VE ANALİZLER.....	67
6.1. Sayısal Modeller Hakkında Bilgilendirme	67
6.2. Sayısal Modelleme	73
6.2.1. Modellerin Oluşturulması (SAP2000).....	73
6.2.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerin (K.Ç.K.İ.) Mekanik Parametrelerinin Belirlenmesi	80
6.2.3. Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin (T.E.Y.S.S.T.İ.) Mekanik Parametrelerinin Belirlenmesi	103
6.2.4. Modellerin Oluşturulması (Protastructure 2025).....	123

6.2. Deprem Kayıtlarının Temini ve Ölçeklendirilmesi.....	134
6.2.2. Deprem Kayıtlarının Temini.....	135
6.2.3. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi.....	141
6.3. Kombinasyonların Tanımlanması ve Deprem İvmeleri Tanımlanması	143
7. BULGULAR	149
7.1. Model-1 İzolasyonlu Yapı Analiz Sonuçları (SAP2000).....	150
7.2. Model-2 İzolasyonlu Yapı Analiz Sonuçları (SAP2000).....	161
7.3. Model-1 İzolasyonlu Yapı Analiz Sonuçları (Protastructure 2025).....	171
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	174
KAYNAKLAR	178



1. GİRİŞ

Doğal afet kavramı, insanlık tarihi boyunca yaşamımızı şekillendiren en önemli unsurlardan birisi olmuştur. Yıkıcı etkileriyle zaman zaman savaşların ve salgın hastalıkların önüne geçebilen doğal afetler, insanoğlunun bilincinde derin ve kalıcı izler bırakmıştır. Özellikle deprem, doğal afetler arasında insanlığı en derinden etkileyen felaket olmuştur. İnsanoğlunun yerleşik hayata geçişi ve kentleşme süreciyle birlikte, yapılaşmanın giderek artması, doğal afetlere karşı alınan korunma yöntemlerini de beraberinde getirmiştir. Mühendisliğin belki de gelişimini başlatan bu durum, kayıtlı verilere göre insanlığın ilk yerleşik hayata geçtiği ve kentleşmenin ilk başladığı Mezopotamya'dan günümüze kadar insanoğlunu etkisi altına almıştır. Babil Kralı Hammurabi'nin (M.Ö. 1792-1750) saltanatı sırasında meydana gelen depremlere dair doğrudan kanıtlar bulunmasa da arkeolojik buluntular, jeolojik kanıtlar, diğer uygarlıklardan bahisler ve Hammurabi Kanunlarındaki hükümler;

229- Eğer bir mimar bir adama ev yapıp, yapıtını sağlam yapmazsa ve yaptığı ev çöküp, evin sahibinin ölümüne sebep olursa, o mimar öldürülecektir.

230- Eğer (mimar) evin sahibinin oğlunun ölümüne sebep olursa, o mimarın oğlunu öldüreceklerdir.

231- Eğer sahibinin kölesinin ölümüne sebep olursa ev sahibine köle yerine köle verilecektir.

232- Eğer mal heba olursa, zarara uğrayan her şeyi (mimar) ödeyecektir. Yaptığı ev, sağlam olmadığı için çökerse, kendi malından çöken evi (yeniden) yapacaktır.

233- Eğer bir mimar bir adama ev yapar fakat yapıtını kuvvetlendirmezse ve duvar yıkılmaya yüz tutarsa, o mimar kendi gümüşüyle (parasıyla) o duvarı sağlamlaştıracaktır.

bu dönemde depremlerin önemli bir olay olduğunu göstermektedir [1].

İnsanoğlu bu şekilde yapılaşmayı ve depremi hayatının bir parçası haline getirmiştir.

Günümüzdeyse depremin oluşturacağı zararların önüne geçmek adına hala pek çok farklı yöntem geliştirilmektedir. Yeni yönetmeliklerin çıkartılması, inşaat sektöründe çeşitli yapısal kısıtlamaların getirilmesi, yapı malzemesi teknolojisinin

geliştirilmesi, yeni inovasyonlar, yapı imalatında eğitimlerin artırılması ve kullanılan tasarım metotlarının değiştirilmesi gibi birçok durum temelinde inşaat teknolojisini ve doğal afetleri almaktadır. Bu tezinde konusu olan yapısal kontrol sistemleri yani sismik taban izolasyonlu sistemler ve enerji sönümleyici cihazlar içeren çerçeve sistemler ile birlikte şu anda en aktif ve en ileri teknoloji olarak kullanılan yapı tasarım yöntemleridir. Geleceğe dair geliştirmekte olduğumuz hala pek çok yapı tasarım yöntemi bulunsa da bazı projeler pratikte şu an ki teknolojiyle mümkün değildir. Sismik görünmezlik pelerini, süreli manyetik yapılar ve Şekil hafızalı alaşımlar ile oluşturulan yapılar gibi birçok yöntem şu anda mümkün olmasa bile geleceğimiz için birer yatırım durumundadır.

Günümüz yapı tasarımlarında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 [2] gereği “Bina Performans Hedefleri” olarak tanımlanan “Kontrollü Hasar”, “Sınırlı Hasar” ve “Kesintisiz Kullanım” performans hedeflerine göre analizler yapılmaktadır. Bu hedef performanslardan en yaygın kullanıma sahip olanı Kontrollü Hasar Hedef Performansıdır. Yaygın olarak kullanılan bu performans hedefi ile tasarlanan yapılarımız ne yazık ki ülkemizdeki inşaat sektörünün mevcut teknolojik altyapısı, denetim eksiklikleri ve kalifiye işgücü yetersizlikleri, nedeniyle 6 Şubat’ta meydana gelen 2023 Kahramanmaraş depremleriyle ciddi bir sınav vermiştir.

Söz konusu yaklaşım, can güvenliğini ön planda tutarken, yapı maliyetlerini ekonomik açıdan optimize etmeyi planlamaktadır. Depremle ortaya çıkan enerjinin yapıda taşıyıcı elemanlarda belli seviyelerde hasar oluşmasına izin vererek enerjinin sönümlenmesini hedefler fakat bu yaklaşım ile yapılan yapılarımız performans hedefleri olan kontrollü hasar seviyelerini bir önceki paragrafta bahsedilen nedenler ile yakalayamamış ve birçok yapı beklenen kritik performansı gösterememiştir.

Deprem sonrası ortaya çıkan bu yapı stoğundaki problem sebebiyle birçok yapı kullanılamaz hale gelmiş, Acil yardım ve İnsanların barınma ihtiyaçlarını kritik şekilde etkilemiştir. Bu durum, salt can güvenliğine odaklanarak ekonomikliği optimize etmeye çalışan yaklaşımın yetersizliğini ortaya koymuştur. Ayrıca Yapılardaki hasarların geri dönülemez nitelikte olması ve güçlendirme maliyetleri, başlangıçta ekonomik görünen bu yaklaşımın uzun vadede ciddi ekonomik yükler getirdiğini göstermiştir.

Yapı performans hedeflerinin sadece can güvenliğini değil, aynı zamanda yapıların deprem sonrası dayanıklılığını ve kullanılabilirliğini de dikkate alması gerekliliği konusu geleneksel tasarım performans hedeflerinden ziyade daha teknolojik ve deprem sonrası kesintisiz bir hizmeti tabi kılan tasarımı gerekli kılmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, geleneksel yapım metoduyla yapılmış ankastre bir yapıdansa kesintisiz kullanıma uygun sismik izolatörlü yapıların farklı zeminlere uygunluğu ve farklı geometrilerde tasarıma uygunlukları ele alınarak karşılaştırmak istenmiştir. Analiz için SAP2000 ve Protastructure 2025 kullanılmıştır. Seçilen iki farklı yapı farklı zemin gruplarında, kurşun çekirdekli kauçuk ve sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler ayrı ayrı kullanarak modellenmiştir. Bu yapıların farklı seçilmelerinin nedeni yapı geometrilerinin tasarımdaki farklarını ortaya çıkarmak ve bu geometrik form farklılığı nedeniyle oluşan durumları incelenmek istemesidir. Farklı tip izolatörlerin kullanılma nedeni izolatör farkının yapı davranışına etkisini incelemektir. Ayrıca farklı zemin sınıflarının seçilme nedeni farklı ivmelerde aynı özellikteki yapıların davranışlarını karşılaştırmak istenmesidir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

18 Mart 2018 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlanarak 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), deprem etkilerinin değerlendirilmesi ve yapı tasarımı için kapsamlı bir rehber sunmaktadır. Yönetmelik, binaların deprem performansının belirlenmesine yönelik kapsamlı ilkeler ve yöntemler içermektedir. Bu çalışmada, yönetmeliğin "Bölüm 2-Deprem Yer Hareketi", "Bölüm 3-Deprem Etkisi Altında Binaların Değerlendirilmesi ve Tasarımı için Genel Esaslar", "Bölüm 5-Deprem Etkisi Altında Binaların Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarımı İçin Hesap Esasları" ve "Bölüm 14-Deprem Etkisi Altında Yalıtımlı Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar" bölümleri incelenmiştir. Ayrıca, yönetmeliğin "Ek 14A" ve "Ek 14B" bölümlerinde yer alan teknik detaylar da çalışmanın kapsamında değerlendirilmiştir.

Sismik izolasyon sistemleri, modern yapı mühendisliğinde deprem etkilerini azaltmak için etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler, yapıların doğal titreşim periyodunu artırarak ve deprem kaynaklı yer hareketlerinin etkilerini üstyapıya iletimini azaltarak binaların sismik performansını iyileştirmektedir. TBDY 2018'in "Bölüm 14" ve ilgili ek bölümleri, bu sistemlerin tasarım ilkeleri, analiz yöntemleri ve performans kriterlerini detaylı şekilde ele almaktadır. Çalışma kapsamında, kurşun çekirdekli kauçuk tip izolatörler (LRB) ve sürtünmeli sarkaç tip izolatörler (FPS) gibi yaygın kullanılan sismik izolasyon sistemlerinin özellikleri ve uygulama esasları incelenmiştir.

Bu tez kapsamında, sismik izolasyonlu yapı tasarımı, sismik izolasyonlu yapıların deprem performansı, doğrusal olmayan analiz yöntemleri, farklı zemin tiplerinde izolasyonun etkileri ve yapıların faya yakınlığının bu sistemler üzerindeki etkilerini ele alan ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenmiş ve ilgili çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Öncü (2011) çalışmasında, sismik izolasyonlu yapıların fay hatlarına yakın konumlarda olası deprem etkileri altındaki davranışları incelemiştir [4]. Araştırmada, üç boyutlu sismik izolasyonlu yapı analizleri, 3D-BASIS programı kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında gerçekleştirilmiştir. Üst yapı kütle ve rijitlik değerleri MATLAB programı ile hesaplanmış, sentetik deprem kayıtları da yine MATLAB yardımıyla üretilmiştir. Çalışma, izolasyon periyodu ile depremden kaynaklanan puls periyodunun çakışmasının etkileri ve ek sönüm tedbirlerinin etkinliği üzerinde yoğunlaşmıştır. Bulgular, özellikle uzun izolasyon periyotlarına sahip sistemlerde deprem moment büyüklüğünün artışıyla puls periyodu ve genliğinde belirgin artışlara yol açtığını göstermiştir. Bununla birlikte, hassas cihazların bulunduğu yapılarda, fay hattına 10 km'den daha yakın mesafelerde $2,5 \text{ m/s}^2$ ivme sınırının sağlanmasının neredeyse imkânsız olduğu ve bu tür yapılarda alternatif kontrol sistemlerinin kullanılmasının gerekliliği ortaya konulmuştur. Kritik işlevlere sahip sismik izolasyonlu yapıların tasarımında performans esaslı yaklaşımın benimsenmesi ve sentetik yakın fay durumu içeren deprem kayıtlarının kullanılmasının önemi bu çalışma ile vurgulanmıştır.

Güner (2012) çalışmasında, sismik izolasyon sistemlerinin yapısal performansa etkisi incelemiştir [5]. Araştırmada, klasik ankastre sistem ile kurşun çekirdekli elastomer izolatörlü sistem kullanılan aynı kesit özelliklerine sahip iki yapının dinamik performansları karşılaştırılmıştır. Yapısal analizler ETABS programı kullanılarak gerçekleştirilmiş, sismik izolasyon tasarımında UBC 97 yönetmeliği esas alınmıştır. Analizlerde, TS 500 ve DBYBHY 2007 ile uyumlu çözümler sunan ACI 318-99 şartnamesi kullanılmış ve izolasyon sistemi zaman tanım alanında çözüm metodu ile değerlendirilmiştir. Bulgular, izolasyon uygulaması ile yapı periyodunun önemli ölçüde arttığını ve deprem sırasında zeminden yapıya aktarılan enerjinin azaldığını göstermiştir. Bu durum deprem kuvvetlerinde belirgin düşüşe ve rezonans riskinin azalmasına yol açmıştır. İzolasyon sistemi, katlar arası görelî ötelenmeleri dengelerken toplam kat deplasmanını artırmış, bununla birlikte kat ivmelerinde azalma sağlamıştır. Çalışmada, izolatör tasarımında kullanılan deprem yükü azaltma katsayısının (R) izolasyonlu ve izolasyonsuz sistemler arasındaki performans farklılıklarını önemli ölçüde etkilediği ve R değerindeki değişimlerin iç kuvvetlerde belirgin farklılıklara neden olduğu ortaya konulmuştur. Sismik izolasyonun özellikle hastane gibi kritik yapılarda deprem performansını

artırmada etkili bir yöntem olduğu ve yapısal hasarları minimize etmede önemli avantajlar sağladığı çalışma ile belirlenmiştir.

Doğru (2024) çalışmasında, Sağlık Bakanlığı'nın 2013 yılında yayınladığı "Birinci ve İkinci Derece Deprem Bölgelerinde 100 yatak ve üzeri hastanelerin taşıyıcı sistemlerinin sismik izolatörlü olarak projelendirilmesi" genelgesi doğrultusunda sismik yalıtımlı bir hastane yapısı modellemiştir [6]. Araştırmada, UBC (Uniform Building Code) 1997 ve DBYBHY (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik) 2007 yönetmelikleri esas alınarak ETABS programında modelleme gerçekleştirilmiştir. UBC 97'ye göre kurşun çekirdekli sismik izolatörlerin tasarımı yapılmış ve sistemin dinamik ve statik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, tepki spektrumu ve zaman tanım alanı çözüm metotları karşılaştırmalı olarak uygulanmış, zaman tanım alanı metodunda bölgeye uygun olarak ölçeklendirilmiş ivme kayıtları kullanılmıştır. Modellemekten elde edilen sonuçlar analiz edilerek ankastreli ve sismik izolatörlü yapı karşılaştırılmıştır. Bulgular, izolasyonlu yapının deprem yükleri altındaki davranışlarının, izolasyonsuz bir yapıya göre üstünlüklerini ortaya koymuştur.

Sevim (2016) çalışmasında, sismik izolasyonlu ve ankastre mesnetli hastane binalarının deprem davranışları karşılaştırmalı olarak incelemiştir [7]. Araştırmada, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007) [8] sünek tasarım ilkelerine uygun olarak, betonarme perdeli-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip bir hastane binası için iki farklı model oluşturulmuştur. SAP2000 v16 programı kullanılarak geliştirilen modellerde, yaygın kullanılan yüksek sönümlü kauçuk mesnetler tercih edilmiş ve analizler, 1989 Loma Prieta ve 1999 Kocaeli depremlerinin kayıtları kullanılarak modal ve zaman tanım alanında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bulguları, sismik izolatörlü sistemin periyot değerinin ankastre mesnetli sisteme göre yaklaşık 3.5 kat daha yüksek olduğunu göstermiş, perdeli-çerçeve sistemin rijitliği nedeniyle periyot değerleri diğer sistemlere kıyasla %16-78 oranında daha düşük bulunmuştur. Yerdeğiştirme açısından, sismik izolatörlü sistemde maksimum 22 cm değeri gözlenirken, ankastre mesnetli durumlarda bu değer %72-91 oranında azalmış, taban kesme kuvvetlerinde ise sismik izolatörlü sistem çerçeve duruma göre %45'lik bir azalma sağlamış ve bu durum minimum kolon uç momentlerinin oluşmasına yol açmıştır. Araştırma

sonuçları, sismik izolatörlerin yapının dinamik davranışını olumlu etkilediğini ve hemen kullanım gerektiren yapılarda bu sistemlerin yaygınlaştırılması gerektiğini ortaya koymuş, maliyet artışına rağmen ekonomik modeller geliştirilerek kullanımın yaygınlaştırılabileceği belirtilmiştir. Çalışma, taban izolasyon sistemleriyle sınırlı tutulmuş olup, üst yapıdaki diğer sönümlendirme sistemleri için ileri araştırmaların gerekliliği ve bu yaklaşımın ulusal deprem yönetmeliklerine entegrasyonunun önemi vurgulanmıştır.

Yurdakul (2016) çalışmasında, karayolu köprülerinin deprem performansını artırmak amacıyla sismik izolasyon sistemlerinin etkinliğini incelemiştir [9]. Üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç (ÜESS) sistemi kullanılarak modellenen köprüler, farklı zemin koşulları ve deprem senaryoları altında stokastik analizlere tabi tutulmuştur. Çalışmada, sismik izolasyonun köprülerde oluşan kuvvetleri önemli ölçüde azalttığı, ancak deprem dalgalarının yayılma hızı ve zemin koşullarının da köprü davranışı üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar, köprü tasarımında sismik izolasyonun önemini vurgulamakta ve deprem analizlerinde zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Çonay (2021) çalışmasında, bir yapı için üretilen prototip sismik izolatör cihazları için gerçekleştirilen testlerin sonuçlarının özetlenmesi ve değerlendirilmesini amaçlamaktadır [10]. Araştırmada, örnek bir yapı için üretilmiş olan 8 prototip izolatör üzerinde U16-30-01r şartnamesine göre gerçekleştirilmiş prototip testlerinin etkin rijitlik, ikincil rijitlik ve düşey rijitlik parametreleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda, prototip testlerine tabi tutulan sismik yalıtım birimlerinin, kabul kriterlerini ve gerekli performans parametrelerini sorunsuz bir şekilde tamamladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapılan analizlerde ve izolatör tasarımlarında, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilmiş eksenel yük ve deplasman verilerinin kullanıldığı vurgulanmıştır.

Kahvecioğlu (2021) çalışmasında, sismik izolasyonlu binalarda eşdeğer doğrusal modelleme ile elde edilen iç kuvvetlerin (kesme kuvveti, eksenel kuvvet, eğilme momenti) doğrusal olmayan modellemeye ne kadar yaklaştığı incelenmiştir [11]. Çalışmada, farklı izolasyon periyotlarına sahip binaların deprem analizleri

yapılmış ve seçilen kolon ve kirişlerdeki iç kuvvetler karşılaştırılmıştır. Elde edilen oranlar göz önünde bulundurularak, eşdeğer doğrusal modellemenin doğrusal olmayan modellemeyi belirli ölçüde temsil edebildiği gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında, 6 kattan oluşan bir bina SAP2000 programında 6 farklı deprem kaydı ve 4 farklı izolasyon periyodu ile analiz edilmiştir. Analiz yöntemlerinden FNA'nın daha hızlı, DIN'in ise daha kesin sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kanbir (2021) çalışmasında, kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerine sahip binaların yapısal tepkilerini etkileyen üstyapı modelleme yaklaşımı (tek serbestlik dereceli, iki serbestlik dereceli veya üç boyutlu modelleme) ve kurşun çekirdekteki ısınmanın etkisi incelenmiştir [12]. Çalışmada, farklı analiz programlarında (3D-BASIS, SAP2000, OpenSees) kurşun çekirdek ısınma etkileri dikkate alınarak, üstyapı sönüm oranı ve tarihi ya da sentetik deprem kaydı kullanımı gibi faktörlerin yapısal davranış üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üstyapısı üç boyutlu ve eşdeğer idealize edilmiş şekilde modellenen yapısal modeller analiz edilmiş, sonuçlar üstyapı modelleme yaklaşımının ve kurşun çekirdek ısınmasının yapısal tepkiler üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile sismik yalıtımlı bir binanın ısınma etkisi dikkate alınarak değerlendirilmiş, kurşun çekirdek ısınmasının dikkate alınması veya ihmal edilmesi durumlarında yapısal tepkilerde önemli farkların oluşabileceği gözlenmiştir. Ayrıca, üstyapı modelleme yaklaşımı, sönüm oranı ve kullanılan deprem kaydı türünün yapısal davranışı önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Tüm deprem kayıtlarında, kurşun çekirdek ısınmasının yalıtım sistemi yer değiştirmelerini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Özer (2022) çalışmasında, farklı tipteki sismik izolatörlerin betonarme binalardaki sismik davranış üzerindeki etkileri SAP2000 programı kullanılarak kapsamlı bir şekilde incelenmiştir [13]. Araştırma kapsamında, depreme maruz düşük ve orta katlı, perde duvarları olmayan, düzenli ve düzensiz betonarme binalar için ankastre mesnetli ve üç farklı tip taban izolatörü (LRB, FPS ve LRB+FS kombinasyonu) değerlendirilmiştir. Yapısal düzensizlikler, üst yapı veya izolatör arayüzünde kütle ve rijitlik merkezlerinin konumları değiştirilerek modellenmiştir. Yapısal analizler için spektrum uyumlu 11 farklı deprem kaydı kullanılarak 60 farklı model üzerinde toplam 1320 adet doğrusal olmayan dinamik analiz

gerçekleştirilmiştir. Ankastre mesnetli modellerin en yüksek sismik taleplere maruz kaldığını gösterirken, izolatörlü sistemlerde sismik taleplerin büyük kısmının izolatör seviyesinde sönümlendiğini ortaya koymuştur. Düzenli yapı sistemlerinde LRB tip izolatörler en etkili performansı gösterirken, asimetrik ve büyük yanal yer değiştirme talepli sistemlerde FPS tip izolatörlerin daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Burulma davranışı açısından yapılan değerlendirmelerde, LRB tip izolatörlerin burulma etkilerine karşı FPS tipi izolatörlere göre daha hassas olduğu tespit edilmiştir. Ekonomik analiz sonuçları, izolatörlü sistemlerin üst yapı maliyetlerinde %12-22 oranında azalma sağladığını göstermiştir.

Öztürk (2023) çalışmasında, sismik izolasyon ve Türk Deprem Yönetmeliği 2018'deki tasarım ilkeleri incelenmiştir [14]. Tipik bir kamu binası üç farklı yöntemle modellenmiş ve sismik davranışları analiz edilmiştir. 11 deprem kaydı kullanılarak yapılan analizlerde, kat yer değiştirme, ivme ve kesme kuvvetleri incelenmiştir. Sismik izolasyonun yapıya teknik avantajlar sağladığını göstermiştir. Kahramanmaraş depremleri gibi örneklerle depreme dayanıklı yapı tasarımının önemi vurgulanmıştır. Çalışma, sismik izolatörlerin yapının depreme dayanımını artırdığını göstermiştir. 2018 TBDY yönetmeliği, sismik izolasyon yöntemini desteklemekte ve öncelikli yapılar için tercih edilmesini önermektedir.

Baş (2024) çalışmasında, deprem etkisi altında betonarme yapılarda oluşan hasarları azaltmayı amaçlayan deprem yalıtım malzemeleri incelenmiştir [15]. Çalışma, sismik izolatörlerin tarihi, özellikleri, avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Uygulama sırasında karşılaşılan zorluklar ve yapı özelliklerinin etkileri ele alınmıştır. Sayısal çalışmada, SAP2000 analiz programında farklı kat yüksekliğine sahip (4, 8 ve 16 katlı) ankastre, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü ve sürtünmeli sarkaç izolatörlü 9 model tasarlanmış ve 6 Şubat Kahramanmaraş deprem ivme kayıtlarıyla analiz edilmiştir. Modellerin deprem etkileri karşısındaki performansları kıyaslanmış, kat yüksekliğinin izolatörün etkisiyle ilişkisi incelenmiştir. Ayrıca, izolatörlü ve geleneksel yapım yöntemleriyle yapılan yapıların maliyet analizleri karşılaştırılmıştır. Sismik izolatörlü yapıların periyot değerlerinin arttığını ve daha dirençli hale geldiğini, maksimum yer değiştirme ve taban kesme kuvvetlerinin ise ankastre mesnetli yapılara göre daha fazla olduğunu göstermiştir.

Kurşun çekirdekli kauçuk ve sürtünmeli sarkaç izolatörler benzer davranış sergilemiş, maliyet açısından uzun vadede daha ekonomik olduğu belirlenmiştir. Sismik izolasyonun, özellikle hastane ve kamu binalarında yaygınlaştığı, ancak konutlarda yeterince kullanılmadığı vurgulanmıştır. Mühendislik hizmetlerinin doğru ve ekonomik çözümler üretmesi ve izolatör sistemlerinin kullanımının teşvik edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.



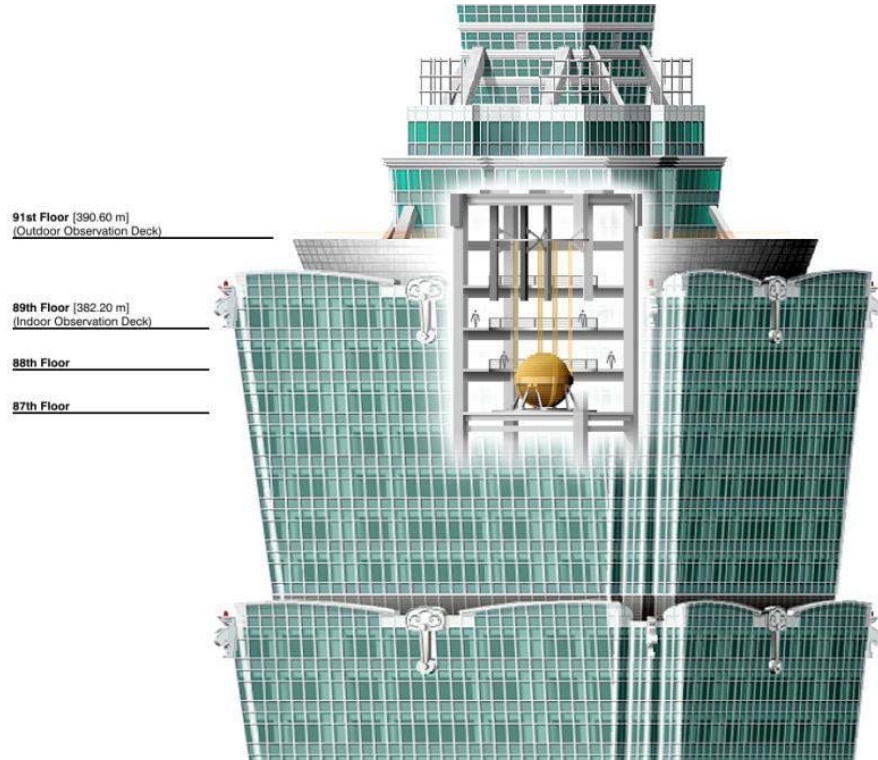
3. YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİ VE SİSMİK İZOLATÖRLER

Yapısal Kontrol Sistemleri

Yapısal kontrol sistemleri, binaların deprem gibi dinamik yükler altındaki davranışını kontrol etmek amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Bu sistemler, binaların güvenliğini, dayanıklılığını ve konforunu artırarak can ve mal kayıplarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Yapısal kontrol sistemleri temel olarak aktif, pasif, yarı aktif ve karma kontrol sistemleri olmak üzere dört farklı kategoride incelenmektedir.

3.1.1. Aktif Yapısal Kontrol Sistemleri

Aktif yapısal kontrol sistemleri, yapıya etkiyen deprem kuvvetlerini ve rüzgâr yüklerini tespit ederek bu dinamik etkilere karşı belirli zaman aralıklarında tepki kuvvetleri oluşturur ve yapının davranışını kontrol altında tutar. Bu sistemlerin temel dezavantajı, ölçüm cihazları ve kontrol mekanizmalarının çalışması için gerekli olan güç kaynaklarına duydukları ihtiyaçtır. Günümüzde inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, Taipei 101 (Şekil 3.1.) kulesinde uygulanan ayarlı kütle sönümleyici (harmonik soğurucu) bu tür aktif yapısal kontrol sistemlerine tipik bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 3.1. Taipei 101 (Ayarlı Kütle Sönümleyici) [16]

3.1.2. Pasif Yapısal Kontrol Sistemleri

Pasif yapısal kontrol sistemleri, özel teknolojiler aracılığıyla deprem kuvvetlerini ve yapıdaki yer değiştirmeleri belirli sınırlarda tutarak yapının enerji sönümleme kapasitesini artıran, herhangi bir harici güç kaynağı gerektirmeyen mühendislik çözümleridir. Bu sistemler, sismik izolatörler ve enerji sönümleyiciler olmak üzere iki temel kategoriye ayrılır ve temel işlevleri dinamik yükleri sönümlemek veya yapıyı deprem kuvvetlerinden izole etmektir. Ancak, sistemlerin etkinliği yalnızca tasarlandıkları yük ve enerji parametreleri ile sınırlıdır; bu nedenle, uygulama öncesinde yapıların detaylı ve kapsamlı mühendislik analizlerinin yapılması kritik önem taşımaktadır.

3.1.3. Yarı Aktif Yapısal Kontrol Sistemleri

Yarı aktif yapısal kontrol sistemleri, yapıya etkiyen dinamik yüklerin etkilerini sönümlemek veya sınırlamak için pasif elemanların davranışları kontrol edilmektedir. Bu kontrol işlemi, küçük akümülatörlerden sağlanan enerji ile gerçekleştirilir. Böylelikle yapısal tepkiler istenilen şekilde düzenlenebilmektedir. Aktif sistemlere göre çok daha az enerji tüketimine ve daha basit bir mekanik tasarıma sahip olmaları, bu sistemlerin yapı uygulamalarında daha yaygın kullanımına olanak sağlamıştır.

3.1.4. Karma Yapısal Kontrol Sistemleri

Karma yapısal kontrol sistemleri adından da anlaşılacağı üzere aktif ve pasif kontrol sistemlerinin bir arada kullanıldığı sistemler bütünü bir sistemdir. Aktif sistemlere oranla daha uygun maliyetli fakat pasif sistemler ile birlikte tasarlandığı için uygulaması imalatı ve mühendislik hesapları daha karmaşık sistemlerdir.

3.2. Sismik İzolatörler ve Tarihçesi

Sismik izolatörler, günümüz inşaat mühendisliğinde giderek artan bir öneme sahip olmakla birlikte, kökleri insanlık tarihinin derinliklerine uzanan bir geçmişe sahiptir. Modern uygulamalardan farklılık gösterse de, yapıların tamamını deprem

etkilerinden korumayı amaçlayan izolasyon teknikleri, antik çağlardan beri uygulanmaktadır. Bu tarihsel perspektif, teknolojik ilerlemenin ve mühendislik bilgisinin evrimini gözler önüne sermektedir.

Arkeolojik bulgular, sismik izolasyon kavramının kökenlerinin milattan önce 6. yüzyıla kadar uzandığını göstermektedir. Örneğin, Artemis Tapınağı'nın inşaatında uygulanan yenilikçi yöntem, bugünkü modern izolatörlerin ilkel bir öncüsü olarak değerlendirilebilir. Tapınağın temelinde kullanılan paketlenmiş kömür ve koyun derisi tabakaları, yapıyı zeminden ayırarak deprem etkilerini azaltmayı amaçlamıştır [17]. Bu uygulama, günümüz sismik izolasyon prensiplerinin temelini oluşturan yapı-zemin etkileşimini azaltma fikrini yansıtmaktadır.

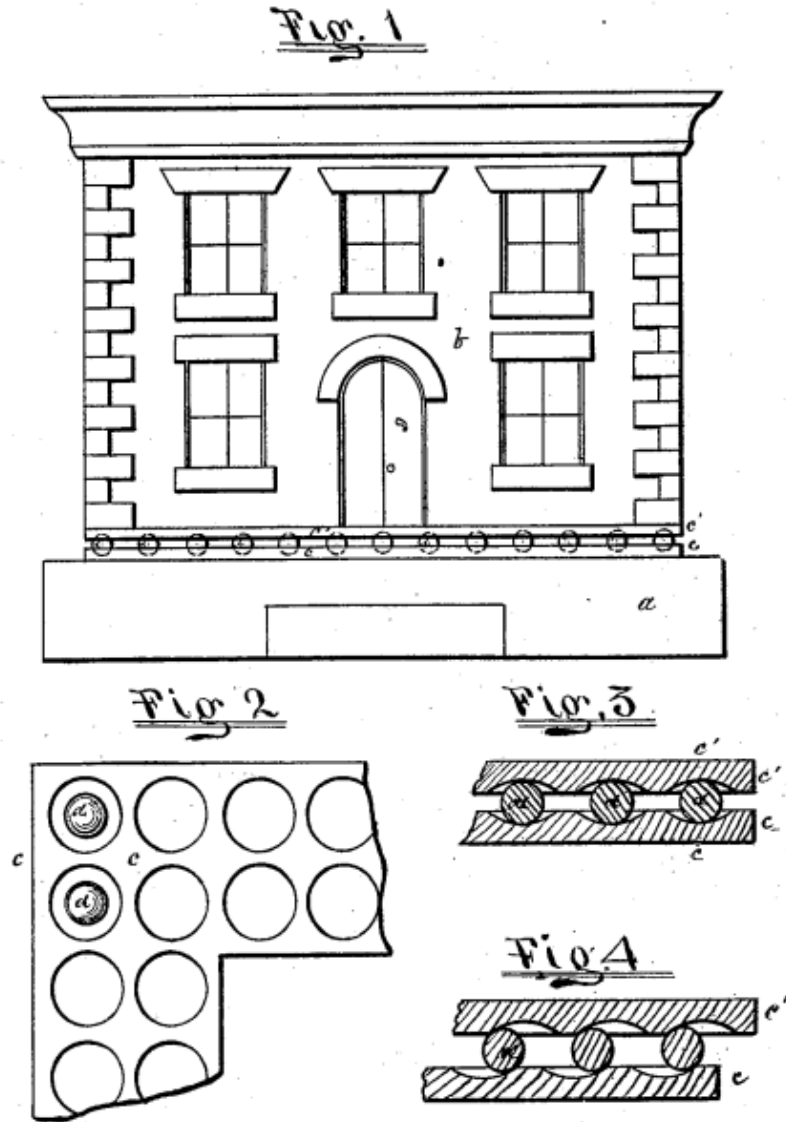
Türkiye'de bulunan ve çok sayıda depreme tanıklık etmiş olan Dikilitaş, ülkemizdeki en eski deprem izolatörlü yapı unvanını taşımaktadır. Bu anıtın temelinde kullanılan, kenarları yuvarlatılmış granit taşlar, basit ama etkili bir sismik izolasyon sistemi oluşturmaktadır. Prof. Dr. Mehmet Fatih Altan'ın Abaqus analiz modeliyle gerçekleştirdiği çalışma, bu eski sistemin çalışma prensibini günümüz mühendislik perspektifinden açıklamıştır.

1870 yılının şubat ayında, modern sismik izolasyon kavramının öncü fikirlerinden biri ortaya çıkmıştır. Fransız mucit Jules Touaillon tarafından geliştirilen ve patenti alınan (Patent Numarası: US99973 A) bu yenilikçi sistem (Şekil 3.2), içbükey yüzeyler arasına yerleştirilen neredeyse pürüzsüz küresel toplardan oluşmaktaydı. Bu dahiyane tasarım, iki kritik özelliği bir araya getirmesiyle modern izolasyonların devrini başlatıyordu;

1. Yapı salınımlarını belirli bir seviyede tutma kabiliyeti
2. Merkezlenme durumunun göz önünde bulundurulması

Bu özellikleriyle Touaillon'un icadı, modern izolatörlerin gelişiminde çığır açan bir fikir olarak kabul edilmektedir. İçbükey yüzeylerin kullanımı, deprem sırasında binaların kontrollü bir şekilde hareket etmesine olanak sağlarken, sistem aynı zamanda sarsıntı sonrasında yapının orijinal konumuna dönmesini de mümkün

kılıyordu. Bu denge, günümüzde sismik izolasyon teknolojilerinin en önemli prensipleri olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3.2. Jules Touaillio'a Tarafından Yapılan Patent Çizimleri [18]

Modern mimarlık tarihinin önemli isimlerinden Frank Lloyd Wright, 1921 yılında Tokyo'da inşa edilen Imperial Hotel binasında sismik izolasyon kavramına öncülük eden bir tasarım uygulamıştır. Wright'ın bu çalışması, tam anlamıyla bir izolatör olmasa da, sismik izolasyonlu yapı tasarımının modern ilkeleri arasında kabul görmektedir. Wright, projenin tasarım aşamasında binanın oturacağı zemin profilini incelemiş ve şu yapıyı tespit etmiştir: Üstte 2,5 metre kalınlığında sağlam bir zemin tabakası ve bunun altında yaklaşık 20 metre kalınlıkta yumuşak bir çamur tabakası. Bu jeolojik yapı, Wright'a yenilikçi bir tasarım fikri uyandırmıştır. Binayı sismik

etkilerden korumak amacıyla Wright, sağlam zemin tabakasına yakın aralıklarla kazıklar çakarak binayı bu tabakayla birleştirmiştir. Bu yöntemle, çamur tabakasının üzerinde yüzen bir sistem oluşturmayı hedeflemiştir. Wright'ın bu yaklaşımı, modern sismik izolasyon tekniklerinin öncüsü olarak değerlendirilmektedir. Tasarımın 1923 yılında yaşanan tahmini 7.9 büyüklüğündeki yıkıcı Kanto Depreminden sonra da ayakta kalmayı başaran nadir yapılardan olmuştur. Otele ait görüntü Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Imperial Hotel (Tokyo-Japonya) [19]

Sismik izolasyon sistemleri, günümüzde özellikle stratejik öneme sahip yapılarda, mevcut yapı stoğunu önemli ölçüde etkilemektedir. Türkiye'de bina ölçeğinde ilk sismik izolasyon uygulaması, 256 adet sürtünmeli sarkaç tipi izolatör kullanılarak Kocaeli Üniversitesi Uygulama Hastanesi'nde gerçekleştirilmiştir [20]. Söz konusu projede sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin tercih edilmesinin temel nedenleri;

- Montajının kolay yapılabilmesi
- Atmosferik ve çevre şartlarından olumsuz etkilenmemesi
- Uzun ömürlü ve yangına dayanıklı olması
- Öngörülen deprem şiddetinden daha büyük bir deprem ile karşılaşılması durumunda bile izolatörün parçalanmayıp görevine devam edecek olması

- Temin süresinin kısa olması
- Yapıdaki ısıl genleşmelere imkân tanınması
- Toplam uygulama maliyetinin daha ekonomik boyutlarda olması
- Gerçek boyutlarda test yapılabildiğinden tüm teknik özelliklerinin kontrol edilebilmesi
- Zamana bağlı olarak teknik özelliklerinin değişmemesi ve bakım gerektirmemesi
- İzolatör boyutları diğer alternatiflere göre daha küçük olduğundan daha az bir hacim kaplaması ve yapıdaki mimari disiplinleri etkilememesi

Olarak Doka Endüstri tarafından açıklanmıştır [20].

Sismik izolatörler, günümüzde gelişmeye devam eden ve yeni patentlerle sürekli zenginleşen bir teknolojidir. Mevcut sistemler içerisinde, henüz geliştirilmekte olan ve sınıflandırmayı etkileyebilecek yeni patentleri dışarıda bırakacak olursak, sismik izolatörleri üç ana kategoride incelemek mümkündür. Bu kategoriler; Kauçuk Esaslı İzolatörler (Elastomerik İzolatörler), Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörler (Kayıcı Mesnetli İzolatörler) ve Yaylı Tip İzolatörler olarak sınıflandırılmaktadır. Sismik izolasyonlu yapı sistemlerinin tasarımında, yapının özelliklerine ve gereksinimlerine bağlı olarak tek tip izolatör kullanılabilir. Bununla birlikte, farklı izolatör tiplerinin kendilerine özgü avantajlarından maksimum düzeyde yararlanmak amacıyla, çeşitli izolatör tiplerinin veya sönümleyicilerin bir arada kullanıldığı hibrit sistemler de yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu kombinasyonlar, yapının sismik performansını optimize etmek ve farklı deprem senaryolarına karşı daha etkin bir koruma sağlamak amacıyla projeye özgü olarak tasarlanmaktadır.

Sismik izolasyon sistemlerinin temel prensibi, yapının doğal titreşim periyodunu uzatarak deprem etkilerinden kaynaklanan rezonans aralığının dışına çıkarmak ve böylece yapıya etkiyen sismik yükleri minimize etmektir. Bu sistemlerdeki sönümleme sayesinde, deprem sırasında yapıya transfer edilen enerjinin önemli bir bölümü izolasyon seviyesinde absorbe edilmekte ve üst yapıya iletilen enerji miktarı sınırlandırılmaktadır. Sismik izolasyonlu yapılar tasarlanırken,

performans hedefi olarak genellikle "Kesintisiz Kullanım" veya "Sınırlı Hasar" performans düzeyleri benimsenmektedir. Bu yaklaşımın temel amacı, olası bir deprem sonrasında yapının işlevselliğini koruyarak kesintisiz hizmet verebilmesini sağlamak ve güvenli kullanım koşullarını garanti altına almaktır. Özellikle hastane, veri merkezi, acil müdahale merkezi gibi kritik yapılarda tercih edilen bu sistem, deprem sonrası hizmet sürekliliğinin sağlanması açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Sismik izolasyon sistemlerinin sağladığı en önemli avantajlar, yapısal davranış ve performans açısından iki temel noktada öne çıkmaktadır. Öncelikle, sistem izole edilen üst yapının monolitik bir kütle gibi davranmasını sağlayarak rijit sistem karakteristiği oluşturmakta ve bu sayede yapıda oluşabilecek görelî kat ötelemelerini minimum, düzeye indirgemektedir. Bu özellik, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarların önlenmesi açısından kritik önem taşımaktadır. İkinci önemli avantaj ise, izolasyon sistemi sayesinde üst yapıda meydana gelen kat ivmelerinin önemli ölçüde azaltılmasıdır. İvmelerin kontrol altına alınması, özellikle hassas ekipman içeren yapılarda ve hastane gibi kritik tesislerde hem yapısal güvenliğin sağlanması hem de içerideki değerli donanımların korunması açısından büyük önem arz etmektedir.

Geleneksel, ankastre bağlantılı analiz sistemlerinde görelî kat ötelemelerini azaltmak amacıyla sistemin rijitliği artırılmak istenir. Ancak bu durum, katlarda oluşan ivmelerin de orantılı olarak artmasına neden olur. Tersine, kat ivmelerinde azalma hedeflendiğinde sistemin rijitliği düşürülür ve bu da görelî kat ötelemelerinde artışa yol açar. Bu çelişki, sismik izolatörlü yapıların geleneksel yapılara göre önemli bir avantaj sağlamasının temel nedenidir.

3.3 Sismik İzolasyonun Etkinliği ve Türkiye’de Sismik İzolasyon

Sismik yalıtımlı yapıların oluşturulabilmesi için bazı önemli noktalar bulunmaktadır. Yalıtım sistemlerinden en yüksek verimi almak için yapılacak yapının analiz modelleri incelenmeli ve sahaya uygun jeolojik değerlendirmelerde bulunulmalıdır. Yapıya eklenecek sismik izolatörlerin bir yapının deprem

performansını artıracığı konusunda kesin bir kanaat olduğunda, bu sistemler yapı tasarımında göz önünde bulundurulmalıdır.

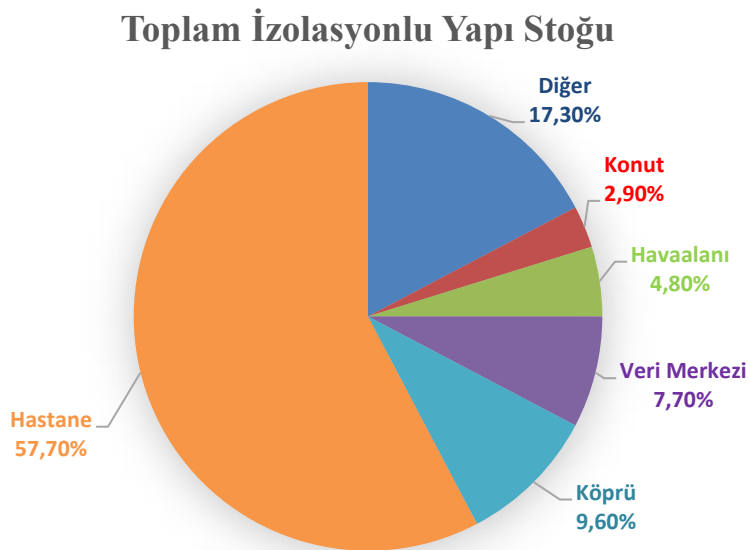
Sismik İzolasyonun En Etkili Olduğu Durumlar:

- ❖ Az katlı ve hâkim periyodu düşük yapılar.
- ❖ Ağır yapılar.
- ❖ Toplam bina yüksekliğinin yapının enine oranının 2.5'ten düşük olduğu yapılar.
- ❖ Sert zemin sınıflarında inşa edilen yapılar.

Sismik İzolasyonun Etkisinin Düşük Olduğu Durumlar:

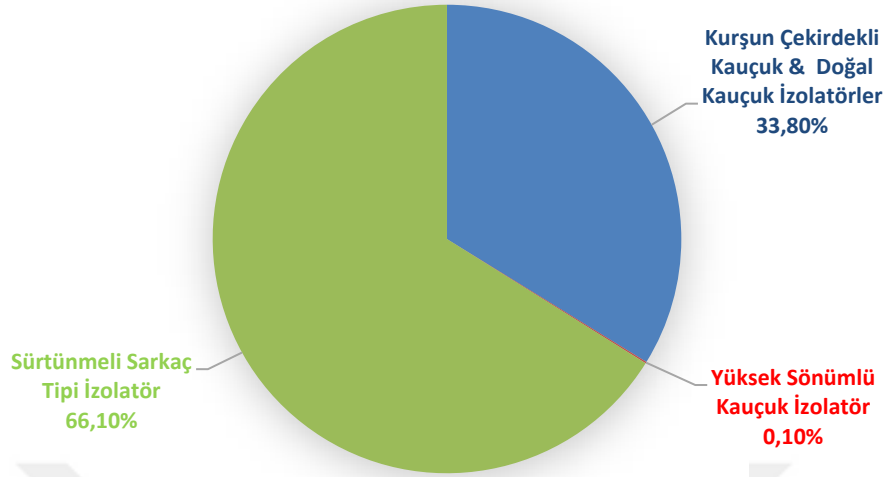
- ❖ Çok katlı ve yüksek yapılar.
- ❖ Hafif yapılar (kauçuk esaslı izolatörlerde kalkma ve yırtılma etkisi oluşabileceği için).
- ❖ Yumuşak zeminlere inşa edilen yapılar (uzun periyotlar için oluşan taban kesme kuvvetleri, kısa periyotlara oranla daha yüksek olabilir).

Türkiye'de 2018 yılına kadar hastane, havaalanı terminali, köprü ve viyadük türü yapılar dahil olmak üzere yaklaşık 104 adet sismik izolasyonlu yapı inşa edilmiştir [21]. Sismik izolatörlü yapı stoku incelendiğinde, hastane yapılarının sayıca üstünlüğü dikkat çekmektedir. Bu yüksek oranın temel nedeni, ilgili bakanlık tarafından yayımlanan genelgelerdir.



Şekil 3.4. Toplam İzolasyonlu Yapı Stoğu (104 Adet Yapı) [22]

Toplam İzolasyonlu Yapı Stoğu



Şekil 3.5. Toplam İzolasyonlu Yapı Stoğu (35738 Adet Sismik İzolatör) [22]

T.C. Sağlık Bakanlığı, 2013 yılında yayımladığı genelge ile "Deprem Yalıtımlı Olarak İnşa Edilecek Yapılara Ait Proje ve Yapım İşlerinde Uyulması Gereken Asgari Standartlar"ı belirlemiştir. Bu genelge kapsamında; yapılara ait genel tasarım kuralları, statik hesaplara ve müşavir firmalara ilişkin sınırlamalar, yalıtım elemanlarına dair teknik gereklilikler, laboratuvar testleri ve yapı sahası testlerine ilişkin detaylı bilgiler yer almaktadır. 2018 yılında yayımlanan yeni bir genelge ile 2013 tarihli düzenleme güncellenmiş ve mevcut halini almıştır.

Genelgenin yalıtım sisteminin takibi bölümünde, yapı sağlığı izleme sistemlerinin ve yalıtım elemanlarının kontrolünden sorumlu teknik personel istihdamı zorunlu hale getirilmiştir.

Sismik izolasyon sistemleri, günümüzde özellikle stratejik öneme sahip yapılarda, mevcut yapı stoğunu önemli ölçüde etkilemektedir. Türkiye'de bina ölçeğinde ilk sismik izolasyon uygulaması, 256 adet sürtünmeli sarkaç tipi izolatör kullanılarak Kocaeli Üniversitesi Uygulama Hastanesi'nde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu projede sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin tercih edilmesinin temel nedenleri;

- Montajının kolay yapılabilmesi
- Atmosferik ve çevre şartlarından olumsuz etkilenmemesi

- Uzun ömürlü ve yangına dayanıklı olması
- Öngörülen deprem şiddetinden daha büyük bir deprem ile karşılaşılması durumunda bile izolatörün parçalanmayıp görevine devam edecek olması
- Temin süresinin kısa olması
- Yapıdaki ısı genleşmelere imkân tanınması
- Toplam uygulama maliyetinin daha ekonomik boyutlarda olması
- Gerçek boyutlarda test yapılabildiğinden tüm teknik özelliklerinin kontrol edilebilmesi
- Zamana bağlı olarak teknik özelliklerinin değişmemesi ve bakım gerektirmemesi
- İzolatör boyutları diğer alternatiflere göre daha küçük olduğundan daha az bir hacim kaplaması ve yapıdaki mimari disiplinleri etkilememesi

olarak Doka Endüstri tarafından açıklanmıştır [20]. Yapı günümüzde aktif olarak kullanımdadır.

Türkiye'deki "Dünyada Sismik İzolasyonlu Ulusal Projeler" kategorisinde öne çıkan bazı önemli yapılar şunlardır:

- Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi (2040 izolatör, 1.020.000 m²)
- Adana Şehir Hastanesi (1552 izolatör, 430.000 m²)
- Erzurum Eğitim ve Araştırma Hastanesi (386 izolatör, 180.000 m²)
- Isparta Şehir Hastanesi (903 izolatör, 221.000 m²)
- Sabiha Gökçen Havalimanı (292 izolatör, 200.000 m²)

Ülkemizdeki sismik izolasyonlu yapı stoğunun çeşitlenmesi ve uluslararası projelerdeki artan varlığımız, beraberinde bazı teknik gereksinimleri de gündeme getirmiştir. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda, Eskişehir Teknik Üniversitesi bünyesinde kurulan "ESQUAKE Sismik İzolatör Test Laboratuvarı", Türkiye'deki sismik izolatör test laboratuvarı ihtiyacını önemli ölçüde karşılamaktadır. Laboratuvar Müdürü Prof. Dr. Gökhan Özdemir'in açıklamalarına göre, düşeyde 2 bin ton, yatayda 200 ton yükleme kapasitesine sahip olan laboratuvar, bu teknik özellikleriyle dünyada ilk 5 bağımsız laboratuvar arasında yer almaktadır. Yatay düzlemde 1 m/s

maksimum hıza ulaşabilen test düzeneği ile laboratuvar, uluslararası ölçekte de hizmet sunmaktadır.

3.4. Taban Yalıtım Cihazları

Günümüzde yapı mühendisliği alanında taban yalıtım cihazları, pasif yapısal kontrol sistemleri içerisinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu cihazların sınıflandırılması, çalışma prensibi, kullanılan malzeme ve yerleştirilme bölümleri açısından üç temel başlık altında incelenebilmektedir. Analiz modellerinde birden fazla izolatör tipinin bir arada kullanılması, her bir izolatörün farklı özelliklerinden yararlanılması bakımından yaygın bir uygulamadır.

Taban yalıtım cihazları temel olarak üç ana kategoride değerlendirilmektedir:

- Elastometrik İzolatörler
- Sürtünmeli Sarkaç Tipi (Kayıcı Mesnet Tipi) İzolatörler
- Yaylı Tip İzolatörler

Bu izolatör tiplerinin birbirini tamamlayıcı nitelikleri, farklı yapısal gereksinimlere esnek çözümler sunmaktadır. Bir izolatör tipinin dezavantajlı yönleri, diğer bir izolatör tipi tarafından telafi edilebilmekte, böylelikle daha etkin bir yapısal kontrol mekanizması oluşturulmaktadır.

3.4.1. Elastomerik İzolatörler (Kauçuk Esaslı İzolatörler):

Elastomerik olarak bilinen kauçuk esaslı izolatörler günümüzde en yaygın kullanılan izolatör grubudur. Düşük maliyetleri, kolay imalatları ve sahada kolay kullanımları sebebiyle sıkça tercih edilen bu sistemler farklı imalat yollarıyla üretilmektedir. Temel malzemeleri kauçuk ve çelik olan bu izolatörler birden fazla kauçuk yüzey elemanlarının ve çelik ince plakalara preslenmesi ile oluşturulur. Çalışma prensibi elemanın yatayda kauçuk malzemeyle yüksek sönüm kapasitesi ve düşük kayma modülünü kullanarak yatayda yer değiştirme yapmaya müsait bir davranış göstermesi ve düşeydeyse çelik ince plakaların rijit bir davranış sergilemesine dayanır. Bu ana prensip farklı metotlarla düzenlenerek farklı avantajlar sunan çeşitli izolatörlerin oluşmasını sağlamıştır.

3.4.1.1. Doğal Kauçuk İzolatörler



Şekil 3.6. Doğal Kauçuk İzolatör [22]

Doğal kauçuk izolatörler düşük sönüm oranına sahip izolatör çeşitlerindendir. Genellikle üstte ve altta olmak üzere iki adet kısmen kalın çelik plaka ve kauçuk yüzeylerden oluşan bu izolatör çeşidinin kullanım alanları çok geniştir (Şekil 3.6.).

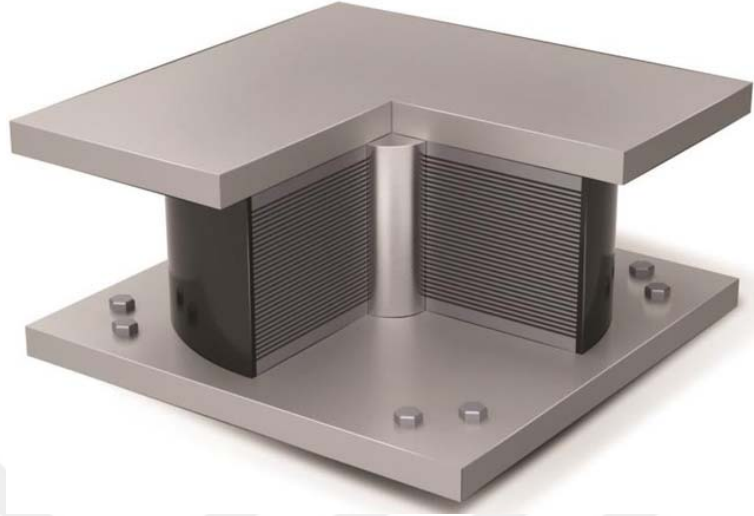
➤ Avantajları:

- Her türlü durumda kullanılabilir ve uygulaması diğer modellere göre daha basittir.
- Maliyeti diğer izolatörlere oranla daha uygundur.
- Basitliği sebebiyle mekanik davranışları stabildir. Yükleme esnasında beklenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaz. Labratuvarlarda verilen güvenlik katsayısına uygun davranış gösterir.

➤ Dezavantajları:

- Düşük sönüm kapasitesine sahip olması nedeniyle her sistemde uygulanamaz. Uygulandığı sistemlerde ekstra bir sönümleyiciye ihtiyaç duyulur.
- Yükleme sonrası eski halini alması yüksek dplasmanı sebebiyle daha zor olur. Bu süreçte elastomer katmanlar arası yaşlanma muhtemel olacaktır.
- Yapısal olmayan sistemler için depasman büyüklüğü sorun oluşturabilir.

3.4.1.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler



Şekil 3.7. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör [23]

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler 1975 yıllarında düşük sönüm oranına sahip izolatörlerin eksiklerinin kapatılması amacıyla oluşturulmuştur. Yüksek sönüm oranına sahip bu izolatör çeşidi, merkezinde bulunan kurşun bir silindirden ve bu çekirdek etrafında bulunan kauçuk yapraklar ile ince çelik plakalardan oluşmaktadır. Çekirdeğin kurşun materyali olarak seçilmesinin amacı kurşunun nispeten küçük 10 MPa civarında bir akma gerilmesine sahip olmasıdır. Hem yatay rijitlik sağlayan bu eleman yüksek deprem kuvvetiyle enerjinin bir kısmını akmaya geçerken harcayarak sönümlemiş olur akma meydana geldikten sonra elastik ötesi davranan izolatör sıradan bir kauçuk izolatör davranışı gösterir (Örnek 3.7.).

➤ Avantajları:

- o Yatayda diğer izolatörlere oranla daha rijittir.
- o Tek başına tek sistem olarak uygulanabilir.
- o Akma oluşmadan sönümlenme yapabilirse sistem bir sonraki yüklemde aynı davranışı gösterecektir.

➤ Dezavantajları:

- o Deprem sonrası çekirdeğin akıp akmadığı yani çekirdekteki deformasyon kontrol edilemez ayrıca elastik ötesi davranış gerçekleşiyse sistemin özelliği kalmamıştır.

3.4.1.3. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler



Şekil 3.8. Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör [24]

Yüksek sönümlü kauçuk izolatörleri düşük sönüm oranına sahip izolatörlere ve kurşun çekirdekli izolatörlere alternatif olarak üretilmiştir. Kauçuk yapısına karıştırılan karbon, polimer ve özel katkıları ile sönüm oranları arttırılmıştır. %90-100 arasındaki şekil değiştirmelerde sönüm oranları %15-20 aralığına kadar çıkarılabilmektedir (Şekil 3.8.).

➤ Avantajları:

- Titreşim ve yüksek frekansa sahip tekrarlı yüklere karşı dirençlidirler bu sebeple demiryolu viyadük ve köprü gibi yapılarda oldukça çok kullanılırlar.

➤ Dezavantajları:

- İçerik olarak kontrol edilmesi ve kauçukla birleştirilen materyaller sebebiyle çalışma durumunun incelenmesi gerekmektedir.

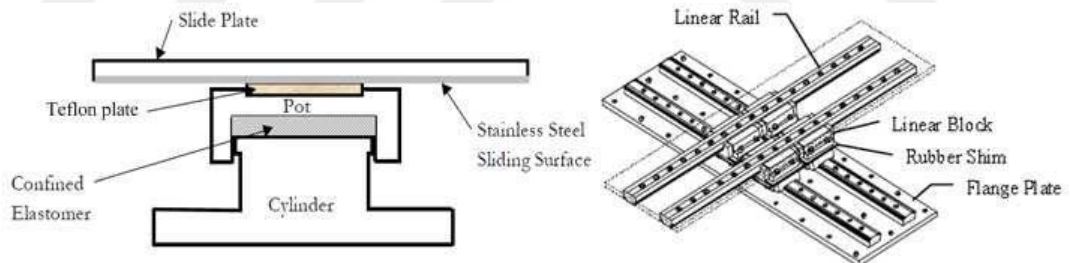
3.4.2. Sürtünmeli sarkaç veya kayıcı mesnetli izolatörler

Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler günümüzde kauçuk izolatörler kadar olmasa da oldukça yaygın kullanılmaya başlanılan bir diğer izolatör grubudur. Basit yapıları ve kolay imalatları sebebiyle oldukça kullanışlıdır. Çalışma prensipleri depremde

kaynaklanan enerjinin sistemde sarkaç hareketleri oluşturarak sönümlenmesi ilkesine dayanır. İç bükey bir metal yüzeyde hareket eden mafsallı iç sistem iç bükeyin son noktasına ulaştığında yer çekimi ve sistem ağırlığı sebebiyle eski haline oradan da iç bükey yüzeyin diğer kısmına hareket eder. Bu şekilde sisteme gelen enerji henüz üst yapıya ulaşmadan kinetik enerji potansiyel enerji çevirimi sırasında oluşan sürtünme ile sönümlenmiş olur. Bu grupta bulunan izolatörler günümüzde hale gelişmekte olup çok verimli noktalara gelmişlerdir. Elastomer izolatörlerin sahip olduğu tüm avantajları sunarken aynı zamanda dezavantajlarını da ortadan kaldırmışlardır. Depreme karşı oluşan yanal rijitlik doğrudan yapı ağırlığı ile ilgilidir. Bu tarz yapılarda uygulama esnasında yapılan hatalar yapıda burulmalara sebep olacağı için daha büyük dikkatle uygulanmalıdır.

Kayıcı mesnetli İzolatörler çalışma prensibi olarak sarkaç tipi izolatörler ile neredeyse aynıdır. Aralarındaki fark yüzeyin düz olmasıdır. Amaç yine sürtünme enerjisi ile sisteme gelen kuvvetleri sönümlemedir.

3.4.2.1. Çapraz Raylı İzolatörler



Şekil 3.9. Çapraz Raylı İzolatör Kesiti ve 3D Görünümü [25]

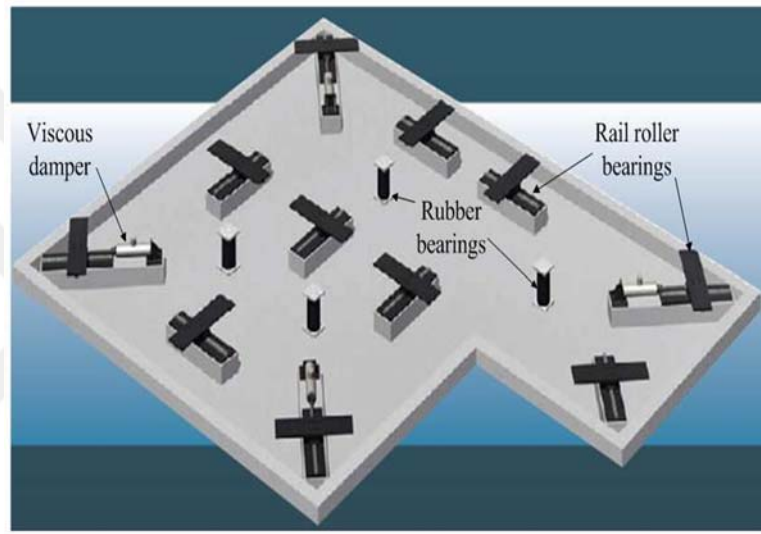
Çapraz raylı izolatör çeşidi elastomer izolatörlerin dezavantajlarına yönelik geliştirilmiş bir izolatör çeşididir. Sadece elastomer izolatörlerden meydana gelen sistemlerde burkulma ve kopma sorunlarını tolere etmek için tasarlanmıştır. İmalatı kolay olan bu sistemler yapı ihtiyacına göre özel tasarım halinde farklı ölçeklerde kullanılabilirler. Birbirine dik olarak konumlandırılmış iki adet doğrusal raya, monte edilen yine iki adet düşük sürtünmeli doğrusal hareket eden düşük sürtünme katsayısına sahip bloktan oluşmaktadır. Bu blok çok az bir kesme kuvveti karşılamaktadır (Şekil 3.9. ve 3.10.).

➤ Avantajları:

- o Basınç kuvvetlerinin yanı sıra çekme kuvvetlerine karşı da çalışabilmektedirler.
- o Özel uyarlanabilirliği sayesinde yapıya uygun sistemler oluşturulabilir. Fabrika dışında el ile birleştirilerek uygulanabilir.

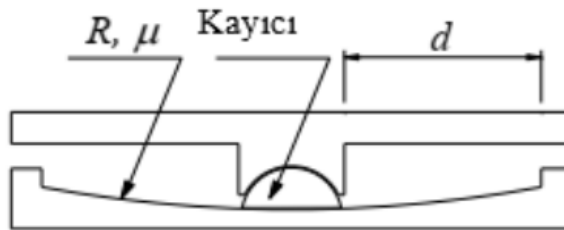
➤ Dezavantajları:

- o Tek başına yetersiz izolatör çeşitleridir. Elastomer izolatörler ile kombine edilerek uygulanmalıdır.



Şekil 3.10. Diğer Sistemler ile Birlikte Kullanıma Örnek [26]

3.4.2.2. Tek Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör



Şekil 3.11. Tek Eğri Yüzeyli Sürtülmeli Sarkaç Tipi İzolatör [27]

Tek Eğri yüzeyli sarkaç tipi izolatörler, sürtünmemenin tek bir yüzeyde olduğu ve kinetik enerjinin tek bir yüzeyde potansiyelden kinetiğe döngüsünün bulunduğu sistemlerdir. Yakın geçmişte oluşturulan bu sistemler çalışma prensibi

olarak sarkaç tiplerinde hep aynıdır. Yapı periyodu bu izolatör sayesinde artırılarak taban kesme kuvvetini azaltır (Şekil 3.11.).

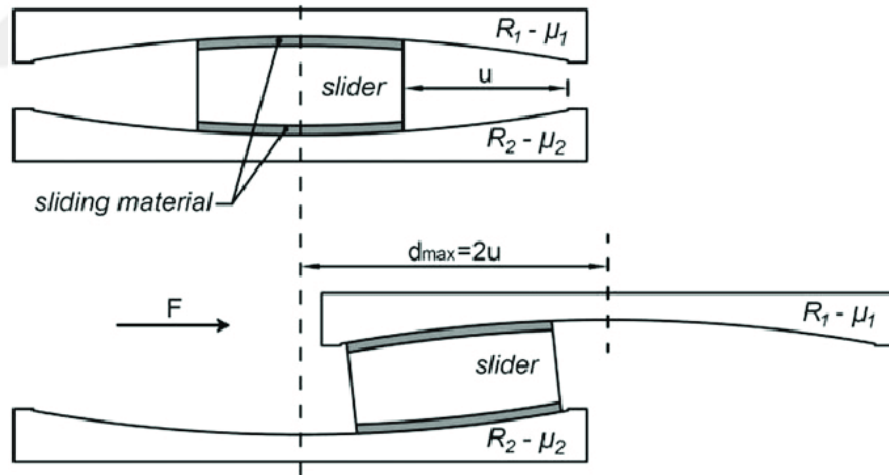
➤ Avantajları:

- Yapıda rijitlik merkezi kütle merkezi ile çakışık hale getirildiği için burulma hareketi en aza indirgenir.
- Sistem geniş ivme aralıklarına cevap verebilmektedir.

➤ Dezavantajları:

- Hesaplar yönetmeliğin belirlediği standartlara uymakta zorlanabilir. Ayrıca oluşan yükleme döngüleri sistemin pürüzsüzlüğünden ve ve sürtünemeye maruz kalan elemanın pürüzsüzlüğünden doğrudan etkilenir.
- Elemanların deprem sonrası kontrolü basit değildir.

3.4.2.3 Çift Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör



Şekil 3.12. Çift Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör [28]

Çift Eğri yüzeyli sarkaç tipi izolatörler, sürtünmemenin tek bir yüzeyde değildi iki farklı yüzeyde olduğu fakat kinetik enerjinin tek bir yüzeyde potansiyelden kinetiğe döngüsünün bulunduğu sistemlerdir. Bu tarz sistemler Şekil 3.12’de gözüktüğü gibi dönme noktasına sahip bir yarı mafsallı kayıcı sistemden oluşur. Tek eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaçtan en büyük farkı yer değiştirmenin 2 katı kadar olmasıdır (Şekil 3.12.).

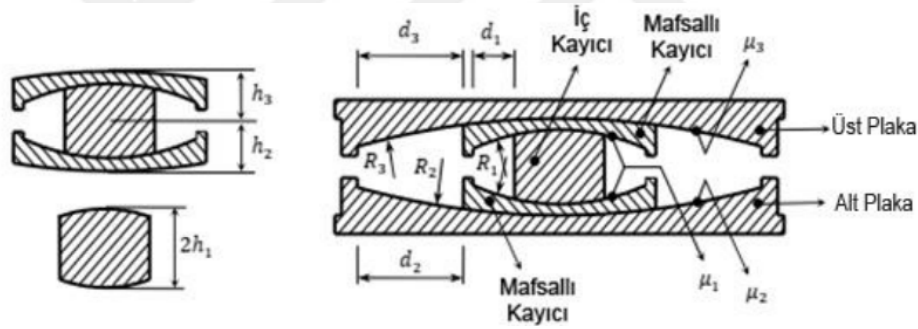
➤ Avantajları:

- Yapıda rijitlik merkezi kütle merkezi ile çakışık hale getirildiği için burulma hareketi en aza indirgenir.
- Sistem geniş ivme aralıklarına cevap verebilmektedir.

➤ Dezavantajları:

- Hesaplar yönetmeliğin belirlediği standartlara uymakta zorlanabilir. Ayrıca oluşan yükleme döngüleri sistemin pürüzsüzlüğünden ve sürtünmeye maruz kalan elemanın pürüzsüzlüğünden doğrudan etkilenir.
- Elemanların deprem sonrası kontrolü basit değildir.

3.4.2.4. Üç Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör



Şekil 3.13. Üç Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatörler [27]

Üç Eğri yüzeyli sarkaç tipi izolatörler, sürtünmemenin iki yüzeyde değil dört farklı yüzeyde olduğu fakat kinetik enerjinin iki yüzeyde potansiyelden kinetiğe döngüsünün bulunduğu sistemlerdir. Bu tarz sistemler Şekil 3.13'te görüldüğü gibi iç içe geçmiş sürtünmeli sarkaç gibi çalışmaktadır. İki eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaçtan en büyük farkı yer değiştirmenin çok farklı değerlere ulaşabilmesidir (Şekil 3.13.).

➤ Avantajları:

- Yapıda rijitlik merkezi kütle merkezi ile çakışık hale getirildiği için burulma hareketi en aza indirgenir.
- Sistem geniş ivme aralıklarına cevap verebilmektedir.

➤ Dezavantajları:

- Hesaplar yönetmeliğin belirlediği standartlara uymakta zorlanabilir. Ayrıca oluşan yükleme döngüleri sistemin pürüzsüzlüğünden ve ve sürtünemeye maruz kalan elemanın pürüzsüzlüğünden doğrudan etkilenir.
- Elemanların deprem sonrası kontrolü basit değildir.

3.4.3. Yaylı izolatörler

Yaylı izolatörler tek başlarına kullanılmamaktadırlar fakat sönümleyiciler ile birlikte kullanıldığında bu izolatör grubunda bulunan izolatörler oldukça etkilidirler. Günümüzde birçok makinede kullanılan yaylı titreşim sönümleyiciler burada da benzer bir amaçla çalışmaktadır.

3.4.3.1. Gerb İzolatörleri



Şekil 3.14. GERB İzolatörleri [29]

Yaylı izolatörler 3 boyutta çalışan nadir izolatör tiplerindendir. GERB firması tarafından geliştirilen bu izolatör çeşidi hem düşeyde hem yatayda büyük yüklerin aktarıldığı sistemlerde kullanılmaktadır. Teorikte sönümsüz olarak kabul ettiğimiz yay izolatörler içsel sürtünme sebebiyle oldukça düşük miktarlarda sönümleme yapmaktadır fakat bu sönüm oranı ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle GERB firması tarafından viskoz sönümleyiciler ile birlikte kullanılmaktadır (Şekil 3.14.).

➤ Avantajları:

- Yapılarda oluşan mekanik dinamik titreşimler için en etkili çözümdür.
- Uygulaması ve işçiliği kolaydır.

➤ Dezavantajları:

- Tek başına kullanılamaz illaki bir sönümleyici sistem ile birleştirilmesi gerekmektedir.

3.5. Enerji Sönümleyici Cihazlar

Pasif yapısal kontrol sisteminin bir diğer grubunu oluşturan enerji sönümleyiciler aynı izolatörlerde olduğu gibi sistemin bazı kilit noktalarına uygulanarak yapıda oluşan dinamik kuvvetleri ve bu kuvvetler sebebiyle oluşan yatay yer değiştirmeleri sınırlandırmaktadır. Enerji sönümleyicilerin çalışma prensibi enerjinin korunumu yasasına bağlanmaktadır. Enerji sönümleyiciler temel olarak üç gruba ayrılır; Histerik Sistemler, Visko-Elastik Sistemler, Dinamik Titreşimli Sistemler.

3.5.1. Histerik Sönümleyici Sistemler

Histerik Sistemler, maddelerin mekanik özelliklerini kullanarak elde edilen sistemlerdir. Bu tip sistemler metalik sönümleyiciler ve sürtünmeli sönümleyiciler olmak üzere iki gruba ayrılır. Metalik sönümleyiciler metallerin veya alaşımların akma dayanımı özelliğinden yararlanılarak tasarlanmış izolatör tipleridir. Sürtünmeli sönümleyiciler ise elastomer mesnetler gibi kayan sürtünmeli yüzeyler arasında ısı elde ederek sönümlemeyi gerçekleştiren izolatör tipleridir.

3.5.1.1. Metalik Sönümleyiciler

Metalik sönümleyici sistemler sisteme rijitlik sağlayarak yapının deplasman esnasında yatay yer değiştirmeye tepki koyarak akma noktasına kadar gelerek enerji sönümleyen sistemlerdir. Yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Çelik yapılarda kullanılan çapraz sistemlerine benzetilebilir fakat bunların tasarımında amaç sisteme

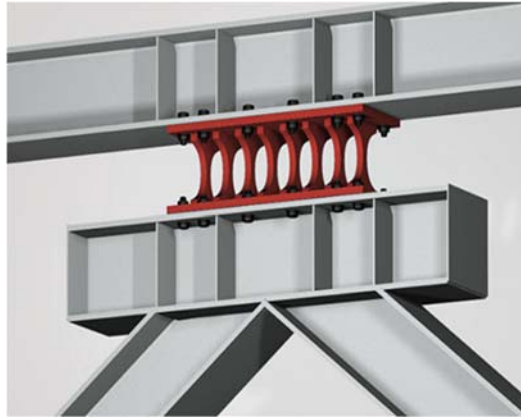
gelen yükü karşılayarak sistemi ayakta tutmak değil sisteme gelen yük sebebiyle oluşan yatay yer değiştirmeleri akma dayanımına gelerek sönümlemektir. Şekillerine göre sönümleyiciler X-Tip (Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.), T-Tip (Şekil 3.17.), Eşkenar Dörtgen Tip (Şekil 3.18.), Panel Tip (Şekil 3.19. ve Şekil 3.20.), Bal peteği (Hexagonal) (Şekil 3.21.), Yarık Tip (Şekil 3.22.), Çift İşlevli (Double Function Metallic Damper - DFMD) Tip (Şekil 3.23.), İkili X Tip (Şekil 3.24.), CPD (Corrugated Pipe Damper) Tip (Şekil 3.25.) ve Boru Tip (Şekil 3.26.) olarak adlandırılırlar.

➤ Avantajları:

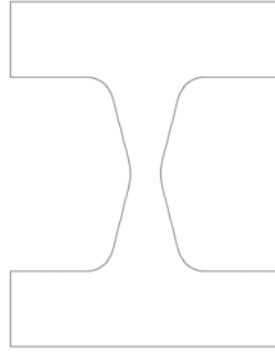
- o Ekonomiktirler ve özellikle çelik yapılarda uygulama kolaylığı sunarlar.
- o Uygulaması ve işçiliği kolaydır.

➤ Dezavantajları:

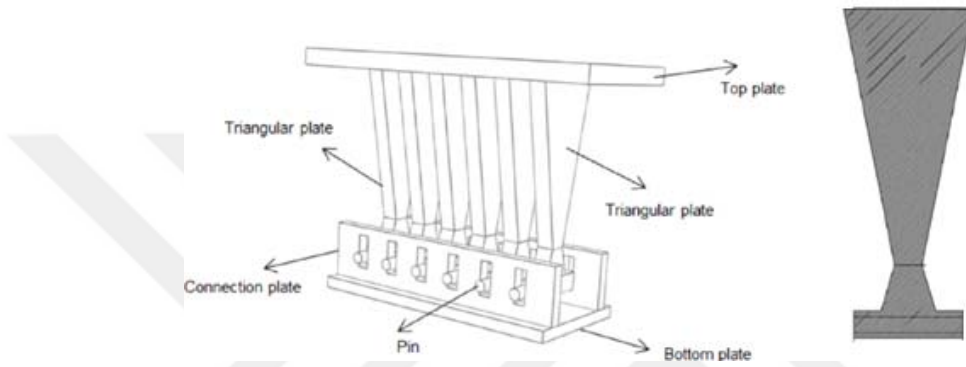
- o Tek başına kullanılamaz illaki bir sönümleyici sistem ile birleştirilmesi gerekmektedir.



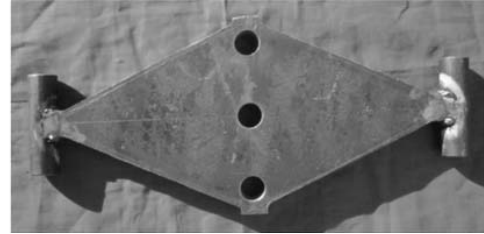
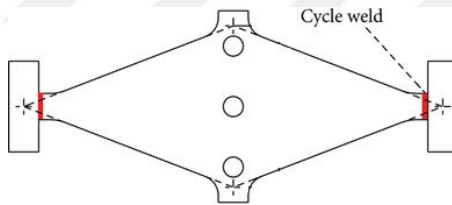
Şekil 3.15. X-Tip Metalik Sönümleyici Yerleşimi [30]



Şekil 3.16. X-Tip Metalik Sönümleyici Kesiti



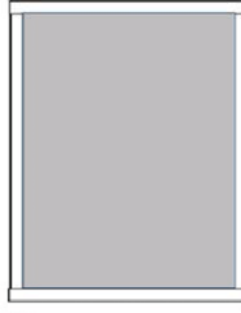
Şekil 3.17. T-Tip Metalik Sönümleyici Kesiti ve Sönümleyici Detayı [31]



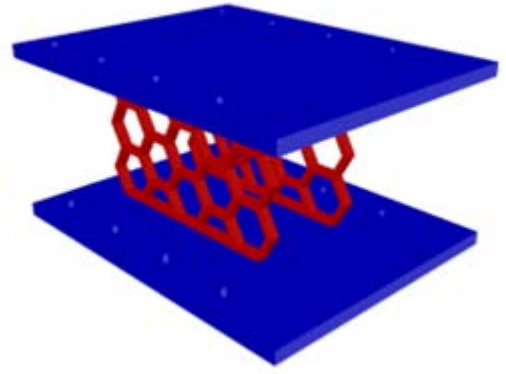
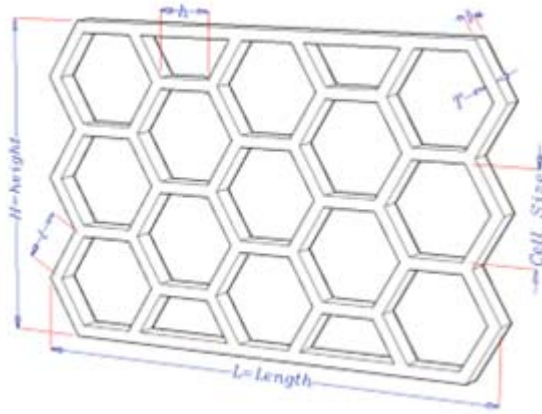
Şekil 3.18. Eşkenar Dörtgen Tip Metalik Sönümleyici Kesiti ve Modeli [32]



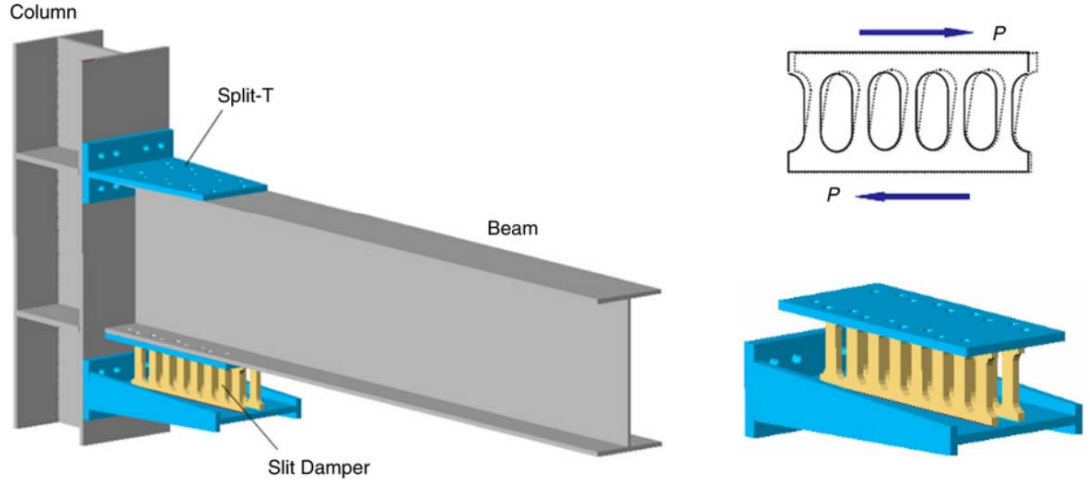
Şekil 3.19. Panel Tip Metalik Sönümleyici Yerleşimi [30]



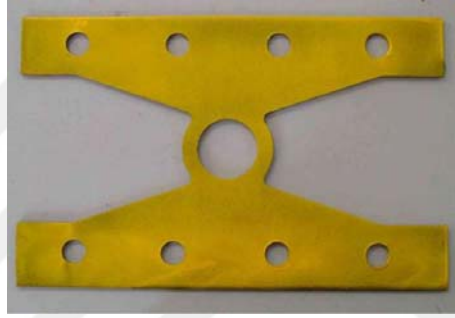
Şekil 3.20. Panel Tip Metalik Sönümleyici Kesiti



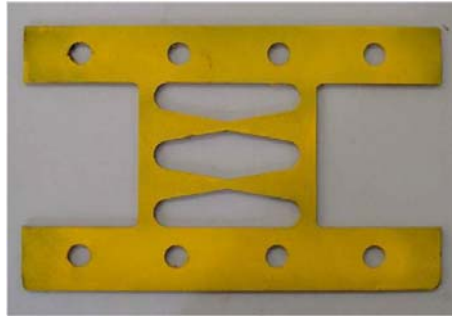
Şekil 3.21. Hexagonal Honeycomb Metalik Sönümleyici [33]



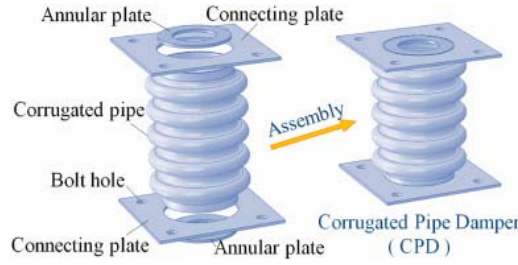
Şekil 3.22. Yarık Tip Metalik Sönümleyici Yerleşimi ve Uygulaması [34]



Şekil 3.23. Tek Yuvarlak Delikli Metalik Sönümleyici [35]



Şekil 3.24. İkili X Tip Metalik Sönümleyici [36]



Şekil 3.25. Spiral Tip Metalik Sönümleyici [37]



Şekil 3.26. Boru Tip Metalik Sönümleyici [38]

3.5.1.2. Sürtünmeli Sönümleyiciler

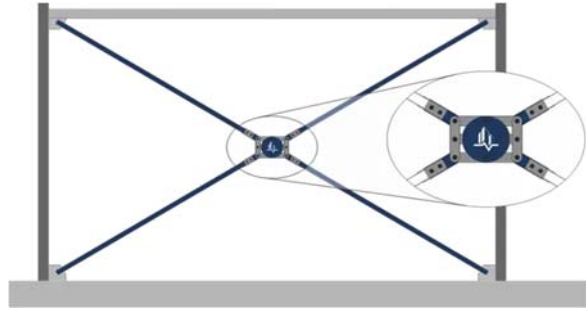
Sürtünmeli sönümleyici sistemler kinetik enerjiyi yani yapıyı hareket ettiren dinamik enerjiyi ısı enerjisine çevirerek enerjinin korunumunu ve sönümünü sağlar. Çok fazla çeşidi bulunmaktadır. Yaygın olarak çelik ve çelik üstüne yapılmış olan kaplamalardan (pirinç, grafit, bronz vb.) oluşmaktadırlar. Sürtünme yüzeyi bu tip sönümleyiciler için en önemli noktadır. Kuvvet-Yer değiştirme eğrileri sıradan sönümleyicilere göre daha stabildir. Örnek olarak Şekil 3.27. verilebilir.

➤ Avantajları:

- o Gelen yükün büyüklüğünden veya yükleme sayısından bağımsız çalışırlar
- o Uygulaması ve tasarımları kolaydır. Birden fazla durum için farklı şekillerde veya duruma özgü şekilde imal edilebilirler.

➤ Dezavantajları:

- o Açığa çıkan ısı sebebiyle kapalı şekilde imal edilemezler (sönümleyicinin etrafı kapatılamaz) açık bağlantılı oluşturulmalıdırlar görüntü olarak mimariyi bozabilirler.



Şekil 3.27. Çaprazlar arasına yerleştirilmiş X Tip Sürtünmeli Sönümleyici [39]

3.5.2. Visko-Elastik Sönümleyiciler

Visko Elastik sönümleyici bulunduran sistemler iki farklı türde bulunmaktadır. Bunlardan birisi Visko-Elastik katı bir diğeri Visko-Elastik sıvı sistemlerdir. Çalışma şekilleri dinamik kuvvet sebebiyle oluşan yer değiştirmelerin kullanılan malzemenin mekanik davranışları ile sönümlenmesidir.

3.5.2.1. Visko-Elastik Katı Sönümleyiciler

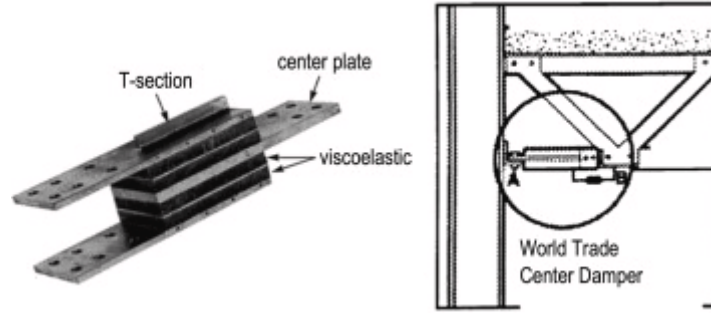
Visko-Elastik Katı Sönümleyiciler, yapıya etkiyen rüzgâr veya deprem gibi dinamik kuvvetleri ko-polimer gibi özel katı malzemeler ile sönümlenmesine dayanır. Çalışma prensibi olarak malzemenin mekanik özelliğinden faydalanan bu sönümleyici tipi sıcaklığa bağlı olarak şekil değiştiren katı maddenin davranışları ile açıklanır. Katıdan sıvıya geçiş için enerji harcanması sonrasında malzemenin kendi eski haline dönmesi amaçlanmaktadır. Örnek olarak Şekil 3.28. verilebilir.

➤ Avantajları:

- Gelen yükün büyüklüğüne veya yükleme sayısına göre farklı tip enerji sönümleyiciler kullanılabilir. Bu şekilde özel üretim yapılabilen sistemler ayrıca tasarımda kontrolü kolaylaştırır.
- Defaatle kullanım amaçlanabilir.
- Kullanımı kolaydır.

➤ Dezavantajları:

- Maliyet açısından bir sönümleyici tipi olarak pahalıdır.



Şekil 3.28. Visko-Elastik Katı Sönümleyici ve Yerleşim Kesiti [40]

3.5.2.2. Visko-Elastik Sıvı (Viskoz) Sönümleyiciler

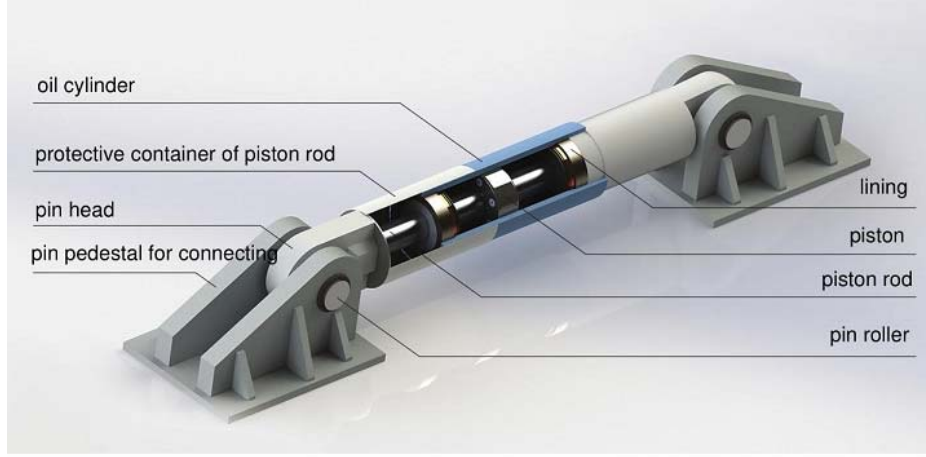
Visko-Elastik sıvı yani viskoz sönümleyiciler, çalışma prensibi olarak oldukça basittir birçok yerde kullanılan hidrolik pistonlara benzerler. Çalışma prensipleri piston içerisinde yüklenilen yağ veya silikon benzeri sıvı malzemelerin hareketine dayanır. Örnek olarak Şekil 3.29’da ki kesit ve Şekil 3.30’da ki kullanım verilebilir.

➤ Avantajları:

- Kullanım seçenekleriyle büyük bir kolaylık sağlarlar.
- Seçim konusunda esnek ve maliyet açısından uygundur.
- Kat ötelemelerinde %45-%70 arasında azaltım sağlarlar. Bu sayede sönümleyiciler arasında fiyat/performans oranıyla dikkat çekerler.
- Basit bir tasarıma sahiptirler ve karmaşık değildirler.

➤ Dezavantajları:

- Tasarım açısından basit olsalar bile modelleme açısından zorlayıcıdır. Laboratuvar testlerine göre yapılan modellemeler ile güvenlik faktörü büyük çalışmalıdır.
- Ortam sıcaklığına bağlı sönümleyicidirler. Sıvı halde bulundukları için sıcaklık arttıkça moleküllerin hareketi hızlanacağı için sönümleme kapasiteleri azalır.



Şekil 3.29. Viskos Sönümleyici İç Planlaması [41]



Şekil 3.30. Viskos Sönümleyicinin Yapıya Yerleşimi

3.5.3. Dinamik Titreşimli Sönümleyiciler

Yakın tarihte kullanıma başlanılan ve temel hedefleri periyodu büyük yapılar olan bu sönümleyici tipleri günümüzde çok olmasa da önemli noktalarda kullanılmaktadır. Gökdelen yapılarında karşımıza çıkan bu sönümleyici tipinin çalışma prensibi dinamik yükleri (rüzgâr ve deprem gibi) titreşimlere dönüştürerek enerji sönümlenmesine dayanır. İki farklı tipte incelenebilir bunlardan ilki ayarlı kütle sönümleyiciler diğeri ayarlı sıvı sönümleyicilerdir. Zaman zaman farklı

sönümleyiciler ile kombine edilerek daha başarılı çalıştığı gözlemlenen bu sistemlerin günümüzde en büyük örneği Tayvan’da bulunan Taipei 101 binasıdır.

3.5.3.1 Ayarlı Kütle Sönümleyiciler

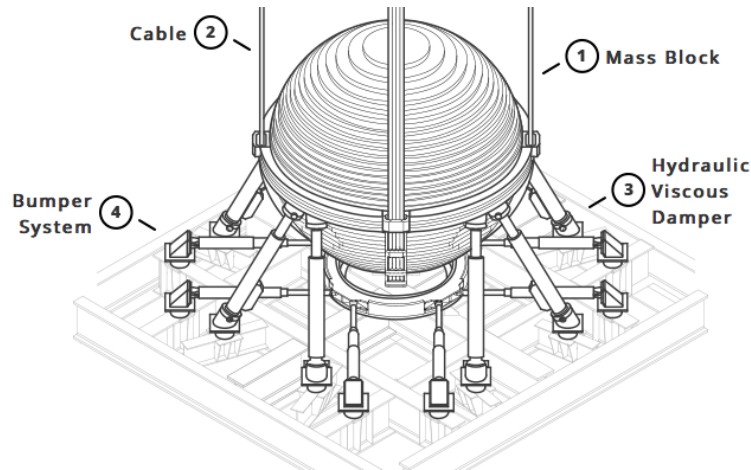
Ayarlı Kütle Sönümleyiciler yapıya tasarım aşamasında eklenen ve yapı kütlesinin %1 kadarını oluşturan amaçları yatay titreşimleri ve yapının yer değiştirmesini önlemek olan sönümleyici tipleridir. Bu sönümleyiciler yapının en üst noktasına yerleştirilir. Viskos sönümleyiciler veya yaylı izolatör sistemler ile düzenlenirler. Dinamik etkiler ile oluşan yapı salınımda ilk modu yakalamayı ve sönümlemeyi hedefleyen bu sönümleyiciler daha birden fazla modun olduğu titreşimlerde pek kontrollü değildirler bu sebeple teknoloji ile donatılan bu sistemler dışarıdan eklenen bir enerji ile kontrol edilmesi amaçlanarak şu anda hale geliştirme aşamasındadır. Amaçlanan durum yapı salınımlarına ters şekilde kütlenin hareket ettirilmesidir. Şekil 3.31’de Taipei 101binasındaki sönümleyicinin çizimi verilmiştir.

➤ Avantajları:

- o Gökdelen ve büyük kütleli iletişim ve haberleşme kuleleri gibi yapılarda kullanılabilirler.
- o Dinamik rüzgâr kuvvetlerine karşı çok iyi çalışırlar.

➤ Dezavantajları:

- o Maliyetlidirler ve sistem ileri derece mühendislik gerektiren yapıdırlar.



Şekil 3.31. Ayarlı Kütle Sönümleyici (Mass Damper System) [42]

3.5.3.2. Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler

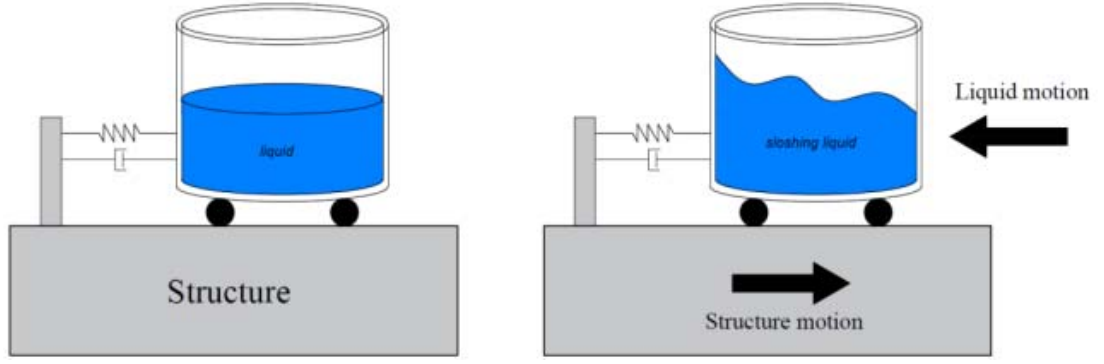
Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler, prensip olarak kütle sönümleyiciler ile aynı şekilde çalışırlar. Tek fark kütle sönümleyiciler kadar doğrusal çalışmamalarıdır. Kütle sönümleyicilere göre daha karmaşık olan bu sistemler tasarım olarak özel tanklara ihtiyaç duyarlar. Periyodun ve frekansın oluştuğu yöne bağlı olarak hâkim frekanslara göre değişen sıvı tanklarının şekilleri silindir veya dörtgen olarak düzenlenebilir. İki ayrı alt tipi bulunan bu sönümleyiciler salınan ayarlı sıvı sönümleyiciler ve Ayarlı sıvı kollu sönümleyiciler olarak adlandırılır. Şekil 3.32’de çalışma prensibi ve Şekil 3.33’de örnek bir analiz modeli verilmiştir.

➤ Avantajları:

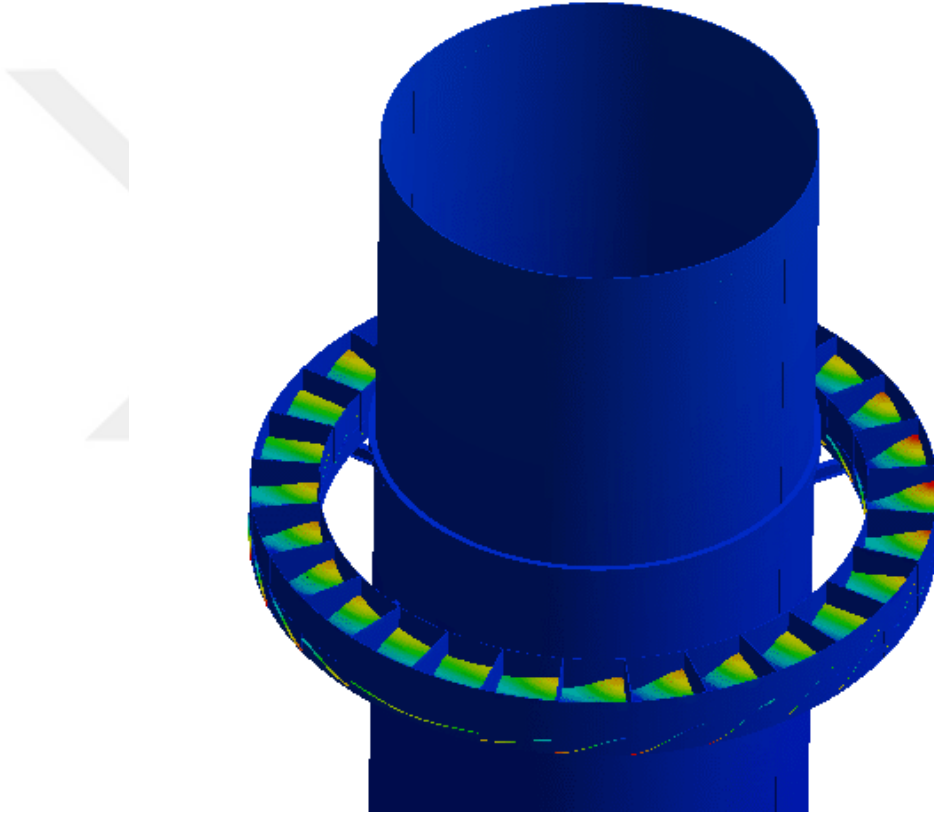
- Basit bir yapıları olduğu için maliyet açısından düşük maliyetlidirler.
- Tankların sayısını artırarak birden fazla frekansa uygun tasarım oluşturmak mümkündür.
- Mevcut yapılara güçlendirme benzeri imalatlarda kolayca uygulanabilirler.
- Sönüm kapasiteleri kombinasyon halinde veya sisteme eklenene yarı katı malzemeler ile artırılabilir.

➤ Dezavantajları:

- Ülkemizde yaygın kullanıma sahip değildirler. Ayrıca bu sistemi kullanabilecek yeterli mühendislik hizmeti günümüz şartlarında bulunmamaktadır.



Şekil 3.32. Hareketlenen Yapıda sistemin Gösterdiği Davranış [43]



Şekil 3.33. Turned Liquid Dampers Analiz Modeli

4. SİSMİK İZOLASYON SİTEMLERİNE DETAYLI BAKIŞ

Sismik İzolatörlerin Seçiminde Etkili Faktörler

Sismik izolatörler, kullanıldığı zeminin jeolojik özelliklerine, aktif fay hatlarının yapıya olan yakınlığına, yalıtacak oldukları üst yapının ağırlığına, izolatörden istenen enerji yutabilme kabiliyetine, deprem itkileri dışında sisteme etkiyen dinamik yüklere karşı gösterecek olduğu sistem davranışına, eklenecek olduğu yapının kullanımına ve ekonomik parametreler gibi farklı etkenlere bağlı olarak farklı sistemlerini oluşturulabilmesi gibi durumlarda kullanılan cihazlardır. Sismik izolatörlerin kullanılabilirliğine dair bu seçimler aynı zamanda sistemin sınırlarını oluşturmaktadır.

4.1.1. Zeminin Jeolojik Özellikleri

Sismik izolatörler temelde basit bir amaç taşımaktadır. Yapının periyodunu artırarak deprem sırasında oluşacak ivmeleri azaltmak ve yapının daha dayanıklı, az maliyetli ve kesintisiz kullanıma sahip olmasını sağlamaktır. Ancak, ZD, ZE ve ZF zemin sınıflarında, rezonans durumunun ortaya çıkma olasılığı ve daha yüksek ivme değerlerinin oluşması nedeniyle, sismik izolatör sistemlerinin uygulanması önerilmemektedir. Bu nedenle zemin sınıfları bu sistemlerin uygulanabilirliğinde sınırlayıcı olmaktadır.

4.1.2. Yakın Fay Durumu

Sismik izolasyonlu binaların en çok zorlandıkları iki konudan bir tanesi faya yakın bölgelerdeki deprem yer hareketi hız kayıtlarında gözlenen uzun periyotlu ve yüksek genlikli “hız puls”ları iken, diğeri yine özellikle bu faya yakın bölgelerdeki deprem yer hareketinin düşey ivme bileşeni genliklerinin çok yüksek olması durumudur.

Bu pulsların uzun periyotları genellikle sismik izolasyonlu yapıların izolasyon periyotlarına oldukça yakın olduğundan rezonans etkisi rezonansa benzeyen bir davranış gözlenmekte ve izolatör deplasman talepleri çok artırmaktadır. [44, 45, 46]

Fay hattına yakın bölgelerde inşa edilecek veya güçlendirme amacıyla sismik izolatör düşünülen yapılarda izolatör tasarımında yakın fay etkisi (Faya yakınlığın 10km mesafeden daha az olduğu durumlar için) ile yapılması zaman tanım alanında analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının hız kayıtlarında netlikle gözlenen uzun periyotlu ve yüksek genlikli pulslar içermeleri gerekmektedir [47].

4.1.3. Üst Yapı Ağırlığı

İzolasyon sistemleri için en önemli sınırlamalardan birisi olan üst yapı ağırlığı izolatörlerin seçiminde etkin rol oynar. Yapı ağırlığının yüksek olduğu durumlarda izolatörlerin taşıma kapasiteleri fazlasıyla zorlanacaktır ve izolatörlerin yapacağı deplasman sınırlandırılmak zorunda kalacaktır. Özellikle elastomerik kauçuk izolatörlerde bu durum önemli bir hal almaktadır. Yapı ağırlığının deplasman sonrası izolatörleri yırtılmaya zorlama durumu veya izolatör ekseninde oluşan dönme durumuyla izolatörün ezilme durumu gibi durumlar ortaya çıkmaktadır.

4.1.4. İzolatörlerin Enerji Yutabilme Kapasitesi

Sismik izolatörler, deprem esnasında oluşan enerjiyi tamamen absorbe edemezler; ancak kendi başlangıç rijitlikleri doğrultusunda deplasmanları kontrol altına alabilme yeteneğine sahiptirler. Bu çalışma prensibi, kısmi bir enerji sönmüleme kapasitesi olarak nitelendirilebilir. İkincil rijitliğin yenilmesi aşamasında, yapısal deplasman oluşurken daha küçük kuvvetlere denk gelir ve bu süreçte enerji kısmen ısı enerjisiye dönüşür.

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde, ilk rijitlik kurşun çekirdeğin akma davranışı tarafından belirlenir. Kurşun çekirdeğin akana kadar enerji rijitlik mekanizması içerisinde sönmülenir. Sonrasında, kauçuk elastomer yüzeyler ile çelik plakalar arasındaki sürtünme ile enerji sönmülenmesi devam eder. Bu dinamik, geleneksel ankastre yapılardaki elemanların kısmi hasar alarak sistemin bütünsel güvenliğini koruması ilkesine benzer bir durum sergiler.

4.1.5. Eklenecek Olduğu Yapının Kullanımı ve Diğer Dinamik Etkiler

Yapılarda kullanılacak sismik izolatörlerin seçimi, yapının kullanım amacı ve karakteristik özellikleri doğrultusunda şekillenir.

Deprem esnasında oluşacak deplasman, yapının izolasyon sistemi için belirleyici bir parametredir. İzolatör seçiminde, yapının içerdiği hareketli yükler ve dinamik ekipmanların özellikleri de kritik rol oynar. Yapının farklı dinamik kuvvetler altındaki davranış karakteristiği, uygun izolatör tipinin belirlenmesinde doğrudan etkilidir.

Hassas elektronik sistemler barındıran bir veri merkezi ile endüstriyel bir silo, birbirinden farklı izolasyon gereksinimleri sergiler. Veri merkezinde minimum titreşim ve maksimum izolasyon performansı ön planda tutulurken, endüstriyel silolarda yüksek yük taşıma kapasitesi öncelikli seçim kriteridir.

Sismik İzolatörlerin Test Edilmesi

Sismik izolatörlerin, yapıda kullanımı öncesi performanslarını pratikte değerlendirilmesi amacıyla Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 14.15 Yalıtım Birimleri Deneyleri bölümü yer almaktadır [2]. Bu deneylerde, yalıtım sisteminde kullanılan yalıtım birimlerinin kuvvet – yer değiştirme özellikleri, etkin sönüm oranları, etkin yatay ve düşey rijitlikleri gibi parametreler veya hesaplarda alınan parametreler arasındaki ilişki kontrol edilecektir.

4.1.6. Yalıtım Birimi Prototip Deneyleri:

Yönetmeliğimize göre prototip deneyleri (Tablo 4.1.), her bir yalıtım birimi tipi için en az 2 adet yalıtım birimine dinamik olarak uygulanacaktır. Deneylerde kullanılacak olan yer değiştirme ve periyot değerleri yalıtım biriminin nominal parametreleri kullanılarak belirlenecektir. Prototip deneyleri üreticiden bağımsız, TS ISO/IEC 17025'e göre akredite laboratuvarlarda yapılacaktır.

Tablo 4.1. TBDY 2018 Yalıtım Birimi Prototip Deneyleri [2]

Deney No	Düşey Yük veya Yerdeğiştirme	Yatay Yerdeğiştirme/Yatay Kuvvet	Çevrim Sayısı	Deney Süresi/Çevrim Periyodu	Kabul Koşulu
1	Denk.(14.4) düşey yükün en büyük değeri	0	0	Statik (180 saniye)	a
2	Denk.(14.5) düşey yükün ortalama değeri	Yalıtım birimi başına düşen yatay rüzgar kuvveti veya 25 mm	20	T_D	b
3	Denk.(14.5) düşey yükün ortalama değeri	$0.25D_D$, $0.50 D_D$, $1.00 D_D$, $1.00D_M$	3	T_D , T_M	c, d
4	Denk.(14.6) düşey yükün ortalama değeri	$0.25D_D$, $0.50 D_D$, $1.00 D_D$, $1.00D_M$	3	T_D , T_M	c, d
5	Denk.(14.8) düşey yükün ortalama değeri	$0.25D_D$, $0.50 D_D$, $1.00 D_D$, $1.00D_M$	3	T_D , T_M	c, d
6	Denk.(14.5) düşey yükün ortalama değeri	$1.00D_M$	3	T_M	c, d, e
7	Denk.(14.5) düşey yükün ortalama değeri	$1.00D_D$	10	T_D	f
8	Denk.(14.7) düşey yükün en büyük değeri	$1.00D_M$	Tek Yönlü İtme	0	g
9	Denk.(14.8) düşey yükün en küçük değeri	$1.00D_M$	Tek Yönlü İtme	0	g
10*	Üst ve alt plakalar arasındaki en büyük düşey açılma	$1.00D_M$	Tek Yönlü İtme	0	g

4.1.7. Yalıtım Birimi Üretim Kontrol Deneyleri

Yönetmeliğimize göre üretim kontrol deneyleri (Tablo 4.2.), üretilen her bir tip yalıtım birimi için rastgele seçilen %30'una uygulanacaktır. Bu prototiplerin koşul şartlarını sağlamaması durumunda, üretim kontrol deneyleri üretilen bu tip yalıtım birimlerinin tümüne uygulanacaktır.

Tablo 4.2. TBDY 2018 Yalıtım Birimi Üretim Kontrol Deneyleri [2]

Deney No	Düşey Yük veya Yerdeğiştirme	Yatay Yerdeğiştirme/Yatay Kuvvet	Çevrim Sayısı	Deney Süresi / Deney Hızı (m/s) / Çevrim Periyodu (s)	Kabul Koşulu
1	Denk.(14.4) ile hesaplanan düşey yükün en büyük değeri	-	-	Statik (180s)	a
2	Denk.(14.5) ile hesaplanan düşey yükün ortalama değeri	D_D	3	T_D veya $\geq 0.05m/s$	h, i

Tablo 4.3. İzolatör Deneylerinde kullanılan Yük Bileşenleri Tablosu [2]

Yükleme Kombinasyonu	Denklem Numarası
$1.4 G + 1.6 Q$	14.4
$G + 0.5 Q$	14.5
$1.2 G + 0.5 Q \pm E_d$	14.6
$1.2 G + Q \pm E_d$	14.7
$0.9 G \pm E_d$	14.8

4.3. Sismik İzolatörlerde Bakım ve Afet Sonrası Değerlendirme

Yalıtım birimlerine binanın kullanım ömrü boyunca erişim sağlanabilmeli, gerekmesi durumunda yalıtım biriminin değiştirilebilmesi için yeterli boyutlarda çalışma alanı ve yalıtım birimlerine geçiş alanı bırakılmalıdır.

Sismik izolatörler, bakım ve güvenlik kriterleri, yapıların uzun ömürlü ve güvenli bir şekilde hizmet vermesi için kritik öneme sahiptir. Özellikle, bakım süreçleri sırasında izolatörlerin mekanik özelliklerinin, malzeme dayanımının ve montaj standartlarının periyodik olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

Sismik izolatörlerde oluşabilecek korozyon, asidik çözünme ve genleşme gibi dış etkenler, periyodik bakımlar ile tespit edilerek gerekli çözüm işlemleri uygulanır. Korozyon etkilerine karşı, deplasman kapasitesini etkilemeyecek koruyucu kaplamalar veya kimyasal çözümler bulunmaktadır. Kauçuk yüzeylerde meydana gelen yaşlanma etkisi gibi reaksiyonlara karşı inhibitör görevi gören kimyasal maddeler kullanılmaktadır.

Yapının izolatör katında meydana gelen bir yangın sonrasında, tüm izolatörler teknik personel tarafından detaylı şekilde kontrol edilmelidir. İzolatörlerin değişimi ve bakım çalışmalarının gerekli görüldüğü durumlarda, sistem kısmen askıya alınır ve izolatörlerin sökümü (demontajı) gerçekleştirilir. Yangına karşı hassas olan elastomerik izolatör tipleri için yangına dayanıklı üretim geliştirme (AR-GE) çalışmaları günümüzde devam etmektedir.

Afet sonrasında, sisteme entegre edilen cihazlardan ölçülen beklenmedik deplasman veya ivme değerleri doğrultusunda, izolatörlerde oluşan şekil

değişiklikleri (deformasyonlar) kontrol edilir. Öngörülmeven deplasman ve beklenmedik ivmelerin tespit edilmesi durumunda, yapıdaki izolatörler ilgili kurumun talebi doğrultusunda yeniden modelleme ve analiz çalışmaları yapılır. Saha uygulamasında sorun yaratmayacağı belirlenen durumlar için aktif kontrol sistemleri modele dahil edilebilir. Bu sayede sistem karma kontrol sistemli hale sonradan da getirilebilir.



5. SİSMİK İZOLATÖRLERİN TASARIMI

TBDY-2018 kapsamında taban yalıtım sistemleri için yönetmeliğe özel bir bölüm eklenmiş ve bu sistemlerin tasarım, hesap ve kontrol aşamaları kapsamlı bir şekilde düzenlenmiştir. "Bölüm 14-Deprem Etkisi Altında Yalıtımlı Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar" başlığı altında, uygulama esasları ve teknik gereklilikler net bir çerçeve ile tanımlanmıştır [2]. ASCE 7 "Chapter 17 Seismic Design Requirements for Seismically Isolated Structures" [48] bölümünden çeviri niteliğinde olan bu bölüm özel kurallarda içermektedir.

28/9/2022 tarihi itibarıyla resmî gazetede yayımlanan "Özellik Arz Eden Binaların Tasarım Gözetimi Ve Kontrolü Hizmetlerine Dair Yönetmelik", yapının tüm yapım süreçlerinde; modelleme ve analiz aşamalarından uygulama aşamalarına kadar olan tüm değerlendirme süreçlerinde "Deprem Tasarım Gözetimi ve Kontrolü 5 (DTGUA-5)" belgesine sahip, konusunda uzman yüksek inşaat mühendislerinden profesyonel hizmet alınmasını zorunlu kılmıştır [49]. DTGUA tablosu Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Özellik Arz Eden Binaların Tasarım Gözetimi ve Kontrolü Hizmetlerine Dair Yönetmelik (Tablo D.1) [49]

Uzmanlık Alanı Sınıfı	Uzmanlık Alanı	Uzmanlık Alanı Tanımı
DTGUA-1	Deprem yer hareketi	Sahaya özel deprem tehlikesinin belirlenmesi ile zaman tanım alanında deprem hesabı için deprem kayıtlarının seçimi, ölçeklendirilmesi veya dönüştürülmesi
DTGUA-2	Zemin/Yapı davranışı ve etkileşimi	a) Deprem etkisi altında doğrusal olmayan zemin davranış analizleri b) Deprem etkisi altında doğrusal olmayan yapı-kazık-zemin etkileşimi analizleri
DTGUA-3	Doğrusal olmayan bina hesabı (DTGUA-4 ve DTGUA-5 dışında)	Deprem etkisi altında çok modlu itme yöntemleri ile veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan bina taşıyıcı sistem analizleri

DTGUA-4	Yüksek bina	Deprem etkisi altında yüksek binaların analiz ve tasarımı
DTGUA-5	Deprem yalıtımlı bina	Deprem etkisi altında yalıtımlı binaların analiz ve tasarımı
Notlar: 1- DTGUA-4 Alanında Uzman Olanlar DTGUA-3 alanında uzman sayılır. 2- DTGUA alanlarında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde belirtilen meslek mensupları başvuru yapabilir. 3- DTGUA alanlarındaki başvurularda mesleki yetkinlik gösterilmesi uygulanmaz.		

5.1. Taban Yalıtımlı Yapı Tasarım Aşamaları

TBDY 2018'e göre tasarlanacak taban yalıtımlı yapının tasarım aşamaları genel anlamda şu şekildedir [2]:

- 1- Geoteknik Raporun hazırlanması (TGUA 1)
- 2- Ön yapısal tasarım yapılması
- 3- İzolatör üreticisinin seçimi ve izolatör firmasının verdiği değerlere göre tasarımın yenilenmesi
- 4- İzolatör test merkezinin belirlenmesi ve izolatör üretiminin yapılması
- 5- Üretilen izolatörün test edilmesi ve test sonuçlarına uygun kesin izolatör verilerine göre analizin tekrarlanması.

Bu süreç boyunca DTGUA-5 belgesine sahip yüksek mühendis tasarım birlikte tüm sürecini müşavir firma veya müşavir kişi ile birlikte yürütür. Tasarım boyunca her noktada kontrol sağlamalıdır.

Yapı genel tasarım şartları;

- **Bina Önem Katsayısının Seçimi:** Bina önem katsayısı TBDY 2018 madde 14.3.2 uyarınca “Deprem yalıtımı uygulanan binalarda, bina önem katsayısı $I=1$ Olarak Alınacaktır.” ibaresi kesin tutulmaktadır.
- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi Seçimi:** Yapının yalıtım katı itibarıyla üst ünde kalan yapı üst yapı yalıtımın altındaki bölüm alt yapı olarak nitelendirilir. İzolasyon sistemi Altyapı için DD-1 deprem düzeyi, Üstyapı içinse DD-2 deprem düzeyine göre tasarlanmaktadır.

- **Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları Seçimi:** Yapının tasarlandığı performans hedefine yönelik olarak seçilecek olan R ve D katsayıları Tablo 5.2’de yer alan değerlere göre seçilecektir. TBDY-2018 madde 14.3.4. uyarınca deprem yalıtımı uygulanan yapıların alt ve üst yapıları sınırlı süneklik düzeyine göre tasarlanabilir. Fakat Altyapıya etkiyen kuvvet madde 14.14.2.13 uyarınca $R=1$ alınarak hesaplanacaktır.

Tablo 5.2. TBDY-2018 Deprem Yüğü Azaltma ve Dayanım Fazlalığı Katsayıları [2]

Performans Hedefi	R	D
Kesintisiz Kullanım	1.2	1.2
Sınırlı Hasar	1.5	1.5

5.1.1. Hesap Analiz Yönteminin Seçimi

5.1.1.1. Etkin Deprem Yüğü Analiz Yöntemi

TBDY-2018 madde 14.14.1.1 de belirtilen duruma göre Etkin deprem yüğü yöntemi ile analizin gerçekleştirilebilmesi için bu maddede yer alan tüm koşulların sağlanması gerekmektedir [2]. Yönetmeliğimize göre ilgili koşullar;

- (a) Bina, ZA, ZB, ZC veya ZD türü zeminde bulunmaktadır.
 - (b) Yalıtımlı binanın DD-1 deprem yer hareketi etkisi altındaki etkin periyodu 4.0 saniyeden küçüktür.
 - (c) Yalıtım sistemi üzerindeki binanın kat adedi en fazla 4, yalıtım arayüzü üzerindeki toplam yüksekliği ise en fazla 20 metredir.
 - (d) Yalıtım birimlerinde kalkma veya çekme oluşmamaktadır.
 - (e) Etkin sönüm oranı %30 değerinin altındadır.
 - (f) Yalıtım sistemi üzerindeki binanın her katında burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 2.0$ koşulu sağlanmaktadır ve binada B2 türü düzensizlik yoktur.
 - (g) Binanın düşey doğrultudaki titreşim periyodu $T_v \leq 0.1$ saniyedir.
- olarak belirtilmiştir.

Etkin Deprem Yüğü Yöntemi, sağlanması gereken katı şartlar nedeniyle çok az yapıda nihai tasarım için uygulanabilmektedir. Ancak, hesaplama kolaylığı sayesinde yapının hakim periyodunun belirlenmesi ve gerekli izolatör

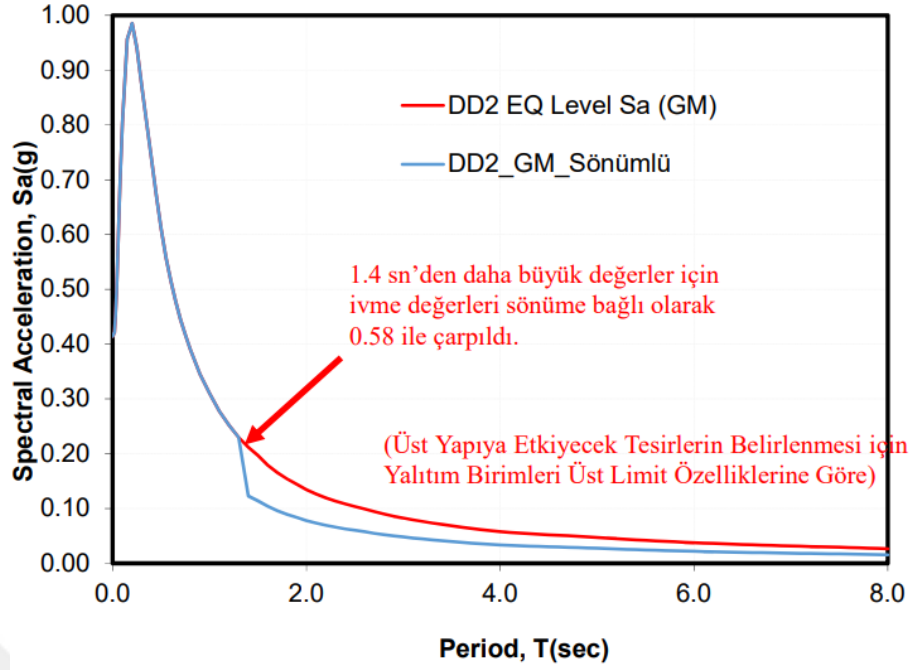
deplasmanlarının tespit edilmesi bakımından ön tasarım aşamasında mutlaka kullanılmaktadır. Bu analiz yöntemi, izolasyon sistemi için gerekli deplasman ve dinamik kuvvetlere ilişkin yönetmeliğin belirlediği alt sınır değerlerin kolayca bulunmasına olanak sağlamaktadır.

5.1.1.2. Mod Birleştirme Analiz Yöntemi

TBDY-2018 madde 14.14.1.2'ye göre mod birleştirme analiz yöntemi ile analizin gerçekleştirilebilmesi için yönetmeliğimize göre sağlanması zorunlu koşullar;

- (a) Bina, ZA, ZB, ZC veya ZD türü zeminde bulunmaktadır.
 - (b) Yalıtımlı binanın DD-1 deprem yer hareketi etkisi altındaki etkin periyodu 4.0 saniyeden küçüktür.
 - (c) Yalıtım birimlerinde kalkma veya çekme oluşmamaktadır.
- olarak belirtilmiştir.

Bu analiz yöntemimde “Etkin Deprem Yüğü Analiz Yöntemi” gibi kullanımında sınırlayıcı şartların bulunması nedeniyle nihai tasarım çok tercih edilen bir analiz yöntemi değildir. Etkin Deprem Yüğü Analiz Yöntemi 'ne göre daha çok seçilebilmesinin nedeniyse geometrik açıdan simetrik yapıda olmayan veya katlar arası değişkenliğin çok olduğu kombine sistemler için daha uygundur. Bilinen mod birleştirme yönteminden biraz farklı olarak izolasyonlu sistemlerde bulunan sönüm yüzdesi ve ölçeklendirme katsayısı durumları nedeniyle bu analiz yönteminde kompozit bir ivme spektrumu oluşmaktadır. Kompozit tasarım ivme spektrumu için örnek Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Kompozit Tasarım İvme Spektrumu [50]

5.1.1.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi

TBDY-2018'in 14.14.1.3 maddesine göre söz konusu yöntem, yapıların tamamında uygulanabilir niteliktedir. Ancak, sismik yalıtımlı yapılarda "Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi" uygulanırken bazı kritik ve önemli teknik detayların dikkate alınması gerekmektedir.

Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde basit ölçeklendirme yöntemi kullanılırken, madde 2.5.2.1. (b) bendinde şu açıklama yer almaktadır: “Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, 2.3.4 veya 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Bu periyot aralığı yalıtımlı binalar için değişebilir. Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılacaktır.”

TBDY-2018'in 14.14.4.2 maddesine göre ise söz konusu periyotlar şu şekilde değiştirilmiştir:

- $0.2T_p$ Değeri yerini $0.5T_M$ (T_M en büyük yer değiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu)
- $1.5T_p$ Değeri yerini $1.25T_M$ (T_M en büyük yer değiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu)

Deprem Kayıtlarının Seçimi TBDY-2018 madde 2.5.1.1. ile açıklanmaktadır. Deprem kayıtları seçilirken tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay hattına olan uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak seçim işlemi yapılacaktır. Sahaya özel deprem tehlikesine en fazla katkıda bulunan depremlere ait büyüklük ve fay uzaklığı bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayrıştırma işleminden yararlanılabilir.

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yönteminin tercih edilmesi durumunda, sahaya özgü deprem kayıtlarının oluşturulması gereklilik arz eder. Bu bağlamda, saha özelinde zemin davranış analizlerinin gerçekleştirilmesi şarttır. Analiz süreci, jeoloji mühendisi ve TGUA-1 belgesine sahip yüksek inşaat mühendisinin teknik yetkinlikleri doğrultusunda yürütülmelidir.

Projenin teknik gereksinimleri kapsamında, sismik yalıtımlı yapının kontrolünden sorumlu yüksek mühendis ile statik proje müellifinin koordineli çalışması, her ne kadar mevzuatta zorunlu tutulmasa da metodolojik açıdan kritik önem taşımaktadır. Bu entegre yaklaşım, projenin teknik doğruluğunu ve güvenilirliğini optimize etmektedir.

Elastomer Sismik İzolatörlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

5.1.2. Elastomer Yalıtım Birimleri Alt ve Üst İndis Hesabı

Elastomer birimlerde kullanılacak alt ve üst sınır değerler TBDY-2018 Madde 14.12.1'de belirtilmektedir. Hesap edilen sınır değerler öngörülen deplasman hesabında katsayı olarak kullanılır. İlgili Sınır değerler tablosu Tablo 5.3'te verilmiştir.

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt} \quad (5.1)$$

$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst} \quad (5.2)$$

Tablo 5.3. Elastomer Yalıtım Birimleri Dayanım ve Rijitlik Parametreleri Sınır Öneri Değerleri [2]

	Tip	F _Q		k ₂	
		Alt	Üst	Alt	Üst
λ_{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.40
λ_{deney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30
λ_{spek}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15

λ_{alt} = Alt İndis Katsayısı

$\lambda_{üst}$ = Üst İndis Katsayısı

λ_{ae} = Yaşlanma ve Çevresel Etkiler

λ_{deney} = Yükleme Hızı ve Isınma Gibi Etkiler

λ_{spek} = Üretimdeki Değişkenlikler Nedeni

5.1.3. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Şekil değiştirme Sınırları

Elastomer birimlerin deprem, sabit yükler ve hareketli yükler altında oluşacak birim şekil değiştirme ve kararlılık durumlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontroller TBDY-2018 Madde 14.12.2.2'ye göre 3 ana başlıkta yapılmaktadır.

(a) Basıncıtan meydana gelen açısal şekil değiştirme

$$\gamma_{c,st} = \frac{6 S P_{K1}}{A_r E_c} \quad (5.3)$$

P_{K1} = Kombinasyondan gelen eksenel kuvvet (1.4G+1.6Q)

A_r = Tek bir elastomer katmanın çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı

E_c = Elastomer yalıtım modülünün basınç birimi

- (b) Deprem dışındaki diğer etkilere (genleşme, rüzgâr vb.) oluşacak yatay yer değiştirmeden meydana gelen açısal şekil değiştirme

$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta_s}{T_r} \quad (5.4)$$

Δ_s = Yer değiştirme değeri

T_r = Elastomer katmanların toplam kalınlığı

- (c) Yalıtım birimi üst ve alt plakaları arasındaki göreceli dönmeye meydana gelen birim şekil değiştirme

$$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 \theta_s}{2tT_r} \quad (5.5)$$

B = Çelik plakaya yapışmış olan elastomer çarpanı

t = Elastomer katman kalınlığı

θ_s = Tasarım dönme açısı

DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerinde, deprem etkisi ve düşey yük etkileri altında elastomer malzemede oluşacak birim şekil değiştirme değerlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontroller TBDY-2018 Madde 14.12.2.3'e göre 2 ana başlıkta yapılmaktadır. İlgili şekil değiştirmelerin gösterimi Şekil 5.2'de verilmiştir.

- (a) DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekil değiştirme

$$\gamma_{c,E} = \frac{6 S P_{K2}}{A_{rc} E_c} \quad (5.6)$$

P_{K1} = Kombinasyondan gelen eksenel kuvvet ($1.2G+Q \pm E_d$)

A_{rc} = Tek bir elastomer katmanın çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı

(b) DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında oluşan yatay yer değiştirmeden meydana gelen birim şekil değiştirme

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} \quad (5.7)$$

D = Deprem yer hareketi düzeyinde meydana gelen yatay yer değiştirme

T_r = Elastomer katmanların toplam kalınlığı

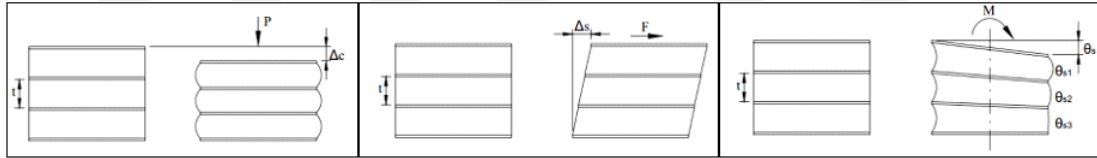
5.3, 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7 formülleri ile hesaplanan değerlerin 5.8, 5.9, 5.10 ve 5.11 değerleri ile sınırlanan değerleri sağlamaları gerekmektedir.

$$\gamma_{c,st} \leq 3.5 \text{ veya } \gamma_{c,st} < \varepsilon_b/3 \quad (5.8)$$

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5.0 \text{ veya } \gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} < 0.75\varepsilon_b \quad (4.9)$$

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0.5 \gamma_{r,st} \leq 6.0 \quad (5.10)$$

$$\gamma_{s,E} \leq 2.0 \quad (5.11)$$



Şekil 5.2. Yalıtım Birimleri İlgili Koşul Durumları (Sırasıyla a-b-c) [2]

5.2.2. Elastomer Yalıtım Birimlerinin Düşey Kararlılığı

Elastomer birimlerin yatay yer değiştirme olmadığı durumlarda burkulma yükü hesabı yapılmaktadır. Hesaplamalarda kullanılacak Burkulma yükü farklı tipler için aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. Düşey kararlılığı sağlayan alana ait gösterim Şekil 5.3'te verilmiştir.

- Dairesel kesitli kurşun çekirdek içermeyen izolatörler için burkulma yükü:

$$P_{cr} = 0.218 G_V B^4 / (t T_r) \quad (5.12)$$

- Kare kesitli kurşun çekirdek içermeyen izolatörler için burkulma yükü:

$$P_{cr} = \frac{0.34 G_V B^4}{t T_r} \quad (5.13)$$

- Kurşun çekirdekli izolatörler için burkulma yükü:

$$P_{cr} = 0.218 \frac{G_V B^4}{t T_r} * \frac{\left(1 - \frac{B_L}{B}\right) \left(1 - \frac{B_L^2}{B^2}\right)}{1 + \frac{B_L^2}{B^2}} \quad (5.14)$$

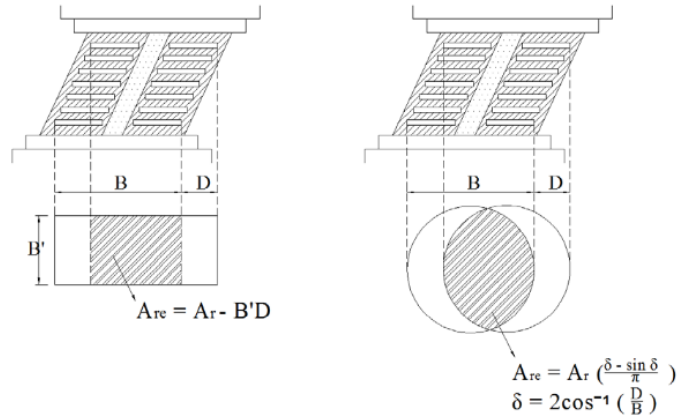
G_V = Elastomer malzeme kayma modülü

B_L = Kurşun çekirdek çapı

B = İzolatör Çapı veya İzolatör boyu

$$P'_{cr} = P_{cr} (A_{re}/A) \quad (5.15)$$

A_{re} = Deplasman durumunda en alt ve en üst plakaların izdüşüm kesişim alanı



Şekil 5.3. Deplasman Durumu İzdüşüm Alanı Hesabı [2]

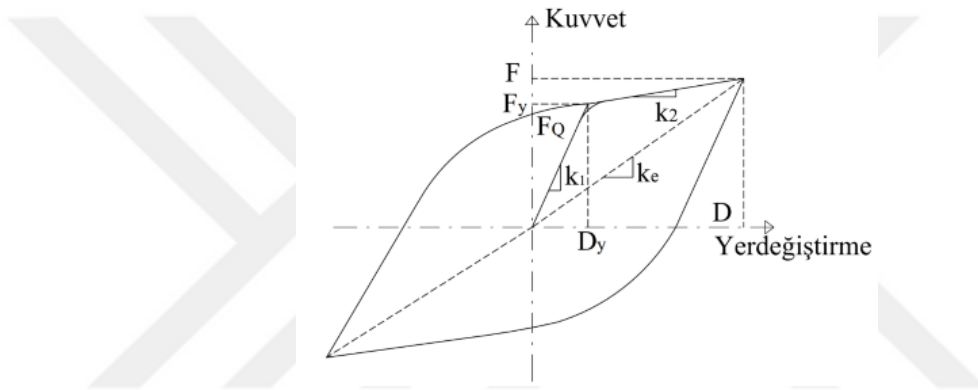
Elastomer yalıtım birimlerinin, birim şekilde değiştirmeye bağlı aksenal yük kapasitesi hesabında kullanılacak Denklem 5.16 ile hesaplanmalıdır. Hesapta kullanılan değer ile TBDY-2018 Madde 14.12.3.4 ve 14.12.3.5’de bulunan sınır değerlerin kontrolünde kullanılmaktadır.

$$P_{str} = \frac{3.5 A_{re} E_c}{6 S} \quad (5.15)$$

$$\frac{\min(P_{cr}, P_{str})}{P_{K1}} \geq 2.0 \quad (5.16)$$

$$\frac{\min(P'_{cr}, P_{str})}{P_{K2}} \geq 1.1 \quad (5.17)$$

5.2.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Tasarımı



Şekil 5.4. Kurşun Çekirdekli İzolatör Yükleme Döngüsü [2]

- F_Q = Karakteristik Dayanım
- k_1 = Elastik Rijitlik (Başlangıç Rijitliği)
- k_2 = Elastik Ötesi Rijitlik (İkincil Rijitlik)
- k_e = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Rijitlik
- F = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Kuvvet
- F_y = Etkin Akma Dayanımı
- D = Hedeflenen Deplasman Değeri
- D_y = Etkin Akma Deplasman Değeri

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin tasarımında kritik parametre, izolatörün merkezindeki kurşun çekirdeğin çapının belirlenmesidir. Kurşun çekirdeğin akma dayanımı, sistemin ilk rijitliğini doğrudan etkilediğinden, başlangıç enerji absorpsiyon kapasitesinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca,

ısı altında kurşun çekirdeğin kauçuk izolatörün mekanik özellikleri üzerinde belirgin değişiklikler meydana getireceği bilinmektedir. [51]

Tasarım için ilk olarak İzolatör şeklinin belirlenmesi gerekmektedir. Kurşun çekirdekli izolatör tasarımlarında genellikle dairesel tip izolatör kullanılmaktadır. Dairesel tip ile Dikdörtgen tip izolatörün ayrıldığı tek nokta izolatörün alanıdır.

Yalıtım biriminin etkin rijitliği (hedeflenen deplasman değerine karşılık gelen rijitlik değeri) Denklem 5.18 ile hesaplanmaktadır.

$$k_e = \frac{F}{D} \quad (5.18)$$

k_e = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Rijitlik
 F = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Kuvvet
 D = Hedeflenen Deplasman Değeri

Kurşun Çekirdekli elastomer yalıtım biriminin elastik ötesi davranışının rijitliğini elastomer malzemenin kayma dayanımı belirler. Elastik rijitlik elastik ötesi rijitliğin 9-10 katı arasında bir değer alınır.

$$k_2 = G_v \frac{A_r}{T_r} \quad (5.19)$$

k_2 = Elastik Ötesi Rijitlik (İkincil Rijitlik)
 G_v = Elastomer Malzeme Kayma Dayanımı
 A_r = Tek Bir Elastomer Katmanın Çelik Plaka ile Yapışmış Yüke Maruz Yüzey Alanı
 T_r = Toplam Elastomer Kalınlık

Dairesel kesitli ve kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimine göre yüke maruz alan hesabı Denklem 5.20 ile yapılmaktadır.

$$A_r = \frac{\pi * (B^2 - B_L^2)}{4} \quad (5.20)$$

- A_r = Tek Bir Elastomer Katmanın Çelik Plaka ile Yapışmış Yüke Maruz Yüzey Alanı
 B = Çelik Plaka İle Yapışmış Elastomer Levha Çapı
 B_L = Kurşun Çekirdek Çapı

Dairesel kesitli elastomer yalıtım birimlerinde şekil katsayısı hesabı Denklem 5.21'e göre yapılır ve elastomer yalıtım biriminin basınç modülünü doğrudan etkiler.

$$S = \frac{(B^2 - B_L^2)}{4Bt} \quad (5.21)$$

- S = Şekil Katsayısı
 B = Çelik Plaka İle Yapışmış Elastomer Levha Çapı
 B_L = Kurşun Çekirdek Çapı
 t = Elastomer Katman Kalınlığı

Elastomer yalıtım biriminin basınç modülünün hesabı Denklem 5.22 ile yapılmaktadır ve basınç modülü birim şekil değiştirme sınır kontrol hesaplarında ve düşey kararlılık hesabında kullanılır.

$$E_c = E_0 * (1 + 2kS^2) \quad (5.22)$$

- E_c = Elastomer Yalıtım Birimi Basınç Modülü
 E_0 = Elastomer Esneklik Modülü
 k = Kauçuk Malzemenin Sertlik Değeri (0.75-0.60-0.55 TBDY 2018)
 S = Elastomer Şekil Katsayısı

Kauçuk malzemenin esneklik modülü Denklem 5.23 bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$E_0 = 4 * G_v \quad (5.23)$$

E_0 = Elastomer Esneklik Modülü
 G_v = Elastomer Malzeme Kayma Dayanımı

Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitlik modülü hesabı Denklem 5.24 ile hesaplanmaktadır. Düşey rijitlik modülü düşey rijitliğin hesabında kullanılır.

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} \quad (5.24)$$

E_v = Düşey Rijitlik Modülü
 E_c = Elastomer Yalıtım Birimi Basınç Modülü
 K = Kauçuk Malzeme Hacim Modülü (2000 N/mm² TBDY-2018)

Elastomer Yalıtım birimlerinin düşey rijitliği Denklem 5.25 ile hesaplanmaktadır.

$$k_v = \frac{E_v * A_r}{T_r} \quad (5.25)$$

k_v = Elastik Rijitlik (Başlangıç Rijitliği)
 E_v = Düşey Rijitlik Modülü
 A_r = Tek Bir Elastomer Katmanın Çelik Plaka ile Yapışmış Yüke Maruz Yüzey Alanı
 T_r = Toplam Elastomer Kalınlık

Elastomer yalıtım biriminin karakteristik dayanımı Denklem 5.26 ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplanan değer alt ve üst indisler ile düzenlenerek hedeflenen deplasman hesabında kullanılmaktadır.

$$F_Q = A_p \tau_{yp} \quad (5.26)$$

F_Q = Karakteristik Dayanım

A_p = Kurşun Çekirdek Yalıtım Alanı
 τ_{yp} = Kurşun Malzemenin Kayma Akma Gerilmesi

Elastomer yalıtım birimlerinde etkin sönüm oranı Denklem 5.27 ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplanan değer ölçeklendirme katsayısının hesabında kullanılır. Ve doğrudan hedeflenen (beklenen) deplasman değerini etkiler. Sönüm oranının en yüksek değeri %30 olarak kabul edilir ve işlemlerde %30 üstü bulunan sönümlerde %30 sönüm oranı seçilerek işlemlere devam edilir.

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] \quad (5.27)$$

β_e = Etkin Sönüm Oranı
 W_d = tüketilen Enerji Mktarı
 F = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Kuvvet
 D = Hedeflenen Deplasman Değeri

5.3. Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sismik İzolatörlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

5.3.1. Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri Alt ve Üst İndis Hesabı

Eğri yüzeyleli sürtünmeli birimlerde kullanılacak alt ve üst sınır değerler TBDY-2018 Madde 14.13.1’de belirtilmektedir. Hesap edilen sınır değerler öngörülen deplasman hesabında katsayı olarak kullanılır. (Kullanılan Alt-Üst Katsayı Denklemi” Elastomer Yalıtım Birimleri için olan denklemin aynısıdır.) Al ve Üst indis hesabında kullanılacak formüller Denklem 5.1 ve Denklem 5.2 olarak verilmiştir. Al ve Üst indis değerlerin seçiminde kullanılan tablo Tablo 5.4. olarak verilmiştir.

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt} \quad (5.1)$$

$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst} \quad (5.2)$$

Tablo 5.4. Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimleri için Alt ve Üst Sınır Öneri Değerleri

	μ	
	Alt	Üst
λ_{ae}	1.00	1.20
λ_{deney}	0.70	1.30
λ_{spek}	0.85	1.15

μ = Eğri yüzeyli Sürtünmeli Yalıtım Birimi Etkin Sürtünme Katsayısı [2]

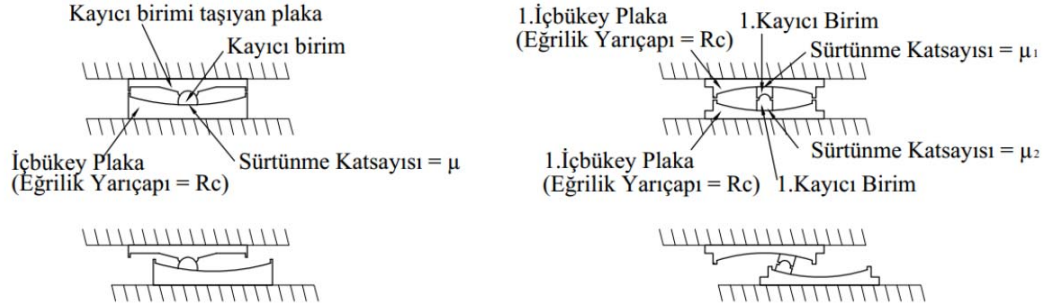
λ_{alt} = Alt İndis Katsayısı

$\lambda_{üst}$ = Üst İndis Katsayısı

λ_{ae} = Yaşlanma ve Çevresel Etkiler

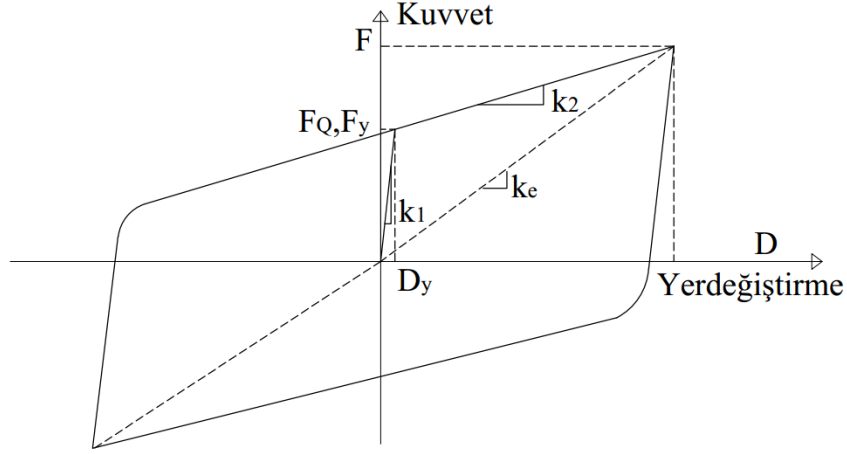
λ_{deney} = Yükleme Hızı ve Isınma Gibi Etkiler

λ_{spek} = Üretimdeki Değişkenlikler Nedeni



Şekil 5.5. Yüzeylerin “ μ ” Değerlerinin Belirlenmesi [2]

5.3.2. Tek Eğri Yüzeyle Sürtünmeli Yalıtım Tasarımı



Şekil 5.6. Eğri Yüzeyle Sürtünmeli İzolatör Yükleme Döngüsü [2]

- F_Q = Karakteristik Dayanım
 k_1 = Elastik Rijitlik (Başlangıç Rijitliği)
 k_2 = Elastik Ötesi Rijitlik (İkincil Rijitlik)
 k_e = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Rijitlik
 F = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Kuvvet
 F_y = Etkin Akma Dayanımı
 D = Hedeflenen Deplasman Değeri
 D_y = Etkin Akma Deplasman Değeri

Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı ile etkin akma dayanımı TBDY-2018 madde 14B.2. belirtildiği üzere eşit olarak alınmalıdır. Yer değiştirmenin olmadığı durumda etkin sürtünme katsayısı “ μ_e ” ve yalıtım birimi üzerine etkiyen düşey kuvvetin çarpımı Yalıtım biriminin karakteristik dayanımını ve etkin akma dayanımını belirler. Hesabın Denklemi 5.28’de verilmiştir.

$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad (5.28)$$

- F_Q = Karakteristik Dayanım
 F_y = Etkin Akma Dayanımı

- μ_e = Erkin Sürtünme Katsayısı
 P = Yalıtım Biriminin Üstündeki Düşey Kuvvet

Başlangıç rijitliği TBDY-2018 madde 14B.3'te belirtildiği üzere hesaplarda çok yüksek bir değer olan sanal bir rijitlik değeri olarak alınır. Elastik ötesi rijitliğin hesap denklemi ise Denklem 4.29 da verilmektedir.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad (5.29)$$

- k_2 = Elastik Ötesi Rijitlik (İkincil Rijitlik)
 P = Yalıtım Biriminin Üstündeki Düşey Kuvvet
 R_c = Yalıtım Birimi Kayma Yüzeylerinin Etkin Eğrilik Yarıçapı

Yükleme döngüsündeki etkin rijitlik değeri hedeflenen deplasman değeri için uygulanan kuvvet değerinin hedeflenen deplasmana bölümüyle hesaplanır. Yüklem döngüsünden çıkartılan denkleme göre (Denklem 5.30) erkin rijitlik değeri matematiksel olarak hesaplanabilmektedir.

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e * P}{D} \quad (5.30)$$

- k_e = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Rijitlik
 F = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Kuvvet
 D = Hedeflenen Deplasman Değeri
 P = Yalıtım Biriminin Üstündeki Düşey Kuvvet
 R_c = Yalıtım Birimi Kayma Yüzeylerinin Etkin Eğrilik Yarıçapı

Yalıtım biriminin etkin sönüm oranının hesabı tüketilen enerji ile ilişkilidir ve kurşun çekirdekli elastomer izolatörler hesap denklemi (Denklem 4.27) ile aynıdır. Farklılığı oluşturan durum etkin sürtünme katsayısı ve eğrilik yarıçapı ile denklem genişletilmiştir. %30 üzeri etkin sönüm oranının oluşmama kıssası bu tip izolatörler

içinde geçerlidir. Etkin sönüm ölçeklendirme katsayısı 0.535 olarak en yüksek değerini taşır.

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + \frac{D}{R_c}} \right] \quad (5.31)$$

β_e = Etkin Sönüm Oranı

W_d = tüketilen Enerji Mktarı

F = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Kuvvet

D = Hedeflenen Deplasman Değeri

μ_e = Erkin Sürtünme Katsayısı

R_c = Yalıtım Birimi Kayma Yüzeylerinin Etkin Eğrilik Yarıçapı

6. SAYISAL MODEL VE ANALİZLER

6.1. Sayısal Modeller Hakkında Bilgilendirme

Bu çalışmada, iki farklı yapı üzerinde kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve tek eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatör kullanılarak, iki farklı zemin tipinde yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler, SAP2000 ve Protastructure 2025 programlarında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile yapılmıştır. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden alınan DD-1 ve DD-2 durumları için ZB ve ZC zemin sınıflarına göre elde edilen spektral parametreler Tablo 6.7 ve Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında ele alınan yapılar, gerçek binalara dayandırılmış olup, çalışmanın amacına uygun şekilde bazı mimari değişiklikler yapılarak örnek model haline dönüştürülmüştür. Kamuda yaygın olarak kullanılan betonarme yapı tiplerini en iyi şekilde temsil edebilmesi düşünülerek seçilen bu modeller, farklı işlevlere sahip iki yapıdan oluşmaktadır. Kamuda farklı amaçlarla kullanılan (öğrenci yurdu, sosyal güvenlik merkezi) binaları temsil etmesi amacıyla 2 model belirlenmiştir. Her iki yapının teknik ve mimari detaylarına ilişkin kapsamlı bilgiler Tablo 6.1’de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Deprem yalıtımı açısından kritik öneme sahip olan izolatörler, yapıların her ikisinde de bodrum kat seviyesinde yer alan kirişlerin alt kotunda modellenmiştir.

Yapıların gerçek konumları dikkate alınmış ve faya yakınlık durumu analizlerde göz önünde bulundurulmuştur. Zeminin yapı davranışına etkisini gözlemlmek amacıyla zemin sınıfları ZB ve ZC olarak değiştirilmiştir.

Deprem kayıtlarının tamamı, "Pacific Earthquake Engineering Research Center"dan elde edilmiştir. Kayıtların ölçeklendirilmesi Excel kullanılarak yapılmış; hedef spektrumların oluşturulması, ivme kayıtlarının ölçeklendirilir zaman aralıklarına dönüştürülmesi ve deprem kayıtlarında analiz sürelerinin kısaltılması işlemleri ise Seismosignal ve Seismomatch programları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Deprem kayıtları, ortalama kayma dalgası hızının zemin

sınıflarındaki değişkenliği nedeniyle tüm modellerde mümkün olduğunca benzer seçilmiştir.

Yapıların ölü ve hareketli yükleri mimari durumlar incelenerek belirlenmiş, hareketli yük katılım katsayıları ise yapıların mimari özelliklerine göre seçilmiştir.

Çalışma ile ortaya koyulmak istenen şunlardır;

- İzolatör tip seçiminin performans farklılıklarını incelemek
- Zemin sınıflarının yapı davranışına etkilerini değerlendirmek
- Yapı geometrilerinin simetriden uzaklaşması durumlarını analiz etmek

Tablo 6.1. Model-1 Yapı Bilgileri

Yapı Bilgileri	Detay	Birim	Sayısal Değer
Performans Beklentisi	Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi (KK)		
Kat Adeti	1 Bodrum + 5 Normal + Merdiven Kulesi	Adet	7
Kat Yükseklikleri	Bodrum	cm	450
	1. Kat - 2. Kat - 3. Kat - 4. Kat - 5. Kat	cm	300
	Merdiven Kulesi	cm	300
Yapı Toplam Yüksekliği	Temel Üstü - Merdiven Kulesi Üstü	cm	22500
Kolon Boyutları	Tüm Yapıda Aynı Tip Kullanılmıştır	cm	60x60
Kiriş Boyutları	X Yönünde	cm	30x50
	Y Yönünde	cm	30x60
Döşeme Kalınlığı		cm	15
İzolatör Yerleşim Üst Kotu	Kiriş Altı Seviyesi	cm	-60

Tablo 6.2. Model-2 Yapı Bilgileri

Yapı Bilgileri	Detay	Birim	Sayısal Değer
Performans Beklentisi	Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi (KK)		
Kat Adeti	1 Bodrum + 4 Normal + Merdiven Kulesi	Adet	7
Kat Yükseklikleri	Bodrum	cm	400
	1. Kat - 2. Kat - 3. Kat - 4. Kat	cm	350
	Merdiven Kulesi	cm	300
Yapı Toplam Yüksekliği	Temel Üstü - Merdiven Kulesi Üstü	cm	2100
Kolon Boyutları	Tüm Yapıda Aynı Tip Kullanılmıştır	cm	50x50
Kiriş Boyutları	X Yönünde	cm	30x50
	Y Yönünde	cm	30x50
Döşeme Kalınlığı		cm	15
İzolatör Yerleşim Üst Kotu	Kiriş Altı Seviyesi	cm	-50

Tablo 6.3. Model-1 Malzeme Bilgileri

Tasarım Parametreleri	Kullanım Yeri ve Detay	Sembol	Birim	Sayısal Değer
Beton Sınıfı	Kolon (60 cm x 60 cm)	C	N/mm ²	C35/45
	Kiriş (30 cm x 50 cm)	C	N/mm ²	C35/45
	Kiriş (30 cm x 60 cm)	C	N/mm ²	C35/45
	Tabliye (15 cm)	C	N/mm ²	C35/45
Birim Hacim Ağırlığı		ρ	kN/m ³	25
Elastisite Modülü		E	N/mm ²	33000
Poisson Oranı		U		0.2
Genleşme Katsayısı		A		1x10 ⁻⁵
Kayma Modülü		G		13750
Donatı Sınıfı	Kolon (60 cm x 60 cm)			B420C
	Kiriş (30 cm x 50 cm)			B420C
	Kiriş (30 cm x 60 cm)			B420C
	Tabliye (15 cm)			B420C
Elastisite Modülü		E _c	N/mm	200000
Genleşme Katsayısı		A		1.17x10 ⁻⁵
Akma Dayanımı		F _y	N/mm ²	420
Çekme Dayanımı		F _u	N/mm ²	500
Beklenen Akma Dayanımı	%20 artış	F _{ye}	N/mm ²	504
Beklenen Çekme Dayanımı	%20 artış	F _{ue}	N/mm ²	600

Tablo 6.4. Model-2 Malzeme Bilgileri

Tasarım Parametreleri	Kullanım Yeri ve Detay	Sembol	Birim	Sayısal Değer
Beton Sınıfı	Kolon (50 cm x 50 cm)	C	N/mm ²	C35/45
	Kiriş (30 cm x 50 cm)	C	N/mm ²	C35/45
	Tabliye (15 cm)	C	N/mm ²	C35/45
Birim Hacim Ağırlığı		ρ	kN/m ³	25
Elastisite Modülü		E	N/mm ²	33000
Poisson Oranı		U		0.2
Genleşme Katsayısı		A		1x10 ⁻⁵
Kayma Modülü		G		13750
Donatı Sınıfı	Kolon (50 cm x 50 cm)			B420C
	Kiriş (30 cm x 50 cm)			B420C
	Tabliye (15 cm)			B420C
Elastisite Modülü		E _c	N/mm ²	200000
Genleşme Katsayısı		A		1.17x10 ⁻⁵

Akma Dayanımı		F_y	N/mm^2	420
Çekme Dayanımı		F_u	N/mm^2	500
Beklenen Akma Dayanımı	%20 artış	F_{ye}	N/mm^2	504
Beklenen Çekme Dayanımı	%20 artış	F_{ue}	N/mm^2	600

Tablo 6.5. Analiz Modelleri Hakkında Bilgilendirme

Tasarım Parametreleri	Detay	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Üst Yapı	DD-2
	Alt Yapı	DD-1
Zemin Sınıfı	KOY Model-1 LRB	ZB
	KOY Model-2 LRB	ZC
	KOY Model-1 FPB	ZB
	KOY Model-2 FPB	ZC
	SGM Model-1 LRB	ZB
	SGM Model-2 LRB	ZC
	SGM Model-1 FPB	ZB
	SGM Model-2 FPB	ZC

Tablo 6.6. Tasarım Yüklemeleri

Model Bilgisi	Yük Parametreleri	Sembol	Birim	Değer
Model-1	Ölü Yük (Kenar Tabliye)	G	kN/mm^2	2.50
	Ölü Yük (Orta Tabliye)	G	kN/mm^2	2.50
	Ölü Yük (Çatı)	G	kN/mm^2	3.50
	Hareketli Yük (Kenar Tabliye)	Q	kN/mm^2	3.50
	Hareketli Yük (Orta Tabliye)	Q	kN/mm^2	5.00
	Hareketli Yük (Çatı)	Q	kN/mm^2	1.50
	Kar Yükü	S	kN/mm^2	1.10
Model-2	Ölü Yük (Oda Tabliye)	G	kN/mm^2	2.50
	Ölü Yük (Hol Tabliye)	G	kN/mm^2	2.50
	Ölü Yük (Çatı)	G	kN/mm^2	3.50
	Hareketli Yük (Oda Tabliye)	Q	kN/mm^2	3.50
	Hareketli Yük (Hol Tabliye)	Q	kN/mm^2	5.00
	Hareketli Yük (Çatı)	Q	kN/mm^2	1.50
	Kar Yükü	S	kN/mm^2	1.10

Tablo 6.7. Model-1 Hedef Spektrum Spektral Parametreler

Zemin Sınıfı	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Tanım	Sembol	Birim	Değer
ZB	DD-1	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	-	1.800
		1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	-	0.439
		En Büyük Yer İvmesi	PGA	g	0.732
		En büyük Yer Hızı	PGV	cm/sn	43.021
		Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	-	0.900
		1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	-	0.800
		Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	-	1.620
		1.0 Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	-	0.351
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_A	sn	0.043
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_B	sn	0.217
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{AD}	sn	0.014
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{BD}	sn	0.072
ZC	DD-1	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	-	1.800
		1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	-	0.439
		En Büyük Yer İvmesi	PGA	g	0.732
		En büyük Yer Hızı	PGV	cm/sn	43.021
		Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	-	1.200
		1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	-	1.500
		Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	-	2.160
		1.0 Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	-	0.659
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_A	sn	0.061
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_B	sn	0.305
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{AD}	sn	0.020
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{BD}	sn	0.102
ZB	DD-2	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	-	0.962
		1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	-	0.224
		En Büyük Yer İvmesi	PGA	g	0.406
		En büyük Yer Hızı	PGV	cm/sn	22.537
		Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	-	0.900
		1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	-	0.800
		Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	-	0.866
		1.0 Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	-	0.179
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_A	sn	0.041
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_B	sn	0.207
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{AD}	sn	0.014
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{BD}	sn	0.069
ZC	DD-2	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	-	0.962
		1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	-	0.224
		En Büyük Yer İvmesi	PGA	g	0.406
		En büyük Yer Hızı	PGV	cm/sn	22.537
		Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	-	1.200
		1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	-	1.500
		Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	-	1.154
		1.0 Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	-	0.336
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_A	sn	0.058
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_B	sn	0.291
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{AD}	sn	0.019
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{BD}	sn	0.097

Tablo 6.8. Model-2 Hedef Spektrum Spektral Parametreler

Zemin Sınıfı	Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Tanım	Sembol	Birim	Değer
ZB	DD-1	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	-	1.734
		1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	-	0.421
		En Büyük Yer İvmesi	PGA	g	0.704
		En büyük Yer Hızı	PGV	cm/sn	41.174
		Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	-	0.900
		1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	-	0.800
		Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	-	1.561
		1.0 Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	-	0.337
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_A	sn	0.043
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_B	sn	0.216
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{AD}	sn	0.014
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{BD}	sn	0.072
ZC	DD-1	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	-	1.734
		1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	-	0.421
		En Büyük Yer İvmesi	PGA	g	0.704
		En büyük Yer Hızı	PGV	cm/sn	41.174
		Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	-	1.200
		1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	-	1.500
		Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	-	2.081
		1.0 Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	-	0.632
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_A	sn	0.061
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_B	sn	0.303
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{AD}	sn	0.020
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{BD}	sn	0.101
ZB	DD-2	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	-	0.933
		1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	-	0.217
		En Büyük Yer İvmesi	PGA	g	0.393
		En büyük Yer Hızı	PGV	cm/sn	21.727
		Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	-	0.900
		1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	-	0.800
		Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	-	0.840
		1.0 Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	-	0.174
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_A	sn	0.041
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_B	sn	0.207
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{AD}	sn	0.014
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{BD}	sn	0.069
ZC	DD-2	Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_s	-	0.933
		1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	-	0.217
		En Büyük Yer İvmesi	PGA	g	0.393
		En büyük Yer Hızı	PGV	cm/sn	21.727
		Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_s	-	1.200
		1.0 Saniye Periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı	F_1	-	1.500
		Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	-	1.154
		1.0 Saniye Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	-	0.336
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_A	sn	0.058
		Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_B	sn	0.291
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{AD}	sn	0.019
		Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyodu	T_{BD}	sn	0.097

6.2. Sayısal Modelleme

6.2.1. Modellerin Oluşturulması (SAP2000)

Yapı modelleri oluşturulurken, başlangıç aşamasında izolatör yükseklikleri henüz belirlenmediğinden, modellerin alt ve üst kısımları ayrı mesnetlenerek modellemeler gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1. ve Şekil 6.2.). Modellenen yapılara ait kat planları Şekil 6.6. ve Şekil 6.7’de gösterilmiştir. İzolatörler, bodrum kat kolonlarının üst başlığına yakın bir seviyede konumlandırılmıştır.

İzolatör kotunun altında bulunan kolonların (pedastallerin) rijit bir davranış sergilemesi amacıyla, bu kolonların boyutları büyütülmüştür. İzolatör altlarında çerçeve oluşturulamadığı durumlarda, pedastallerde başlık oluşturma veya boyut büyütme gibi uygulamalar, alınabilecek tasarruf yöntemlerinden bazılarıdır. Eğer kaidelerin ebatlarını artırmak mümkün değilse yapı net yüksekliği düşürülerek izolatör kotunun altında kirişler ile bir çerçeve sistem oluşturulur.

Modellemelerde kolonlar ve kirişler çubuk eleman tabliyeler ise kabuk eleman olarak modellenmiştir. Kiriş olarak belirlenen çubuk elemanlarda eksen olarak üst başlık kolonlara sıfırlanarak modelleme oluşturulmuş böylelikle Protastructure ile yapılan modellerdeki modelleme farklılıklarının önüne geçilmiştir.

Üstyapıda ve altyapıda yer alan yapısal elamanlar doğrusal elastik ve etkin rijitlik çarpanları kullanılarak modellenmiştir. İzolatör modellemeleri hakkında detaylı bilgi alt başlıklarda sunulmaktadır.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: C35/45

Material Type: Concrete

Material Grade: C35/45

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 24.9926

Mass per Unit Volume: 2.5485

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 33000000

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.000E-05

Shear Modulus, G: 13750000

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 35000

Expected Concrete Compressive Strength: 35000

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 6.1. Beton Malzeme Tanımlaması

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: B420C

Material Type: Rebar

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9729

Mass per Unit Volume: 7.849

Units: KN, m, C

Uniaxial Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 2.000E+08

Poisson, U: 0

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G:

Other Properties For Rebar Materials

Minimum Yield Stress, F_y: 420000

Minimum Tensile Stress, F_u: 500000

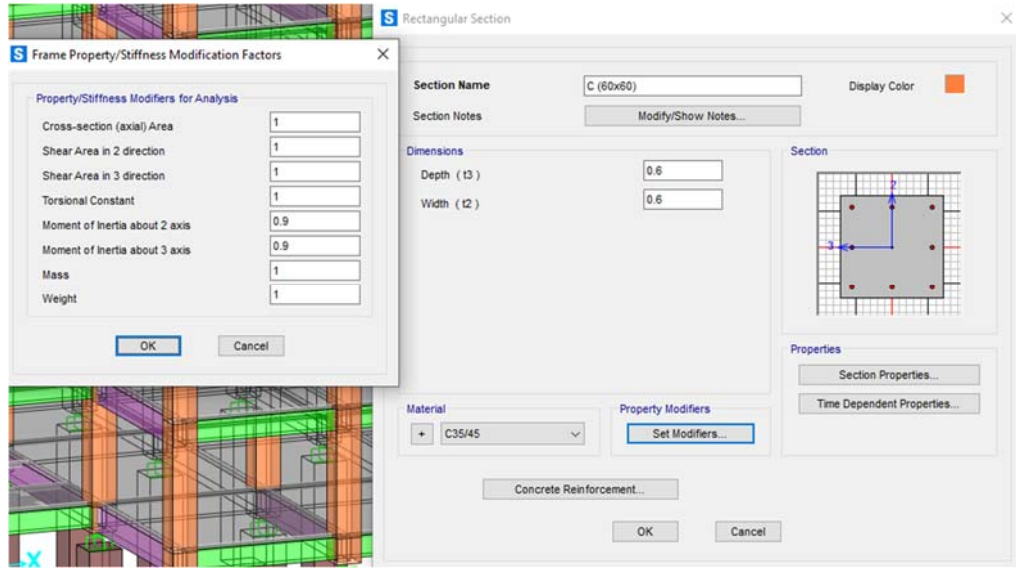
Expected Yield Stress, F_{ye}: 504000

Expected Tensile Stress, F_{ue}: 600000

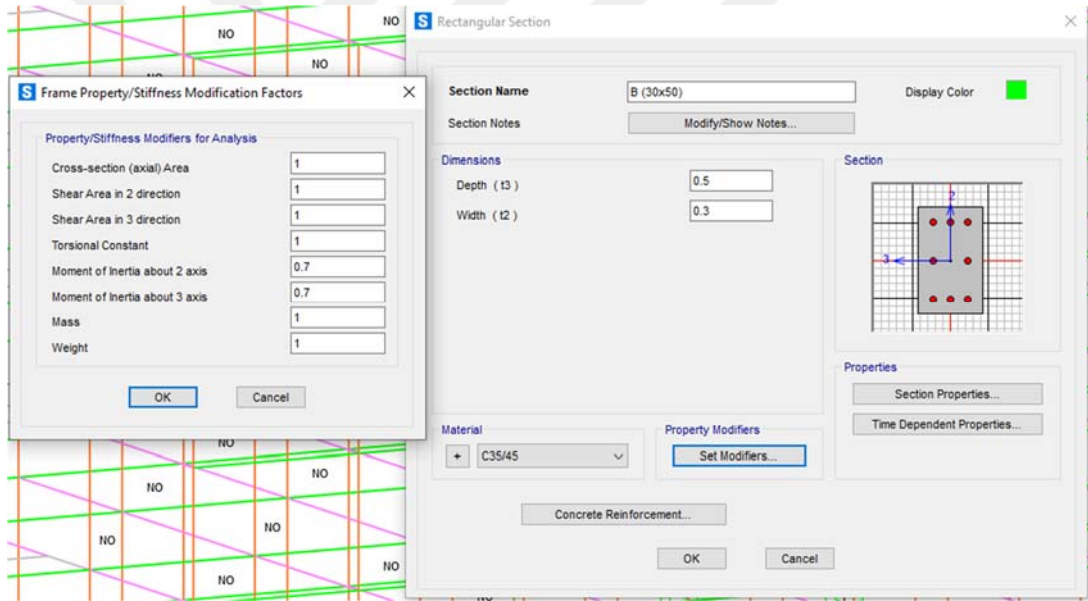
☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

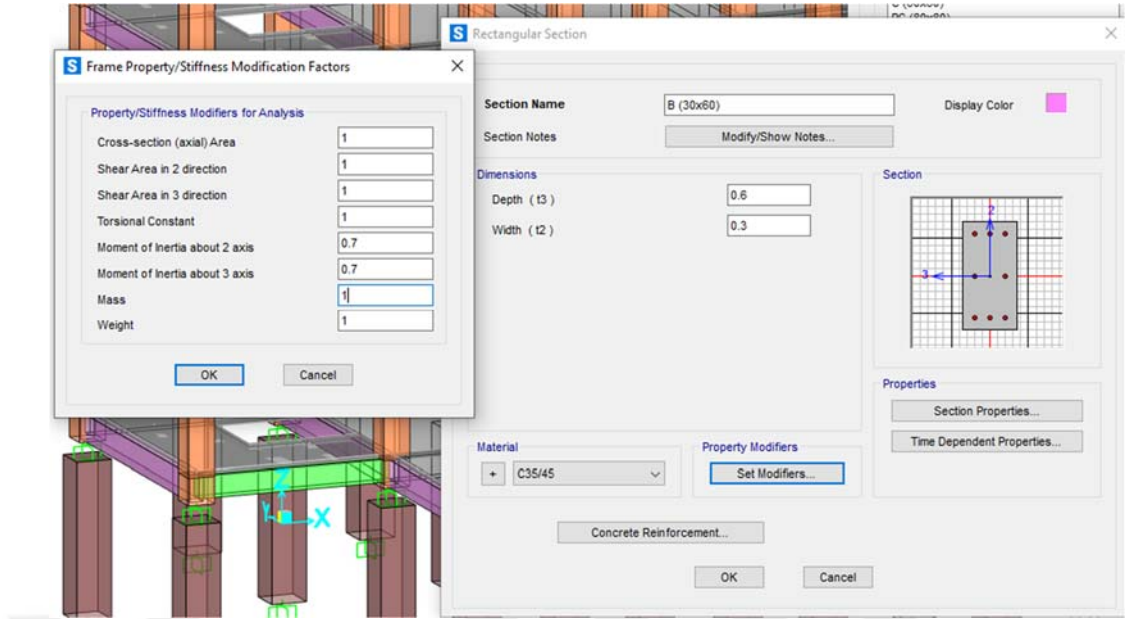
Şekil 6.2. Donatı Malzeme Tanımlaması



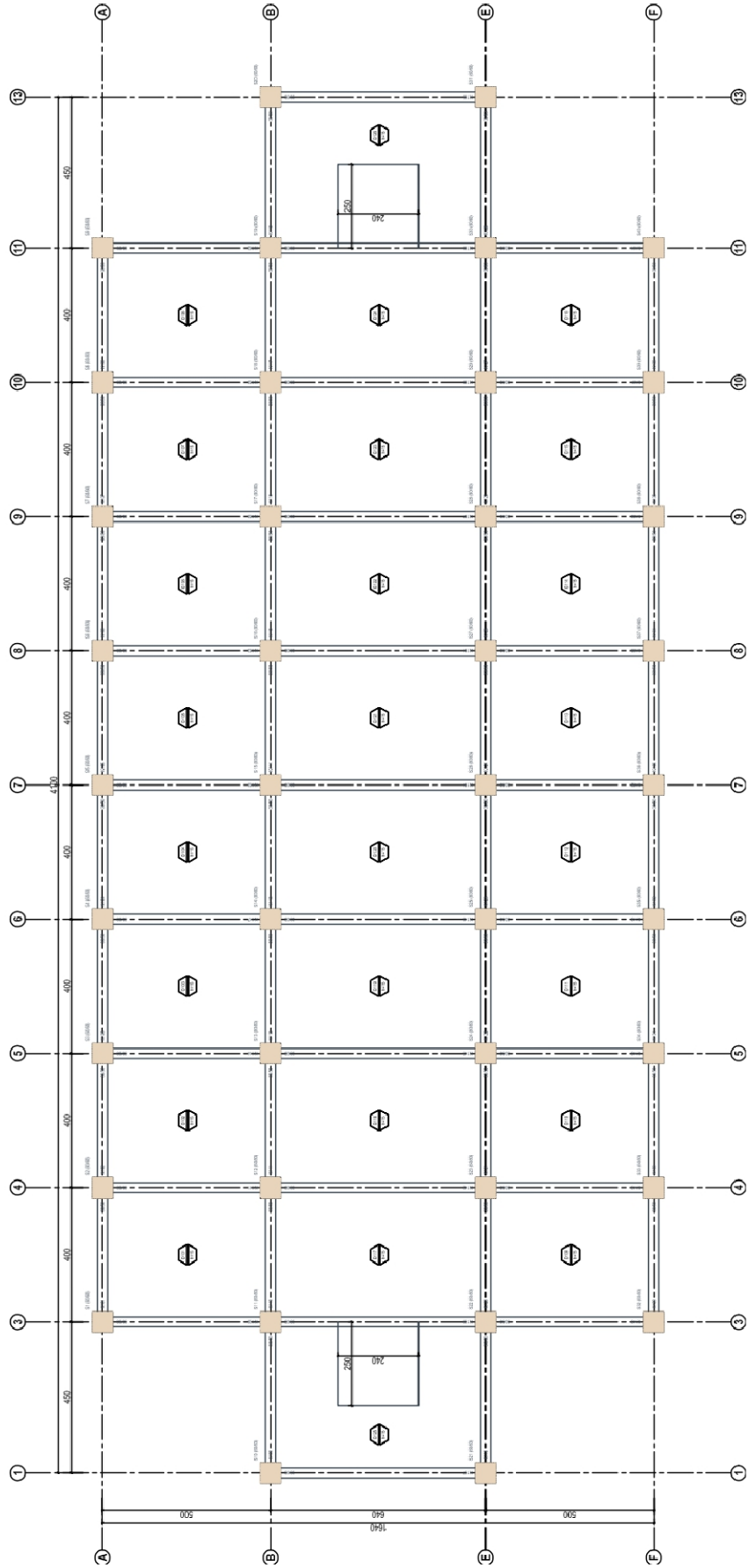
Şekil 6.3. Kolon Etkin Rijitlikleri (Model-1)



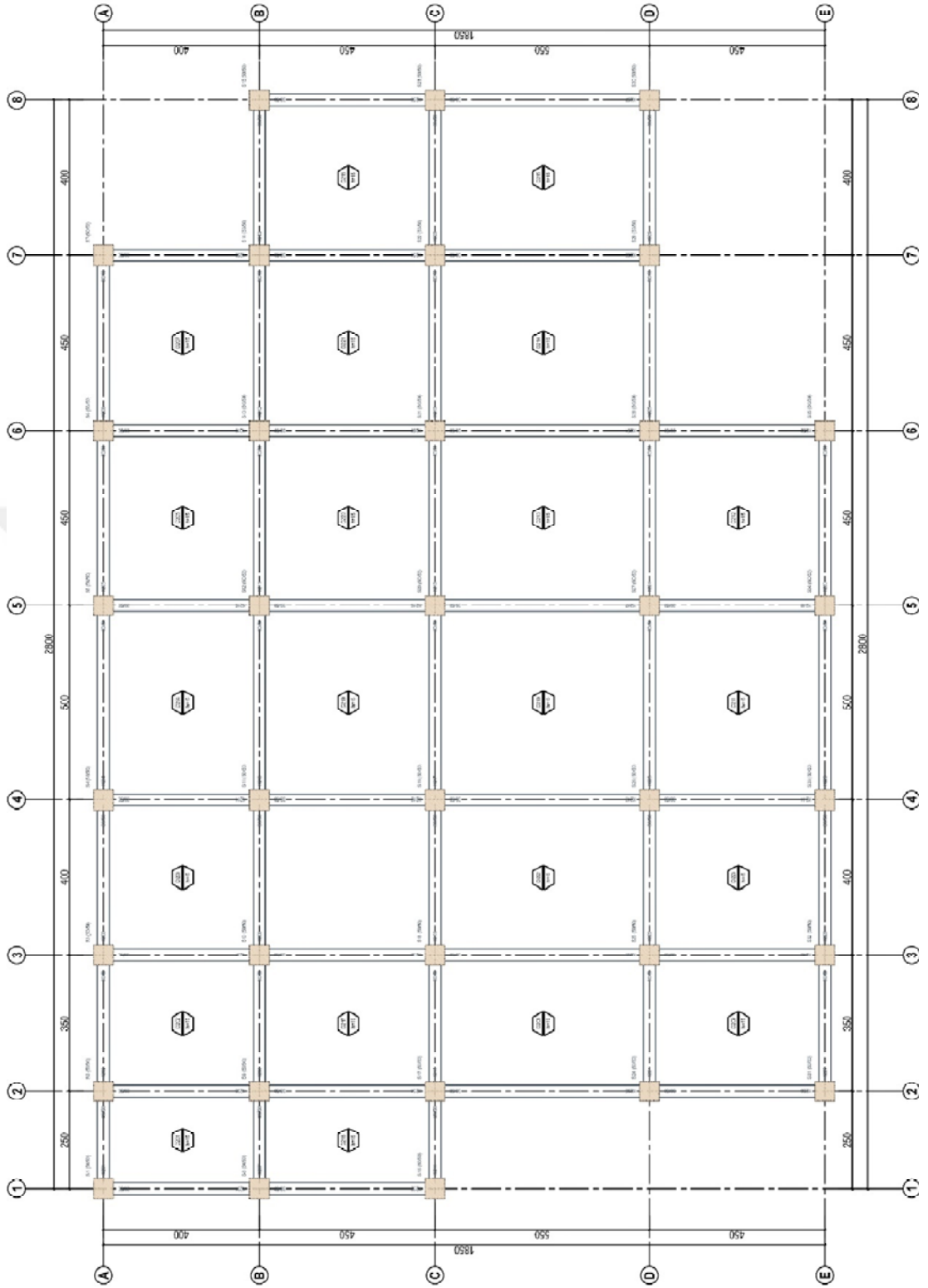
Şekil 6.4. Kiriş Etkin Rijitlikleri (30x50) (Model-1 ve Model-2)



Şekil 6.5. Kiriş Etkin Rijitlikleri (30x60) (Model-1)

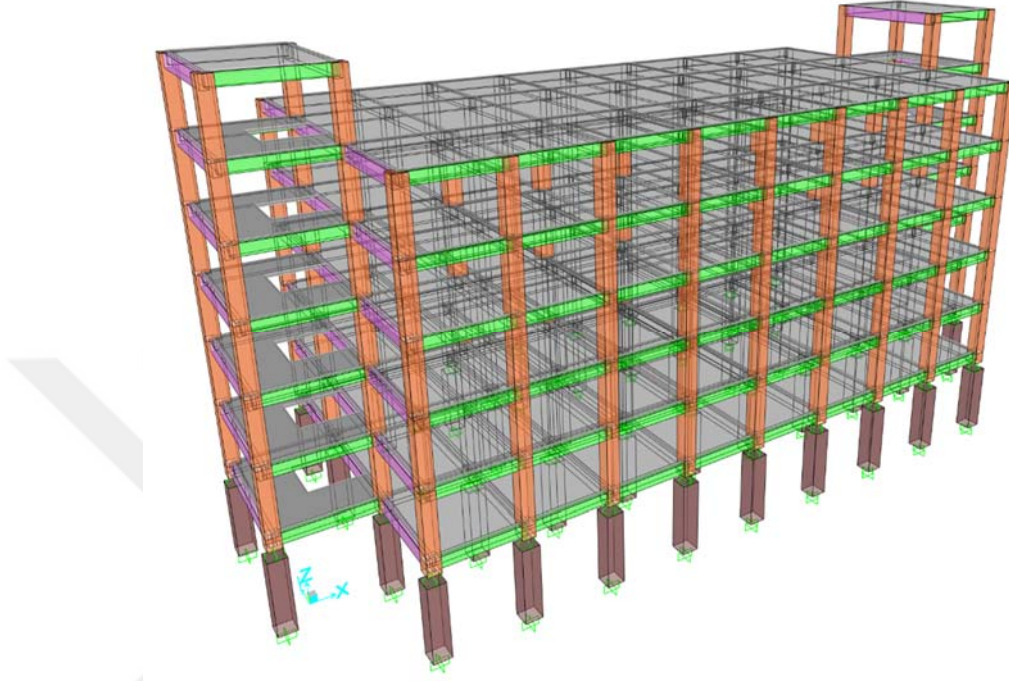


Şekil 6.6. Model-1 Kat Planı

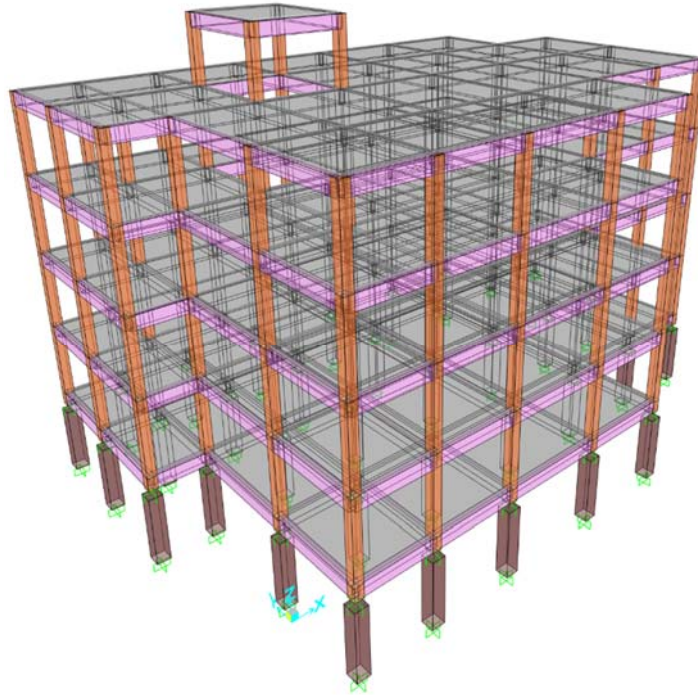


Şekil 6.7. Model-2 Kat Planı

Modellenen yapılar düşey yükler altında deprem ve rüzgâr yükleri yapıya etkililmeden analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında izolatör bulunması gereken mesnetler için sismik izolatörlere düşen yük belirlenmiş ve hedef deplasman bulunarak sismik izolatörlerin tasarımları yapılmıştır. Adım adım yapılan işlemler ve hesaplamalar şu şekildedir.



Şekil 6.8. Model-1 (Sismik İzolatör Tanımlaması Öncesi Modelleme)



Şekil 6.9. Model-2 (Sismik İzolatör Öncesi Modelleme)

Modellemelerin ve ilk analizlerin yapılması sonucu sismik izolatörlerin üzerindeki yapı ağırlıkları Tablo 6.9’da belirtilmiştir.

Tablo 6.9. Üst Yapı Ağırlık Tablosu

Yapı İsimleri	G (kN)	Q (kN)	S (kN)	n	G+nQ (kN)
Model-1	35955.02	12961.6	640.64	0.6	44116.36
Model-2	21646.24	7166.63	482.63	0.6	26235.80

6.2.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlerin (K.Ç.K.İ.) Mekanik Parametrelerinin Belirlenmesi

Elde edilen üst yapı ağırlıkları temel alınarak, izolatör tasarımıımızın ön boyutlandırması ve mekanik özelliklerinin ilk aşaması belirlenmiştir. "Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması" aracılığıyla yapı konumları tespit edilmiş ve ZB ile ZC zemin sınıfları için spektral ivme ve spektrum verileri Excel formatında kaydedilmiştir.

Her iki yapı için kolonlarda bırakılması planlanan izolatör boşlukları belirlenmiş ve ön tasarım aşamasında izolatör boyutlandırması yapılmıştır. İzolatörlerin nihai belirleme süreci, rüzgâr ve deprem gibi dinamik etkilere maruz kaldıklarında şekil değiştirme sınırları içerisinde kalıp kalmadıklarına göre yeniden düzenleneceği için bu aşamada ön boyutlandırmanın ötesine geçilmemelidir. Son aşamada, tüm tasarımı sonlandıran izolatörler için üretici firmalarla görüşmeler yapılarak, tasarımsal modele en yakın gerçekçi model seçilmeli ve tekrar hesaplamalar yapılarak sismik izolatör seçimi sonlandırılmalıdır.

Bu tezde, üç farklı üreticinin teknik broşürleri incelenerek, sağlayabilecek oldukları izolatör mekanik özellikleri skalasında varsayımsal bir tasarım gerçekleştirilmiştir. İzolatörlerin farklı zemin gruplarındaki değişkenliklerinin gözlenebilmesi için bazı parametreler her iki yapıda da sabit tutulmuş ve değişken tutulan parametrelerde farklılıklar incelenmiştir.

Sabit tutulan izolatör parametreleri;

- H : İzolatör Yüksekliği

- H_p : İzolatör Taban ve Tavan Çelik Plaka Kalınlıkları
- B : Çelik Plaka ile Yapışmış Elastomerin Çapı
- t : Elastomer Katman Kalınlığı
- τ_{yp} : Kurşun Malzeme Kayma Akma Gerilmesi
- K : Kauçuk Malzeme Hacim Modülü

Değişken tutulan izolatör parametreleri:

- B_L : Kurşun Çekirdek Çapı
- G_v : Elastomer Malzemenin Kayma Dayanımı
- k : Kauçuk Malzeme Sertlik Değeri

Ön tasarımın hızlı ve basit şekilde gerçekleştirilebilmesi için “Etkin Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılarak hedeflenen deplasman değeri, başlangıç rijitliği değeri, elastik ötesi rijitlik değeri ve kuvvet-yer değıştirme verileri kolay şekilde bulunmuştur. Hesaplanan alt ve üst sınır değeri kullanılarak diğeri deplasman parametreleri de belirlenmiştir.

Etkin Deprem Yüğü Yöntemi, kullanılarak ön boyutlandırmadaki temel mantık hedef seçilen öngörülen deplasman değeri iterasyon yapılarak sönüme bağı deplasman değeri eşitlemektir. Hesaplama aşaması ve uygulama adımları detaylı olarak verilmektedir.

İlk aşamada, ön tasarım için uygun olduğu düşünölen bir deplasman öngörölmüştür. Ardından, bu tasarım deplasmanına bağı kuvvetler belirlenir. Belirlenen kuvvete bağı olarak sönüm katsayısı hesaplanır.

Sonrasında, efektif rijitlik ve yapının periyodu tespit edilir. Tasarım spektrumundan, yapının periyoduna karşılık gelen ivme değeri elde edilir. Çekilen ivme değeriyle, sönüme bağı deplasman hesabı gerçekleştirilir.

Bu süreç, ön görölen deplasmanın sönüme bağı deplasmana yaklaşık olarak eşitlendiğı duruma kadar tekrarlanır. Böylece, iteratif bir yaklaşımla hedeflenen deplasman hesabı bulunmuş olur.

Tezin kapsamlı hesaplama gereksinimlerini karşılamak ve çoklu model analizlerini kolaylaştırmak amacıyla, farklı varyasyonlu izolatörlerin incelenmesine yönelik olarak hızlı hesaplama ve etkin parametre yönetimi sağlayan bir Excel sayfası geliştirilmiştir.

Oluşturulan Excel çalışma sayfasında, izolatörlere ilişkin tüm bilgiler ve hesaplamalar detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sayfasında, renk kodlaması ile hücre grupları farklılaştırılmıştır:

- Mavi yazı tipi ile yazılı hücreler, giriş parametrelerini göstermektedir.
- Sarı yazı tipi ile yazılı hücreler, hesaplanan ve doğrudan veri girişi müdahalesine kapalı hücreleri temsil etmektedir.
- Siyah hücreler, açıklama metinleri ve başlık hücrelerini içermektedir.

İzolatör Hedef Deplasman Hesabı:

İzolatör için ilk etapta bir deplasman hesabı öngörülmüştür. Bu deplasman değerine göre gerekli şekil değiştirmeyi yapabilecek kuvvet hesaplanmaktadır. Kuvvetin bulunabilmesi için aynı zamanda izolatör rijitliklerine ihtiyacımız vardır. İhtiyacımız olan elastik rijitlik, elastik ötesi rijitliğin 10 katı olarak seçilmiştir. Denklem 6.1 ile F_Q değeri hesaplanır. F_y yani etkin akma dayanımı kuvvetinin hesapladığımız kuvvete çok yakın olduğu yönetmeliğimizde belirtilmektedir. Genelde 1.08 - 1.1 kat aralığında değişen bu değer bizim tasarımımızda 1.1 olarak seçilmiştir. Hesaba dair Denklem aşağıdadır.

$$F_y = F_Q * f_k \quad (6.1)$$

F_y = Etkin Akma Dayanımı

F_Q = Karakteristik Dayanım

f_k = Hesap Katsayısı

Kuvvet-Yer değiştirme eğrisinde D_y olarak belirlenen Etkin akma dayanımı değerini sağlayan yer değiştirmenin belirlenmesi için elastik rijitlik değeri ile çarpım yapılmaktadır. Yapılan işlem Denklem 6.2. de yer almaktadır.

$$D_y = F_y * k_1 \quad (6.2)$$

D_y = Etkin Akma Deplasman Değeri
 F_y = Etkin Akma Dayanımı
 k_1 = Elastik Rijitlik (Başlangıç Rijitliği)

Bulunan deplasman değeri, elastik ötesi rijitlik değeri ve yalıtım birimi etkin rijitliği kullanılarak öngörülen yer değiştirmeyi yaptıracak olan kuvvet değeri Denklem 6.3'te hesaplanır. Hesaplanan kuvvet değeri ve tüketilen enerji miktarı kullanılarak Denklem 6.4. ile etkin sönüm oranı hesaplanır.

$$F = k_2(D_{Beklenen}D_y) + F_Q \quad (6.3)$$

F = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Kuvvet
 k_2 = Elastik Ötesi Rijitlik (İkincil Rijitlik)
 $D_{Bekl.}$ = Öngörülen Deplasman Değeri
 D_y = Etkin Akma Deplasman Değeri
 F_Q = Karakteristik Dayanım

Hesaplanan sönüm oranı ile sönüm katsayısı (Denklem 6.4) bulunur. Sönüm katsayısı kullanıldıktan hedeflenen periyot Denklem 4.36 ile elde edilir. Hedeflenen periyot değeri ile tasarım spektrumunda karşılık gelen ivme değeri bulunarak, gerçek deplasman Denklem 6.4 ile hesaplanır.

$$\eta_m = \sqrt{\frac{10}{5 + \beta_e}} \quad (6.4)$$

η_m = Sönüm Ölçeklendirme Katsayısı (DD-1)
 β_e = Etkin Sönüm Oranı

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{g \sum K_{Eff}}} \quad (6.5)$$

T_M = İzolatörlü Sistem Periyodu
 P = Üst Yapı Kütlesi ($G+nQ$)
 g = Yer Çekimi İvmesi
 $\sum K_{eff}$ = Tüm İzolatörlerin Toplam Rijitliği

$$D_M = 1.3 \frac{g}{4\pi^2} T_M^2 \eta_m S_{ae(T_m)} \quad (6.6)$$

D_M = Gerçek İzolatör Deplasmanı
 g = Yer Çekimi İvmesi
 T_M = İzolatörlü Sistem Periyodu
 η_m = Sönüm Ölçeklendirme Katsayısı (DD-1)
 S_{aeT_m} = İzolatörlü Sistem Periyoduna dank ivme değeri

Son olarak sistem hesabında kullanılan tüm değerler alt ve üst sınır değerler ile çarpılarak düzenlenir. Sınır değerli ön tasarım deplasmanları ve periyotlarıyla deprem kayıtlarını basit ölçeklendirme ile ölçekleyebileceğimiz basit ölçeklendirme aralığı belirlenmiştir. Ölçek periyodu aralıkları Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10. Ölçekleme Periyodu

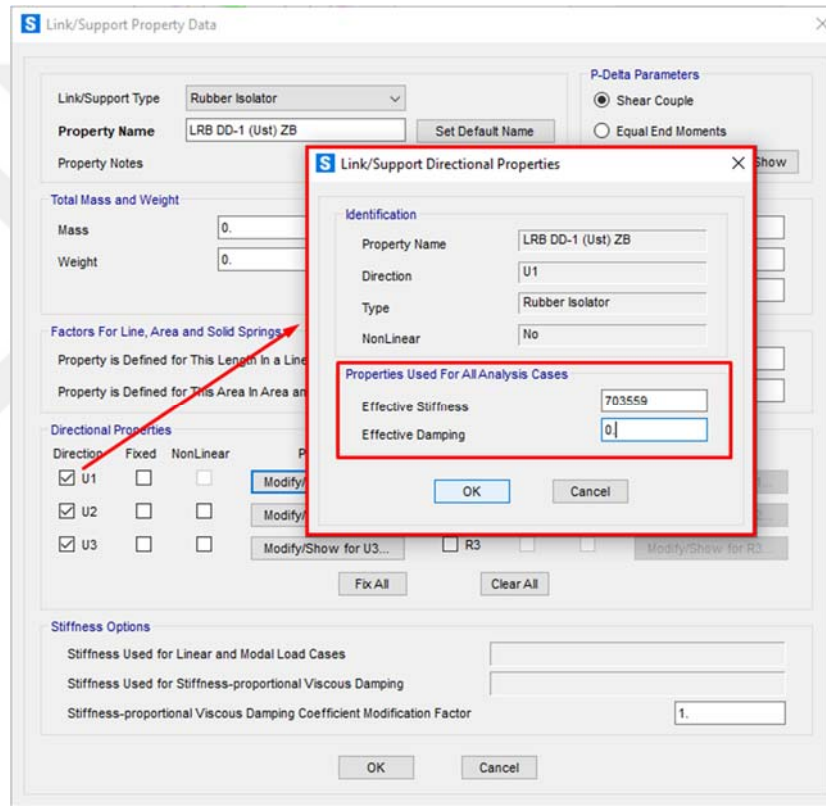
Yapı	Zemin Sınıfı	Alt Periyot 0.5 TM ($\lambda_{Üst}$)	Üst Periyot 1.25 TM (λ_{Alt})
Model-1	ZB	0.93	4.19
Model-1	ZC	0.58	2.81
Model-2	ZB	0.90	3.94
Model-2	ZC	0.53	2.50

Basit ölçekleme değerleri, excel çalışma sayfası oluşturularak yapılmıştır. Oluşturulan excel sayfalarına ait ekran görüntüleri ölçeklendirme bölümünde yer almaktadır.

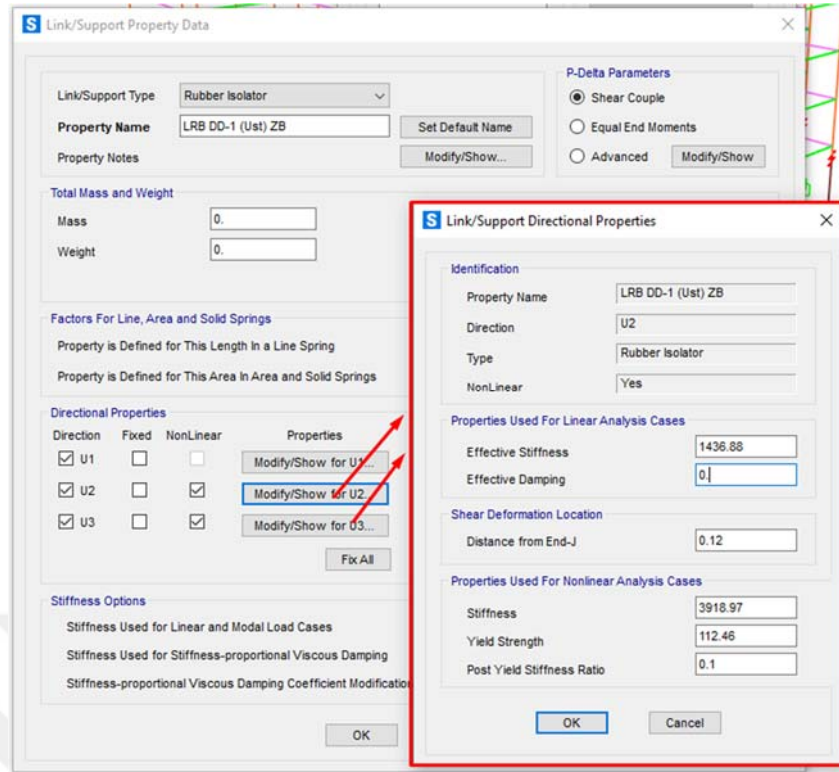
6.2.2.1. Model-1 K.Ç.K.İ (LRB) Hesabı (ZB Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası ile oluşturulan hesaplar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir. İzolatörlerin mekanik değerleri, Şekil 6.10. ve Şekil 6.11’de ayrıntılı olarak gösterildiği üzere, çizgisel link eleman olarak SAP2000 programında modele eklenmiştir.

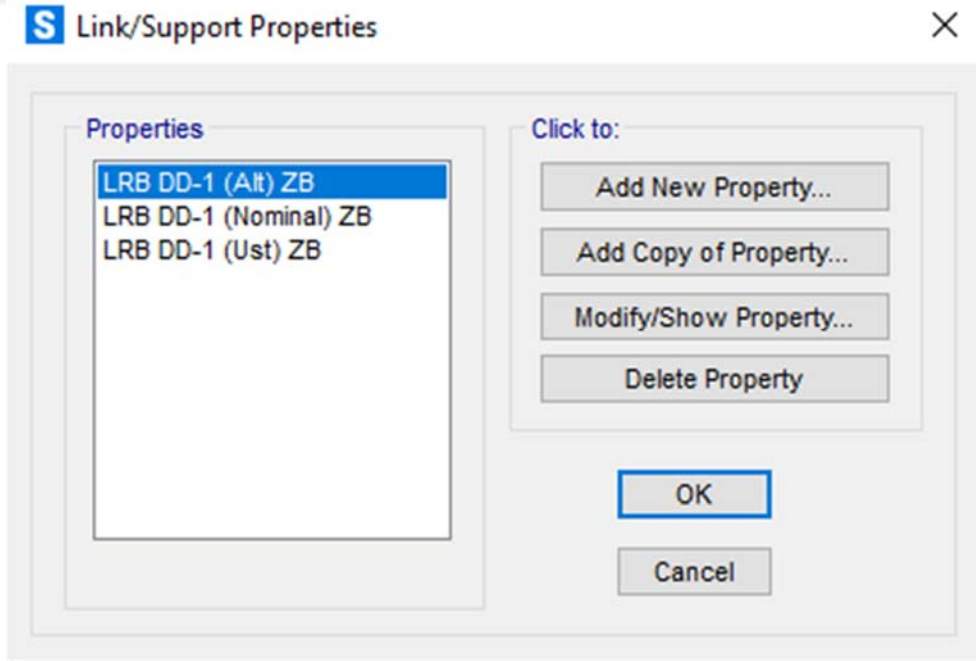
Analizlerde kullanılacak tüm izolatörler Şekil 6.12’de görselleştirilmiş, Excel çalışma sayfasına ait ekran görüntüsü ise Şekil 6.13’te sunulmuştur.



Şekil 6.10. Model-1 (DD-1) ZB Üst sınır Değerli İzolatör U1 Rijitliği Tanımı



Şekil 6.11. Model-1 (DD-1) ZB Üst sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitlik ve Deplasman Tanımları



Şekil 6.12. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZB Zemin Sınıfı İçin)

Analizler için yapılan tüm hesapların bulunduğu Excel çalışma sayfası aşağıda sunulmaktadır. Çizilen yükleme döngülerinde bileşen oluşturan eğik çizgiler tasarımsal amaçlıdır.

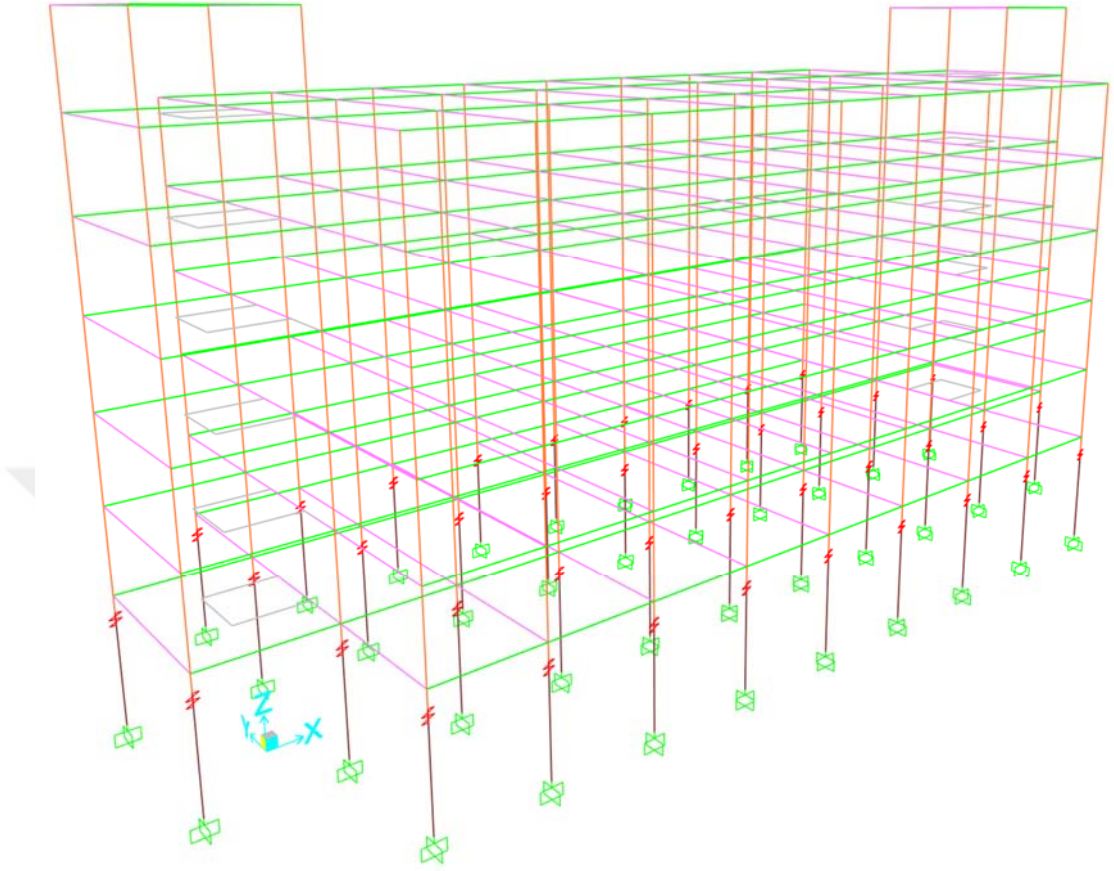
Şekil 6.12’de belirtildiği üzere, modelin düşey doğrultudaki rijitliği için Üst sınır değer, üst sınır değer ve nominal değer aynı şekilde tanımlanarak izolatör parametreleri düzenlenmiştir.

Şekil 6.11’de verilen örnek tanımlama ekranında, üst sınır değerler kullanılarak tanımlama yapıldığı görülmektedir. Alt sınır değer ve nominal değer için farklı tanımlamalar yapılmış (Şekil 6.12.) olup, karmaşanın oluşmaması için ekran görüntüleri eklenmemiştir. Tasarımda kullanılan değerler ZB Zemin sınıfı için Şekil 6.13.’te görülmektedir.

Tablo 14.2. Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Önderi Değerleri									
Tip	F _Q			k ₂		Üst	Alt	Üst	Alt
	KÇE	YSE	KÇE	YSE	KÇE				
λ _{ae}	1.00	1.10	1.00	1.30	1.00	1.30	1.00	1.30	1.40
λ _{deney}	0.70	1.30	0.90	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.10
λ _{spek}	0.85	1.15	0.85	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
λ _{alt}	0.85	1.15	0.85	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
Kurşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
İzolator Seçimi									
λ _{ust} = [1+0.75(λ _{ae,alt} -1)]λ _{deney,üst} λ _{spek,üst}									
λ _{alt} = [1-0.75(1-λ _{ae,alt})]λ _{deney,alt} λ _{spek,alt}									
İzolator Şekli									
Dairesel									
B _{alt}	90 mm								
B	550 mm								
A _r	231221 mm ²								
t	4.0 mm								
S	33.45								
γ _{yp}	10.00 MPa	G _r	10.385 MPa	T _r	320 mm				
E ₀	1.54 MPa	E _r	1897 MPa	E _r	974 MPa				
k	0.55	K	2000.00	k _r	703559 kN/m				
A _L	0.00	H	400 mm	A _p	6362 mm ²				
Elastomer Yüzey Alanı									
Kurşun Çekirdek Yüzey Alanı									
Oranı									
P _{cr}	6000.09 kN	P _{cr}	13085.92 kN	P _{cr}	9.99 kN				
A _{rg}	395318 mm ²	δ	2	Md.12.25	Md.14.26				

Şekil 6.13. Model-1 DD-1 (ZB) Excel Çalışma Sayfası

Modelle ait 3 boyutlu görüntü Şekil 6.14.te verilmektedir.

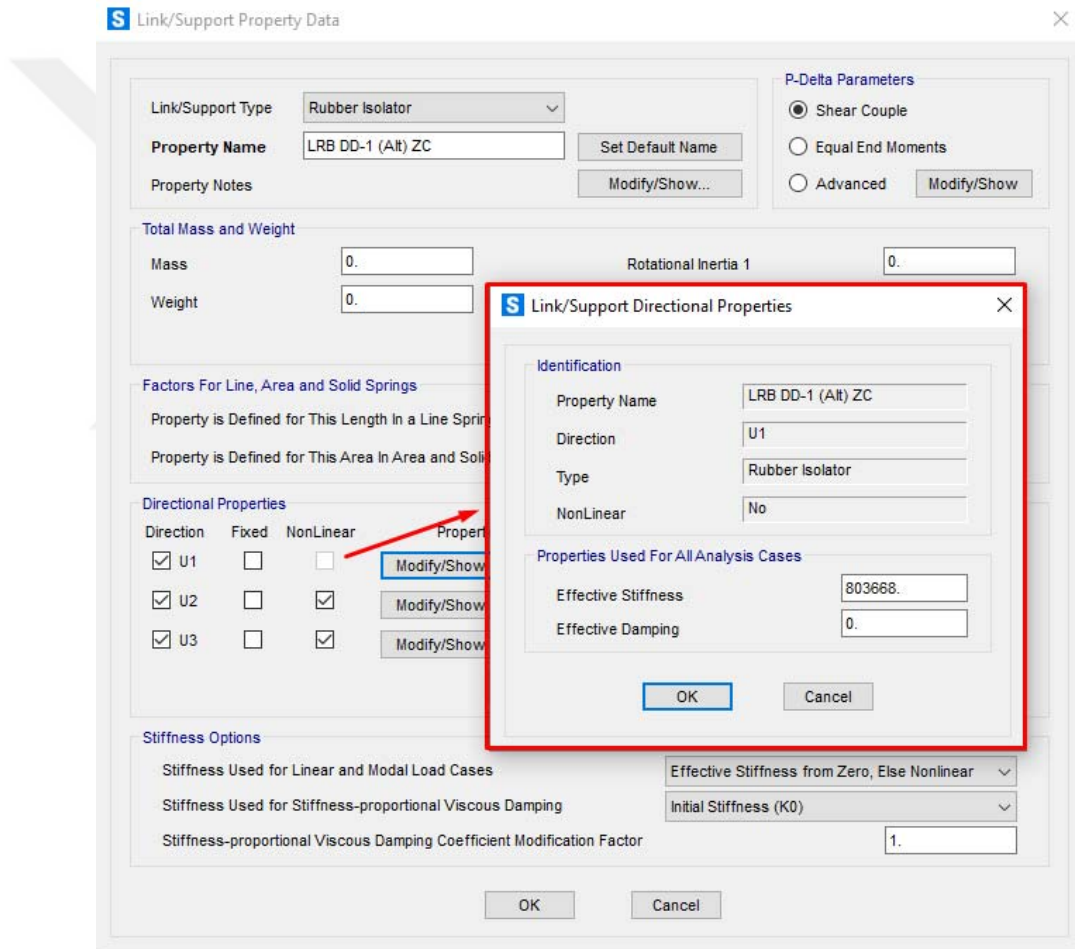


Şekil 6.14. Model-1LRB Çizgisel İzolatör Tanımlı Çubuk Elaman 3D Görünüm

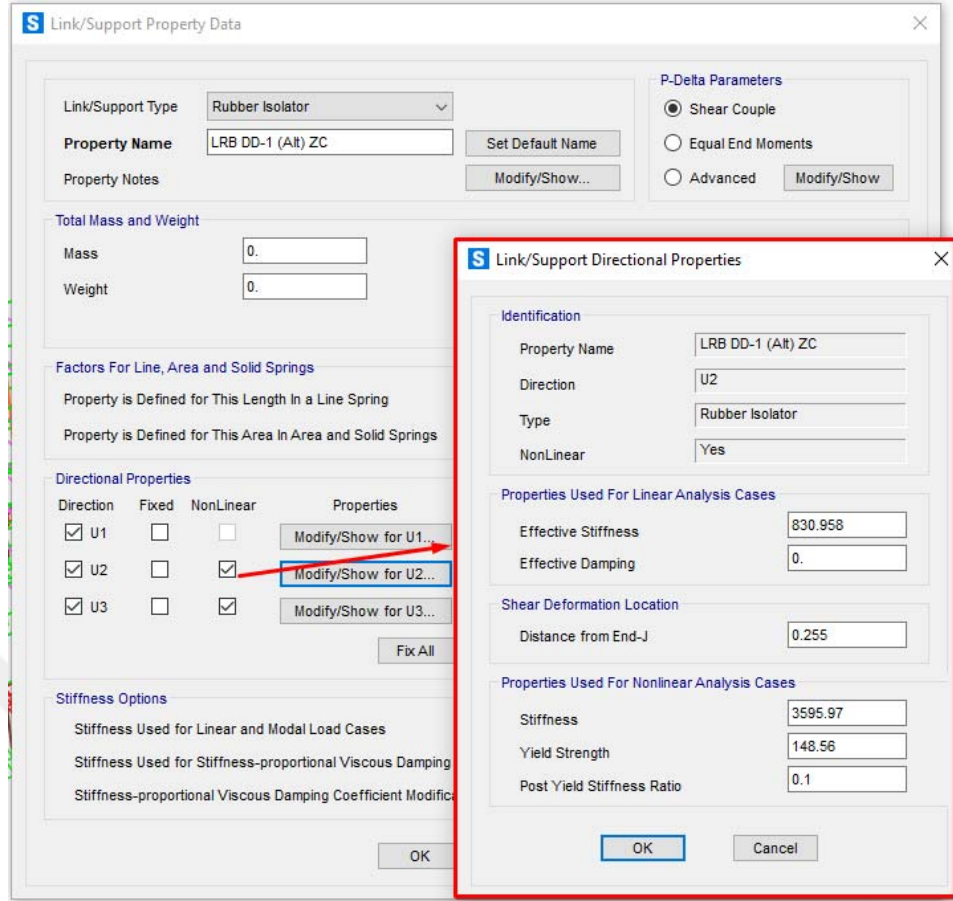
6.2.2.2. Model-1 K.Ç.K.İ (LRB) Hesabı (ZC Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası ile oluşturulan hesaplar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir. İzolatörlerin mekanik değerleri, Şekil 6.15. ve Şekil 6.16'da ayrıntılı olarak gösterildiği üzere, çizgisel link eleman olarak SAP2000 programında modele eklenmiştir.

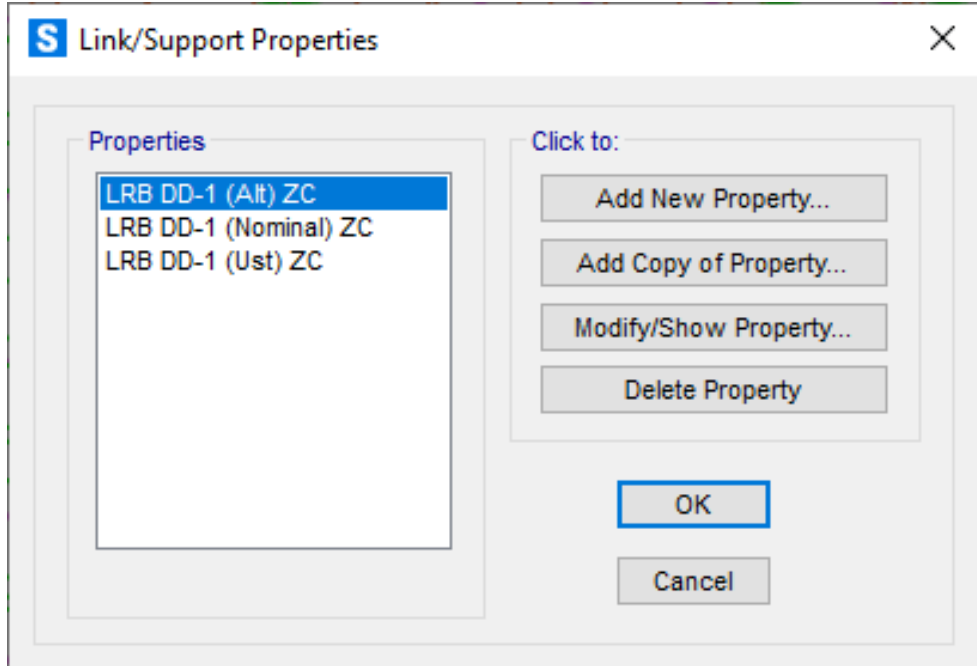
Analizde kullanılacak tüm izolatörler Şekil 6.17'de görselleştirilmiş, Excel çalışma sayfasına ait ekran görüntüsü ise Şekil 6.18'de sunulmuştur.



Şekil 6.15. Model-1 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U1 Rijitliği Tanımı



Şekil 6.16. Model-1 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitliği Tanımı

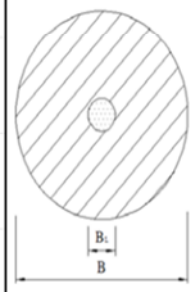


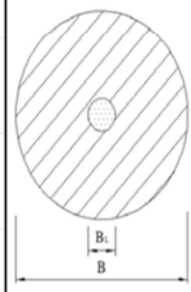
Şekil 6.17. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZC Zemin Sınıfı İçin)

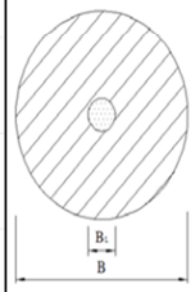
Analizler için yapılan tüm hesapların bulunduğu Excel çalışma sayfası aşağıda sunulmaktadır. Çizilen yükleme döngülerinde bileşen oluşturan eğik çizgiler tasarımsal amaçlıdır.

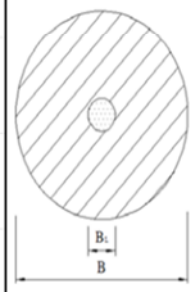
Şekil 6.15.'de belirtildiği üzere, modelin düşey doğrultudaki rijitliği için alt sınır değer, üst sınır değer ve nominal değer aynı şekilde tanımlanarak izolatör parametreleri düzenlenmiştir.

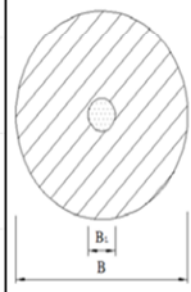
Şekil 6.16'da verilen örnek tanımlama ekranında, Alt sınır değerler kullanılarak tanımlama yapıldığı görülmektedir. Üst sınır değer ve nominal değer için farklı tanımlamalar yapılmış (Şekil 6.17.) olup, karmaşanın oluşmaması için ekran görüntüleri eklenmemiştir. Tasarımda kullanılan değerler ZC Zemin sınıfı için Şekil 6.18'de görülmektedir.

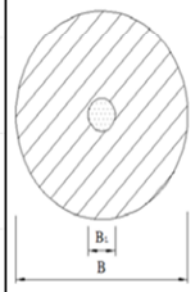
Tablo 14.2 - Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Önderi Değerleri									
λ _{ae}	Tip	F _Q			Alt	Üst	k ₂	k ₁	Üst
		Alt	Üst	Alt					
λ _{aney}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.00	1.30	1.30	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.00	1.40	1.40	1.00	1.40
λ _{aneyy}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30	1.30	0.90	1.30	1.30
λ _{apok}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
İzolator Seçimi									
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{ae,üst}-1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst}$									
$\lambda_{alt} = [1-0.75(1-\lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt}$									
İzolator Şekli									
Dairesel	B ₁	170 mm							
	B	550 mm							
	A ₁	214885 mm ²							
	t	4.0 mm							
	s	31.09							
	T ₁₀	10.00 MPa							
	E ₂	2.80 MPa							
	k	0.55							
	A ₁	0.00							
									
Elastomer Yüzey Alanı									
Kuşun Çekirdek Yüzey Alanı									
Oran									
9.55%									

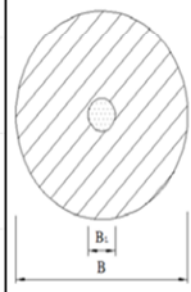
Tablo 14.2 - Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Önderi Değerleri									
λ _{ae}	Tip	F _Q			Alt	Üst	k ₂	k ₁	Üst
		Alt	Üst	Alt					
λ _{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.00	1.30	1.30	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.00	1.40	1.40	1.00	1.40
λ _{aney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30	1.30	0.90	1.30	1.30
λ _{apok}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
İzolator Seçimi									
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{ae,üst}-1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst}$									
$\lambda_{alt} = [1-0.75(1-\lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt}$									
İzolator Şekli									
Dairesel	B ₁	170 mm							
	B	550 mm							
	A ₁	214885 mm ²							
	t	4.0 mm							
	s	31.09							
	T ₁₀	10.00 MPa							
	E ₂	2.80 MPa							
	k	0.55							
	A ₁	0.00							
									
Elastomer Yüzey Alanı									
Kuşun Çekirdek Yüzey Alanı									
Oran									
9.55%									

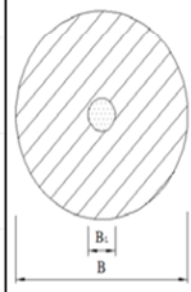
Tablo 14.2 - Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Önderi Değerleri									
λ _{ae}	Tip	F _Q			Alt	Üst	k ₂	k ₁	Üst
		Alt	Üst	Alt					
λ _{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.00	1.30	1.30	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.00	1.40	1.40	1.00	1.40
λ _{aney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30	1.30	0.90	1.30	1.30
λ _{apok}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
İzolator Seçimi									
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{ae,üst}-1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst}$									
$\lambda_{alt} = [1-0.75(1-\lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt}$									
İzolator Şekli									
Dairesel	B ₁	170 mm							
	B	550 mm							
	A ₁	214885 mm ²							
	t	4.0 mm							
	s	31.09							
	T ₁₀	10.00 MPa							
	E ₂	2.80 MPa							
	k	0.55							
	A ₁	0.00							
									
Elastomer Yüzey Alanı									
Kuşun Çekirdek Yüzey Alanı									
Oran									
9.55%									

Tablo 14.2 - Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Önderi Değerleri									
λ _{ae}	Tip	F _Q			Alt	Üst	k ₂	k ₁	Üst
		Alt	Üst	Alt					
λ _{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.00	1.30	1.30	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.00	1.40	1.40	1.00	1.40
λ _{aney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30	1.30	0.90	1.30	1.30
λ _{apok}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
İzolator Seçimi									
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{ae,üst}-1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst}$									
$\lambda_{alt} = [1-0.75(1-\lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt}$									
İzolator Şekli									
Dairesel	B ₁	170 mm							
	B	550 mm							
	A ₁	214885 mm ²							
	t	4.0 mm							
	s	31.09							
	T ₁₀	10.00 MPa							
	E ₂	2.80 MPa							
	k	0.55							
	A ₁	0.00							
									
Elastomer Yüzey Alanı									
Kuşun Çekirdek Yüzey Alanı									
Oran									
9.55%									

Tablo 14.2 - Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Önderi Değerleri									
λ _{ae}	Tip	F _Q			Alt	Üst	k ₂	k ₁	Üst
		Alt	Üst	Alt					
λ _{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.00	1.30	1.30	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.00	1.40	1.40	1.00	1.40
λ _{aney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30	1.30	0.90	1.30	1.30
λ _{apok}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
İzolator Seçimi									
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{ae,üst}-1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst}$									
$\lambda_{alt} = [1-0.75(1-\lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt}$									
İzolator Şekli									
Dairesel	B ₁	170 mm							
	B	550 mm							
	A ₁	214885 mm ²							
	t	4.0 mm							
	s	31.09							
	T ₁₀	10.00 MPa							
	E ₂	2.80 MPa							
	k	0.55							
	A ₁	0.00							
									
Elastomer Yüzey Alanı									
Kuşun Çekirdek Yüzey Alanı									
Oran									
9.55%									

Tablo 14.2 - Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Önderi Değerleri									
λ _{ae}	Tip	F _Q			Alt	Üst	k ₂	k ₁	Üst
		Alt	Üst	Alt					
λ _{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.00	1.30	1.30	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.00	1.40	1.40	1.00	1.40
λ _{aney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30	1.30	0.90	1.30	1.30
λ _{apok}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
İzolator Seçimi									
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{ae,üst}-1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst}$									
$\lambda_{alt} = [1-0.75(1-\lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt}$									
İzolator Şekli									
Dairesel	B ₁	170 mm							
	B	550 mm							
	A ₁	214885 mm ²							
	t	4.0 mm							
	s	31.09							
	T ₁₀	10.00 MPa							
	E ₂	2.80 MPa							
	k	0.55							
	A ₁	0.00							
									
Elastomer Yüzey Alanı									
Kuşun Çekirdek Yüzey Alanı									
Oran									
9.55%									

Tablo 14.2 - Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Önderi Değerleri									
λ _{ae}	Tip	F _Q			Alt	Üst	k ₂	k ₁	Üst
		Alt	Üst	Alt					
λ _{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.00	1.30	1.30	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.00	1.40	1.40	1.00	1.40
λ _{aney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30	1.30	0.90	1.30	1.30
λ _{apok}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
İzolator Seçimi									
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{ae,üst}-1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst}$									
$\lambda_{alt} = [1-0.75(1-\lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt}$									
İzolator Şekli									
Dairesel	B ₁	170 mm							
	B	550 mm							
	A ₁	214885 mm ²							
	t	4.0 mm							
	s	31.09							
	T ₁₀	10.00 MPa							
	E ₂	2.80 MPa							
	k	0.55							
	A ₁	0.00							
									
Elastomer Yüzey Alanı									
Kuşun Çekirdek Yüzey Alanı									
Oran									
9.55%									

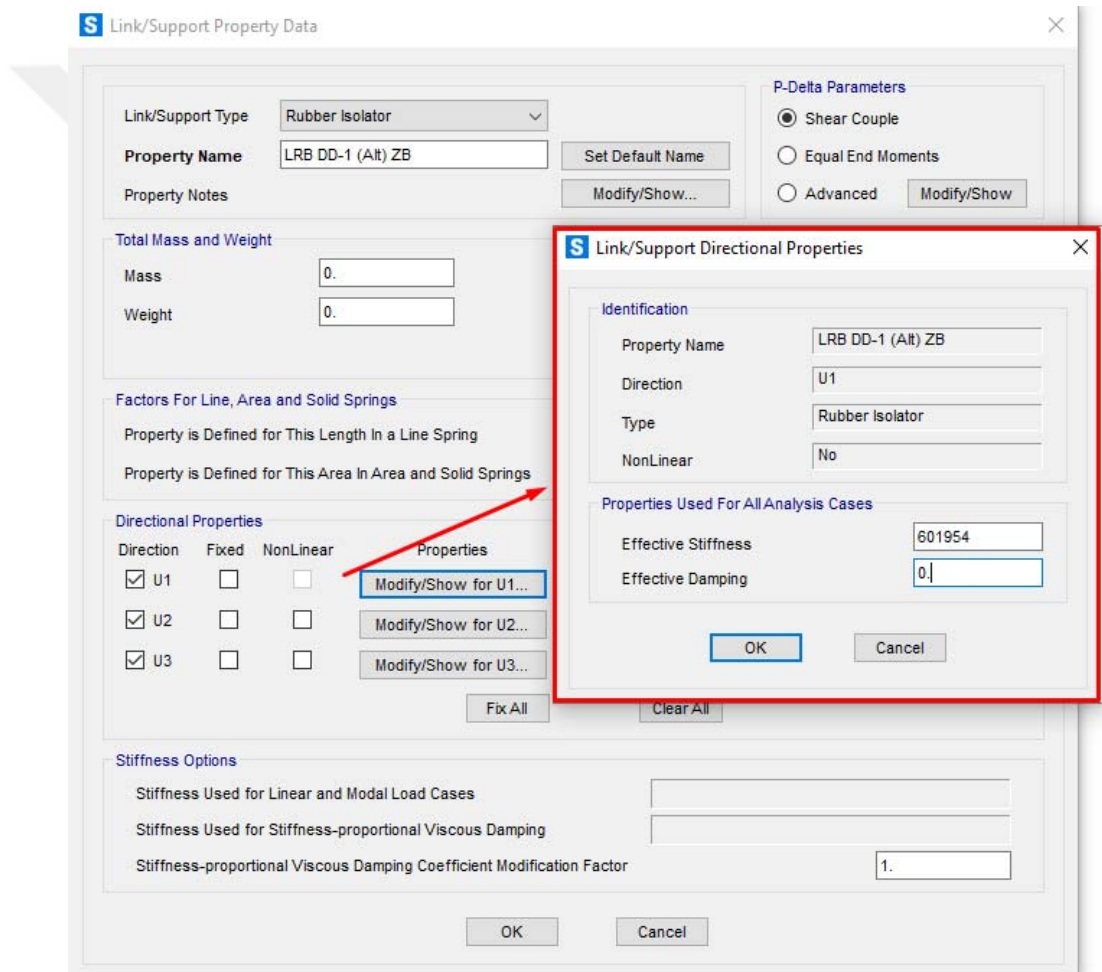
Tablo 14.2 - Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Önderi Değerleri									
λ _{ae}	Tip	F _Q			Alt	Üst	k ₂	k ₁	Üst
		Alt	Üst	Alt					
λ _{ae}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.00	1.30	1.30	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.00	1.40	1.40	1.00	1.40
λ _{aney}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30	1.30	0.90	1.30	1.30
λ _{apok}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15	1.15	0.85	1.15	1.15
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
İzolator Seçimi									
Kuşun Çekirdekli Elastomer Tipi									
$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{ae,üst}-1)]\lambda_{deneysel,üst}\lambda_{spek,üst}$									
$\lambda_{alt} = [1-0.75(1-\lambda_{ae,alt})]\lambda_{deneysel,alt}\lambda_{spek,alt}$									
İzolator Şekli									
Dairesel	B ₁	170 mm							
	B	550 mm							
	A ₁	214885 mm ²							
	t	4.0 mm							
	s	31.09							
	T ₁₀	10.00 MPa							
	E ₂	2.80 MPa							
	k	0.55							
	A ₁	0.00							
									
Elastomer Yüzey Alan									

Şekil 6.18. Model-1 DD-1 (ZC) Excel Çalışma Sayfası

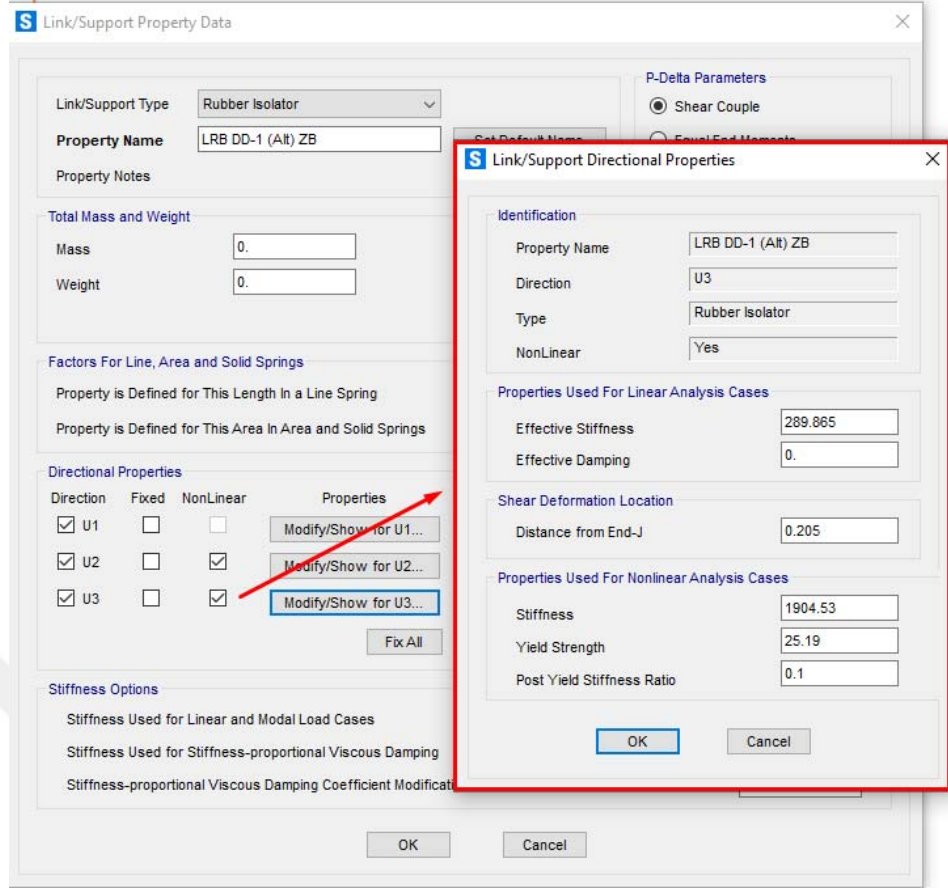
6.2.2.3. Model-2 K.Ç.K.İ (LRB) Hesabı (ZB Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası ile oluşturulan hesaplar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir. İzolatörlerin mekanik değerleri, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de ayrıntılı olarak gösterildiği üzere, çizgisel link eleman olarak SAP2000 programında modele eklenmiştir.

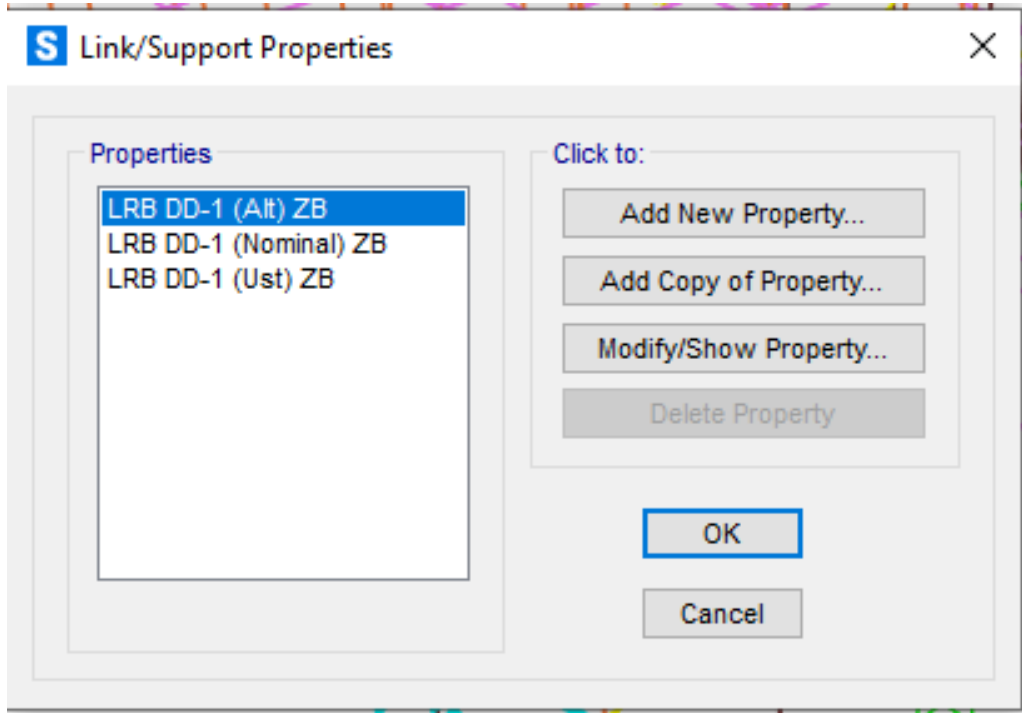
Analizde kullanılacak tüm izolatörler Şekil 6.21’de görselleştirilmiş, Excel çalışma sayfasına ait ekran görüntüsü ise Şekil 6.22’de sunulmuştur.



Şekil 6.19. Model-2 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör U1 Rijitliği Tanımı



Şekil 6.20. Model-2 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitliği Tanımı

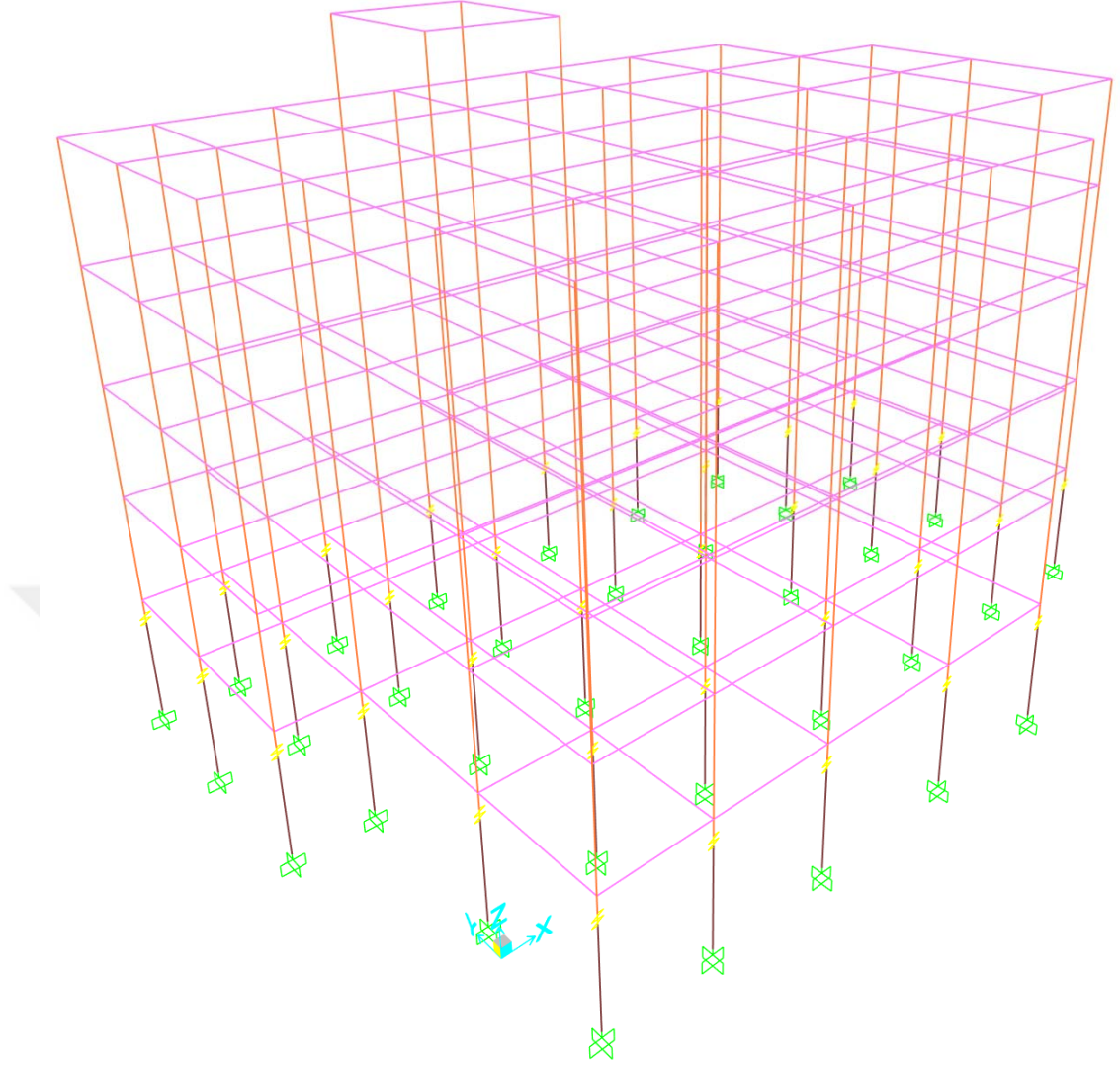


Şekil 6.21. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZB Zemin Sınıfı İçin)

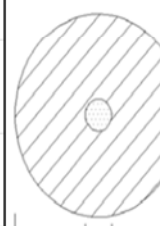
Analizler için yapılan tüm hesapların bulunduğu Excel çalışma sayfası aşağıda sunulmaktadır. Çizilen yükleme döngülerinde bileşen oluşturan eğik çizgiler tasarımsal amaçlıdır.

Şekil 6.21’de belirtildiği üzere, modelin düşey doğrultudaki rijitliği için alt sınır değer, üst sınır değer ve nominal değer aynı şekilde tanımlanarak izolatör parametreleri düzenlenmiştir.

Şekil 6.20’de verilen örnek tanımlama ekranında, alt sınır değerler kullanılarak tanımlama yapıldığı görülmektedir. Alt sınır değer ve nominal değer için farklı tanımlamalar yapılmış (Şekil 6.21.) olup, karmaşanın oluşmaması için ekran görüntüleri eklenmemiştir. Tasarımda kullanılan değerler ZB Zemin sınıfı için Şekil 6.22’de görülmektedir.



Şekil 6.22. Model-2 LRB Çizgisel İzolatör Tanımlı Çubuk Elaman 3D Görünüm

Tablo 14.2 - Elastomer Yalıtım Birimleri Sınır Öneri Değerleri					
Tip	Alt	Üst	Alt	Üst	k
λ_{se}	KÇE	1.00	1.10	1.00	1.30
	YSE	1.00	1.30	1.00	1.40
λ_{seyer}	KÇE	0.70	1.30	0.90	1.00
	YSE	0.70	1.30	0.90	1.30
λ_{spk}	KÇE	0.85	1.15	0.85	1.15
	YSE	0.85	1.15	0.85	1.15
Elastomer Seçimi					
Kuruğun Çekirdekli Elastomer Tipi					
$\lambda_{üst} = [1+0.75(\lambda_{se,üst}-1)]\lambda_{denysel,üst}\lambda_{spk,üst}$					
$\lambda_{alt} = [1+0.75(1-\lambda_{se,alt})]\lambda_{denysel,alt}\lambda_{spk,alt}$					
Elastomer Şekli					
Dairesel					
B ₁	70 mm				
B	450 mm				
A ₁	155.05 mm ²				
t	4.0 mm				
S	27.44				
G ₁	10.00 MPa	G ₂	0.385 MPa	T ₁	240 mm
E ₂	1.54 MPa	E ₁	1741 MPa	E ₁	981 MPa
k	0.75	K	2000.00	k ₀	901954 kN/m
A ₁	0.00	K	900 mm	A ₂	9848 mm ²
Elastomer Yüzey Alanı					
Kuruğun Çekirdekli Elastomer		155043 mm ²			
Kuruğun Çekirdekli Yüzey Alanı		9848 mm ²			
Oranı		2.42%			

$\lambda_{üst} = 1.607$	$\lambda_{alt} = 1.409$	$\lambda_{üst} = 0.595$	$\lambda_{alt} = 0.785$	K_2
$K_1 = 2488.58$	$K_2 = 248.96$	k_1	k_2	Başlangıç Rijitliği
k_1	k_2	k_1	k_2	Elastik Ötesi Rijitlik
Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekli Değiştirme Sınırları				
1-) Basınç Meydana Gelen Şekli Değiştirme	Y _{1e}	1-) Deprem Etkileri	Basınç M.G. Şekli D	Y _{1e}
2-) Deprem Harid Meydana Gelen Ş.D.	Y _{2e}	2-) Deprem Etkileri	Y _{2e}	Y _{2e}
3-) Görevli Dönme Meydana Gelen Ş.D.	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}
Y _{1e}	25.921	Y _{2e}	0.021	Y _{3e}
Y _{2e}	0.021	Y _{3e}	0.021	Y _{3e}
Y _{3e}	0.527	Y _{3e}	0.527	Y _{3e}
Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekli Değiştirme Sınırları				
1-) Basınç Meydana Gelen Şekli Değiştirme	Y _{1e}	1-) Deprem Etkileri	Basınç M.G. Şekli D	Y _{1e}
2-) Deprem Harid Meydana Gelen Ş.D.	Y _{2e}	2-) Deprem Etkileri	Y _{2e}	Y _{2e}
3-) Görevli Dönme Meydana Gelen Ş.D.	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}
Y _{1e}	25.921	Y _{2e}	0.021	Y _{3e}
Y _{2e}	0.021	Y _{3e}	0.021	Y _{3e}
Y _{3e}	0.527	Y _{3e}	0.527	Y _{3e}
Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekli Değiştirme Sınırları				
1-) Basınç Meydana Gelen Şekli Değiştirme	Y _{1e}	1-) Deprem Etkileri	Basınç M.G. Şekli D	Y _{1e}
2-) Deprem Harid Meydana Gelen Ş.D.	Y _{2e}	2-) Deprem Etkileri	Y _{2e}	Y _{2e}
3-) Görevli Dönme Meydana Gelen Ş.D.	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}
Y _{1e}	25.921	Y _{2e}	0.021	Y _{3e}
Y _{2e}	0.021	Y _{3e}	0.021	Y _{3e}
Y _{3e}	0.527	Y _{3e}	0.527	Y _{3e}

$\lambda_{üst} = 1.607$	$\lambda_{alt} = 1.409$	$\lambda_{üst} = 0.595$	$\lambda_{alt} = 0.785$	K_2
$K_1 = 2488.58$	$K_2 = 248.96$	k_1	k_2	Başlangıç Rijitliği
k_1	k_2	k_1	k_2	Elastik Ötesi Rijitlik
Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekli Değiştirme Sınırları				
1-) Basınç Meydana Gelen Şekli Değiştirme	Y _{1e}	1-) Deprem Etkileri	Basınç M.G. Şekli D	Y _{1e}
2-) Deprem Harid Meydana Gelen Ş.D.	Y _{2e}	2-) Deprem Etkileri	Y _{2e}	Y _{2e}
3-) Görevli Dönme Meydana Gelen Ş.D.	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}
Y _{1e}	25.921	Y _{2e}	0.021	Y _{3e}
Y _{2e}	0.021	Y _{3e}	0.021	Y _{3e}
Y _{3e}	0.527	Y _{3e}	0.527	Y _{3e}

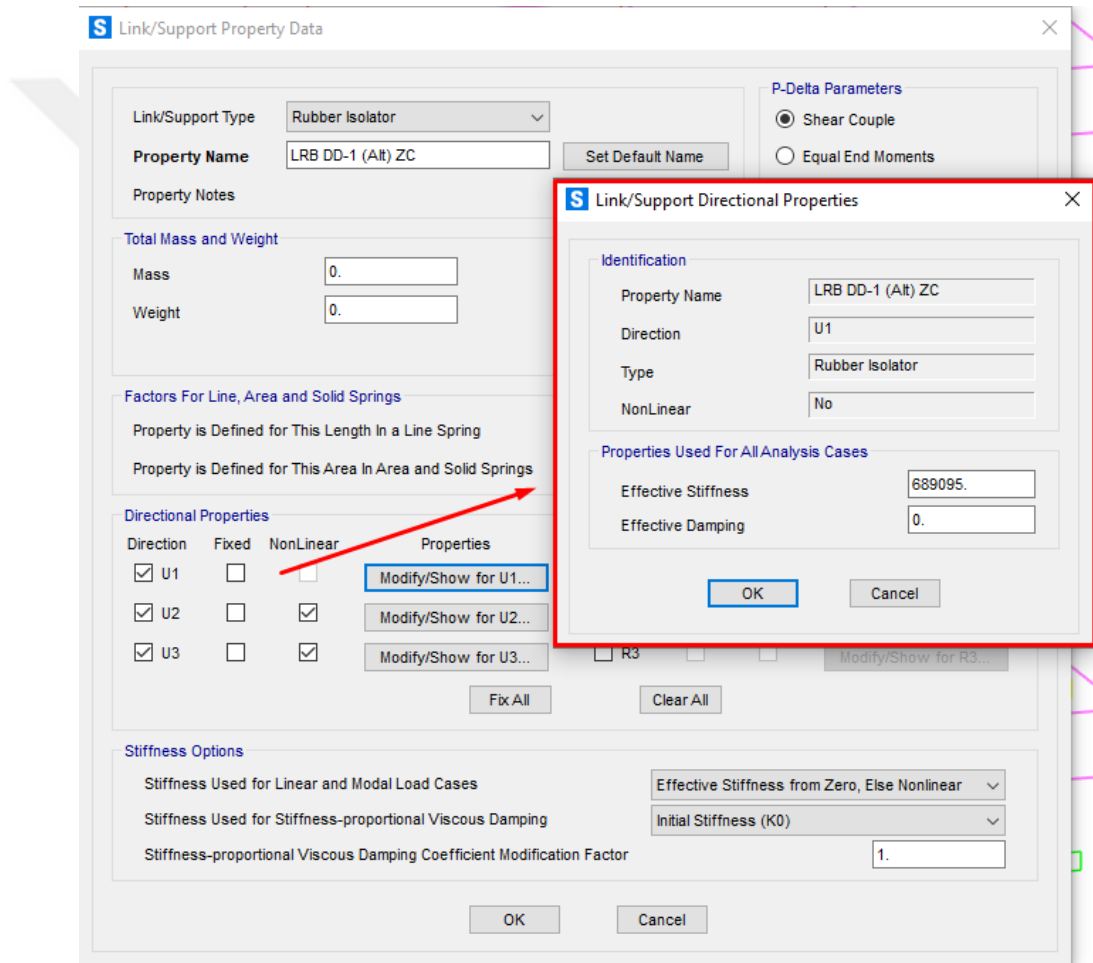
$\lambda_{üst} = 1.607$	$\lambda_{alt} = 1.409$	$\lambda_{üst} = 0.595$	$\lambda_{alt} = 0.785$	K_2
$K_1 = 2488.58$	$K_2 = 248.96$	k_1	k_2	Başlangıç Rijitliği
k_1	k_2	k_1	k_2	Elastik Ötesi Rijitlik
Elastomer Yalıtım Birimlerinin Birim Şekli Değiştirme Sınırları				
1-) Basınç Meydana Gelen Şekli Değiştirme	Y _{1e}	1-) Deprem Etkileri	Basınç M.G. Şekli D	Y _{1e}
2-) Deprem Harid Meydana Gelen Ş.D.	Y _{2e}	2-) Deprem Etkileri	Y _{2e}	Y _{2e}
3-) Görevli Dönme Meydana Gelen Ş.D.	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}	Y _{3e}
Y _{1e}	25.921	Y _{2e}	0.021	Y _{3e}
Y _{2e}	0.021	Y _{3e}	0.021	Y _{3e}
Y _{3e}	0.527	Y _{3e}	0.527	Y _{3e}

Şekil 6.23. Model-2 DD-1 (ZB) Excel Çalışma Sayfası

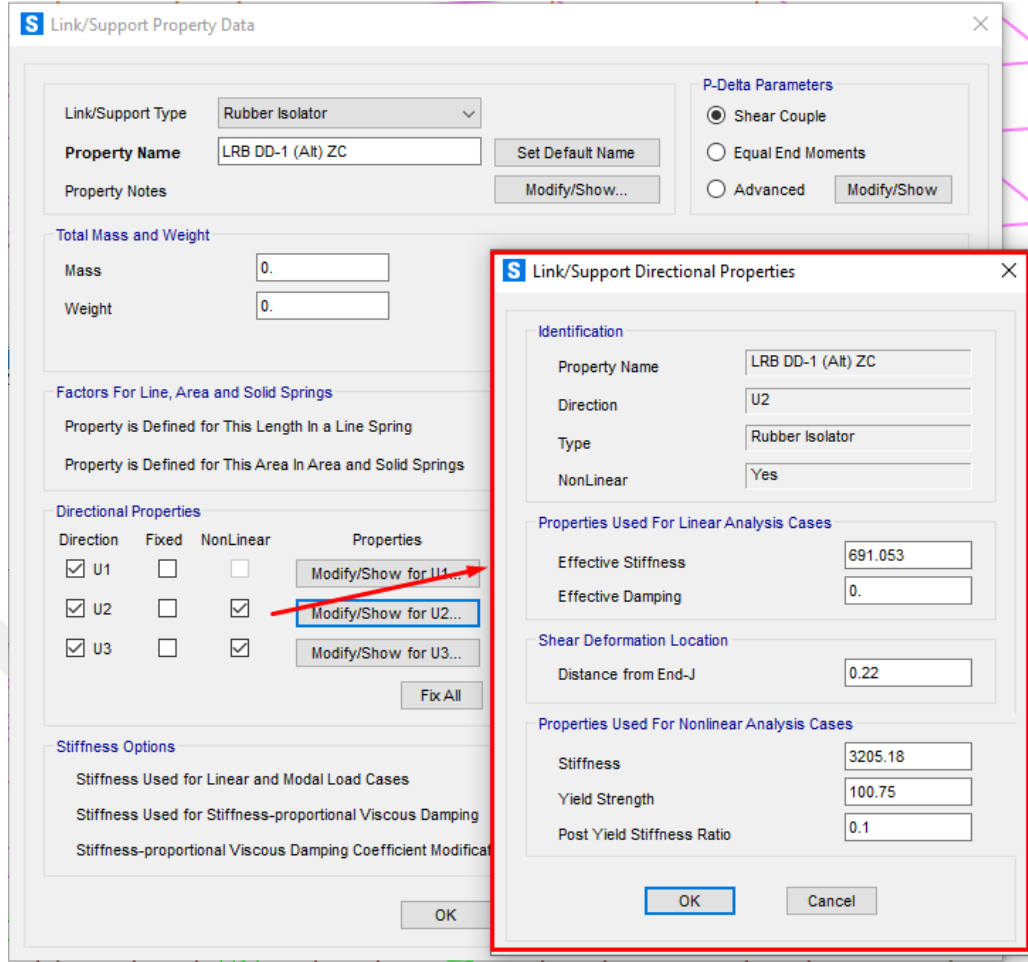
6.2.2.4. Model-2 K.Ç.K.İ (LRB) Hesabı (ZC Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası ile oluşturulan hesaplar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir. İzolatörlerin mekanik değerleri, Şekil 6.24. ve Şekil 6.25'te ayrıntılı olarak gösterildiği üzere, çizgisel link eleman olarak SAP2000 programında modele eklenmiştir.

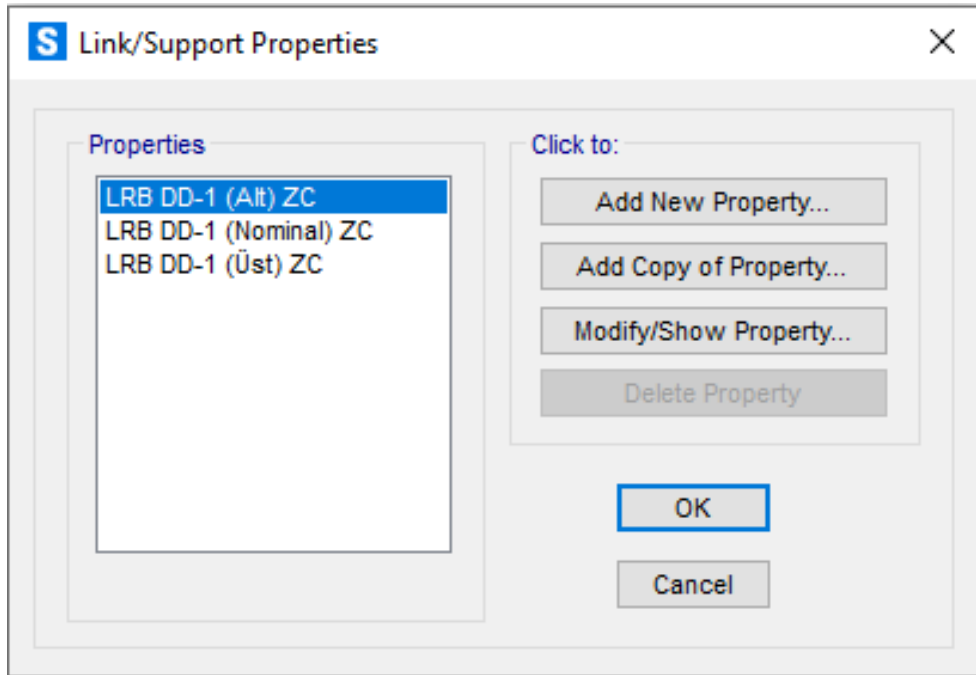
Analizde kullanılacak tüm izolatörler Şekil 6.26'da görselleştirilmiş, Excel çalışma sayfasına ait ekran görüntüsü ise Şekil 6.27'de sunulmuştur.



Şekil 6.24. Model-2 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U1 Rijitliği Tanımı



Şekil 6.25. Model-2 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitliği Tanımı

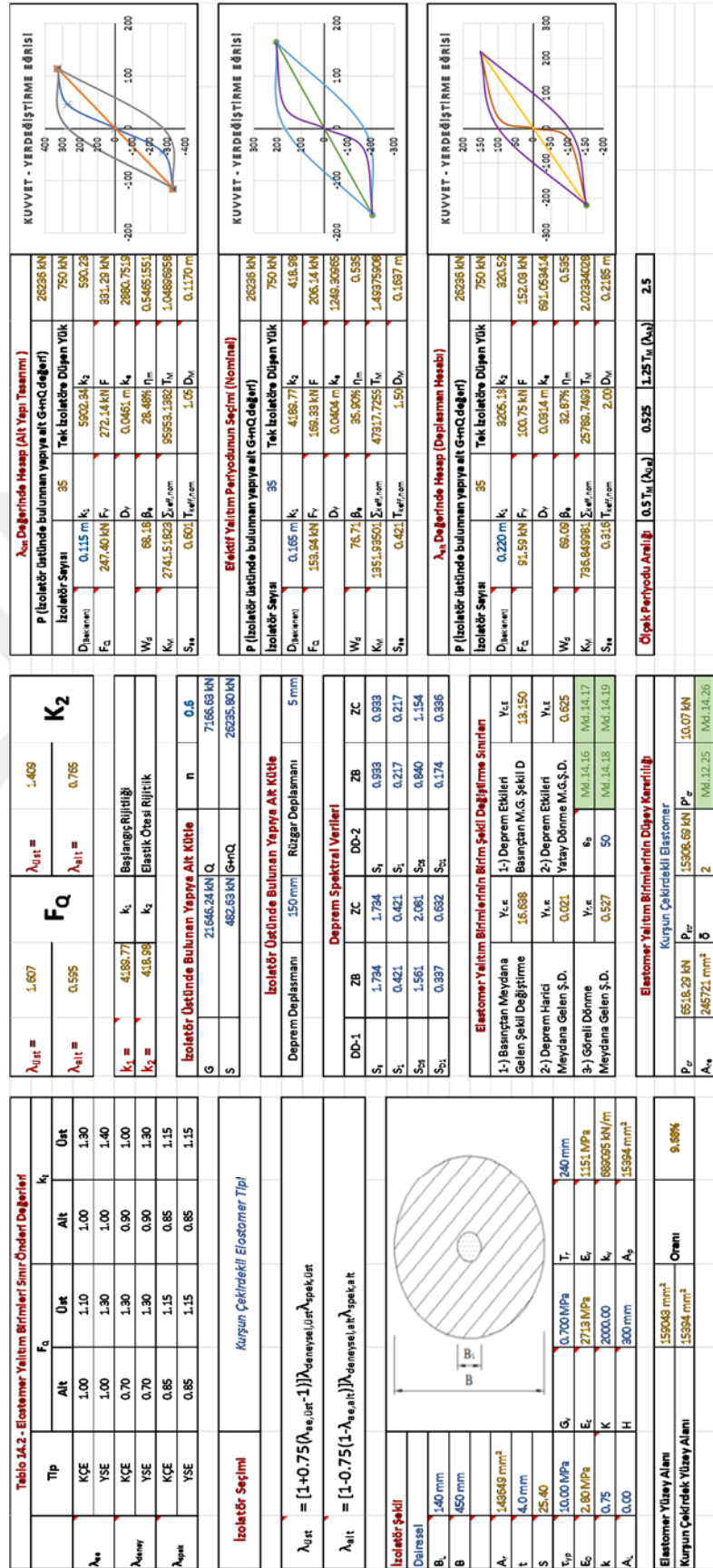


Şekil 6.26. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZC Zemin Sınıfı İçin)

Analizler için yapılan tüm hesapların bulunduğu Excel çalışma sayfası aşağıda sunulmaktadır. Çizilen yükleme döngülerinde bileşen oluşturan eğik çizgiler tasarımsal amaçlıdır.

Şekil 6.24'te belirtildiği üzere, modelin düşey doğrultudaki rijitliği için alt sınır değer, üst sınır değer ve nominal değer aynı şekilde tanımlanarak izolatör parametreleri düzenlenmiştir.

Şekil 6.25'te verilen örnek tanımlama ekranında, alt sınır değerler kullanılarak tanımlama yapıldığı görülmektedir. Üst sınır değer ve nominal değer için farklı tanımlamalar yapılmış (Şekil 6.26.) olup, karmaşanın oluşmaması için ekran görüntüleri eklenmemiştir. Tasarımda kullanılan değerler ZB Zemin sınıfı için Şekil 6.27'de görülmektedir.



Şekil 6.27. Model-2 DD-1 (ZC) Excel Çalışma Sayfası

6.2.3. Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin (T.E.Y.S.S.T.İ.) Mekanik Parametrelerinin Belirlenmesi

"Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması" aracılığıyla konumlara göre belirlenen ZB ile ZC zemin sınıfları için alınan spektral ivme ve spektrum verileri bu izolatör tipinde de kullanılmıştır.

Her iki yapı için kolonlarda bırakılması planlanan izolatör boşlukları belirlenmiş ve ön tasarım aşamasında izolatör boyutlandırması yapılmıştır. İzolatörlerin nihai belirleme süreci, rüzgâr ve deprem gibi dinamik etkilere maruz kaldıklarında şekil değiştirme sınırları içerisinde kalıp kalmadıklarına göre yeniden düzenleneceği için bu aşamada ön boyutlandırmanın ötesine geçilmemelidir. Son aşamada, tüm tasarımı sonlandıran izolatörler için üretici firmalarla görüşmeler yapılarak, tasarımsal modele en yakın gerçekçi model seçilmeli ve tekrar hesaplamalar yapılarak sismik izolatör seçimi sonlandırılmalıdır.

Bu tezde, iki farklı üreticinin teknik broşürleri incelenerek, sağlayabilecek oldukları izolatör mekanik özellikleri skalasında varsayımsal bir tasarım gerçekleştirilmiştir. İzolatörlerin ve sistemin farklı zemin gruplarındaki davranışlarının incelenebilmesi için değişken tutulan iki parametre belirlenmiştir.

Değişken tutulan izolatör parametreleri:

- μ : Eğri Yüzeyin Sürtünme Katsayısı
- R_c : Yeniden Merkezleme Eğrilik Yarıçapı

Ön tasarımın hızlı ve basit şekilde gerçekleştirilebilmesi için “Etkin Deprem Yüğü Yöntemi” kullanılarak hedeflenen deplasman değerleri, başlangıç rijitliği değerleri, elastik ötesi rijitlik değerleri ve kuvvet-yer değiştirme verileri kolay şekilde bulunmuştur. Hesaplanan alt ve üst sınır değerler kullanılarak diğer deplasman parametreleri de belirlenmiştir.

Etkin Deprem Yüğü Yöntemi, kullanılarak ön boyutlandırmadaki temel mantık hedef seçilen öngörülen deplasman değerinin iterasyon yapılarak sönüme bağlı deplasman değerine eşitlemektir. Hesaplama aşaması ve uygulama adımları detaylı olarak verilmektedir.

İlk aşamada, ön tasarım için uygun olduğu düşünülen bir deplasman öngörülmüştür. Ardından, bu tasarım deplasmanına bağlı kuvvetler belirlenir. Belirlenen kuvvete bağlı olarak sönüm katsayısı hesaplanır.

Sonrasında, efektif rijitlik ve yapının periyodu tespit edilir. Tasarım spektrumundan, yapının periyoduna karşılık gelen ivme değerleri elde edilir. Çekilen ivme değerleriyle, sönüme bağlı deplasman hesabı gerçekleştirilir.

Bu süreç, ön görülen deplasmanın sönüme bağlı deplasmana yaklaşık olarak eşitlendiği duruma kadar tekrarlanır. Böylece, iteratif bir yaklaşımla hedeflenen deplasman hesabı bulunmuş olur.

Tezin kapsamlı hesaplama gereksinimlerini karşılamak ve çoklu model analizlerini kolaylaştırmak amacıyla, farklı varyasyonlu izolatörlerin incelenmesine yönelik olarak hızlı hesaplama ve etkin parametre yönetimi sağlayan bir Excel sayfası geliştirilmiştir.

Oluşturulan Excel çalışma sayfasında, izolatörlere ilişkin tüm bilgiler ve hesaplamalar detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sayfasında, renk kodlaması ile hücre grupları farklılaştırılmıştır:

- Mavi yazı tipi ile yazılı hücreler, giriş parametrelerini göstermektedir.
- Sarı yazı tipi ile yazılı hücreler, hesaplanan ve doğrudan veri girişi müdahalesine kapalı hücreleri temsil etmektedir.
- Siyah hücreler, açıklama metinleri ve başlık hücrelerini içermektedir.

İzolatör Hedef Deplasman Hesabı:

İzolatör için ilk etapta bir deplasman hesabı öngörülmüştür. Bu deplasman değerine göre gerekli şekil değiştirmeyi yapabilecek kuvvet hesaplanmaktadır. Kuvvetin bulunabilmesi için aynı zamanda izolatör rijitliklerine ihtiyacımız vardır. İhtiyacımız olan elastik rijitlik (Başlangıç Rijitliği) hesaplarda çok yüksek bir değer olan sanal bir rijitliktir. Elastik ötesi rijitlik ise düşey kuvvetin eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım biriminin eğrilik yarı çapına bölünmesiyle elde edilir. Hesaplarda kullanılan F_Q ve F_y değerleri yönetmeliğimize göre aynı alınmaktadır.

Karakteristik dayanımın ve etkin akma dayanımının hesabı Denklem 6.7'ye göre hesap edilir.

$$F_Q = F_y = \mu_e P \quad (6.7)$$

- F_Q = Karakteristik Dayanım
 F_y = Etkin Akma Dayanımı
 μ_e = Erkin Sürtünme Katsayısı
 P = Yalıtım Biriminin Üstündeki Düşey Kuvvet

Elastik ötesi rijitlik hesabını Denklem 4.29'a göre etkin rijitliğin hesabıysa 4.30'a göre hesap edilir.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad (6.8)$$

- k_2 = Elastik Ötesi Rijitlik (İkincil Rijitlik)
 P = Yalıtım Biriminin Üstündeki Düşey Kuvvet
 R_c = Yalıtım Birimi Kayma Yüzeylerinin Etkin Eğrilik Yarıçapı

$$k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e * P}{D} \quad (6.9)$$

- k_e = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Rijitlik
 F = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Kuvvet
 D = Hedeflenen Deplasman Değeri
 P = Yalıtım Biriminin Üstündeki Düşey Kuvvet
 R_c = Yalıtım Birimi Kayma Yüzeylerinin Etkin Eğrilik Yarıçapı

Rijitlikleri belirlenmiş izolatör için öngörülen deplasman değeri kullanılarak Denklem 6.10 ile etkin sönüm oranı bulunur.

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e + \frac{D}{R_c}} \right] \quad (6.11)$$

β_e = Etkin Sönüm Oranı

W_d = tüketilen Enerji Mktarı

F = Hedeflenen Deplasman Değerine Karşılık Gelen Kuvvet

D = Hedeflenen Deplasman Değeri

μ_e = Erkin Sürtünme Katsayısı

R_c = Yalıtım Birimi Kayma Yüzeylerinin Etkin Eğrilik Yarıçapı

Sönüm oranı kullanılarak periyot hesaplanır. Bu periyota bağlı izolatöre etki eden ivme ve ivmeye bağlı deplasman Denklem 6.12 ve 6.13 kullanılarak bulunur.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{g \sum K_{Eff}}} \quad (6.12)$$

T_M = İzolatörlü Sistem Periyodu

P = Üst Yapı Kütlesi ($G+nQ$)

g = Yer Çekimi İvmesi

$\sum K_{eff}$ = Tüm İzolatörlerin Toplam Rijitliği

$$D_M = 1.3 \frac{g}{4\pi^2} T_M^2 \eta_m S_{ae(T_m)} \quad (6.13)$$

D_M = Gerçek İzolatör Deplasmanı

g = Yer Çekimi İvmesi

T_M = İzolatörlü Sistem Periyodu

η_m = Sönüm Ölçeklendirme Katsayısı (DD-1)

S_{acTm} = İzolatörlü Sistem Periyoduna dank ivme değeri

Son olarak sistem hesabında kullanılan tüm değerler alt ve üst sınır değerler ile çarpılarak düzenlenir. Sınır değerli ön tasarım deplasmanları ve periyotlarıyla deprem kayıtlarını basit ölçeklendirme ile ölçekleyebileceğimiz basit ölçeklendirme aralığı belirlenmiştir. Ölçek periyodu aralıkları Tablo 6.11’de verilmiştir.

Tablo 6.11. Ölçekleme Periyotları

Yapı	Zemin Sınıfı	Alt Periyot 0.5 TM ($\lambda_{Üst}$)	Üst Periyot 1.25 TM (λ_{Alt})
Model-1	ZB	0.89	3.93
Model-1	ZC	0.73	3.01
Model-2	ZB	0.85	3.87
Model-2	ZC	0.71	2.95

Basit ölçekleme değerleri, excel çalışma sayfası oluşturularak yapılmıştır. Oluşturulan excel sayfalarına ait ekran görüntüleri ölçeklendirme bölümünde yer almaktadır.

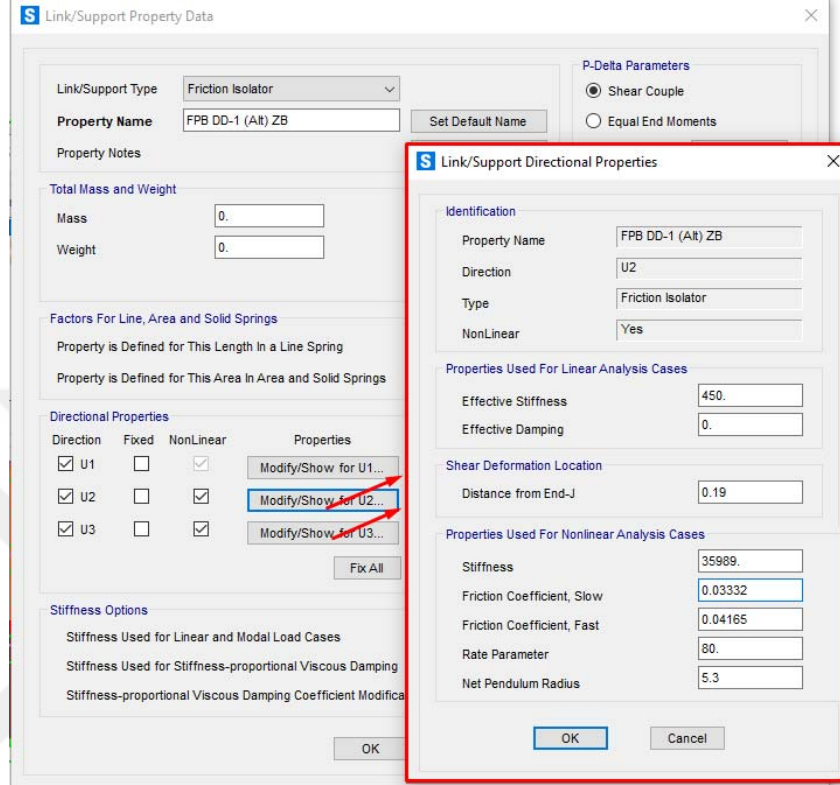
6.2.3.1. Model-1 T.E.Y.S.S.T.İ. (FPB) Hesabı (ZB Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası ile oluşturulan hesaplar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir. İzolatörlerin mekanik değerleri, Şekil 6.28. ve Şekil 6.29 da ayrıntılı olarak gösterildiği üzere, çizgisel link eleman olarak SAP2000 programında modele eklenmiştir.

Analizde kullanılacak tüm izolatörlerin mekanik parametreleri Excel çalışma sayfasına ait ekran görüntüsü ile Şekil 6.30 da sunulmuştur.

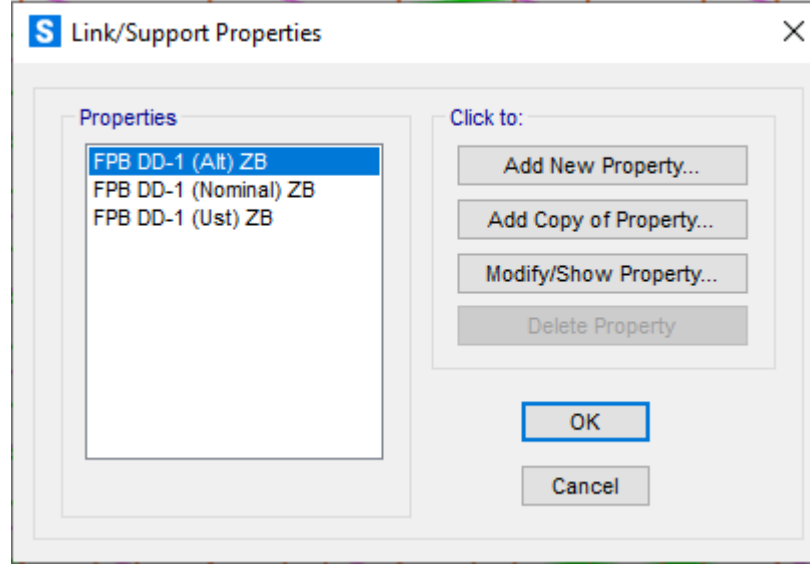
Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde düşey yöndeki rijitlikler çok yüksek bir değer olarak seçilmelidir. Hesabı basitçe çeliğin elastisite modülünün izolatör alanına çarpılıp izolatör yüksekliğine bölünmesiyle bulunabilir. Bu tezde ilgili değer hesabı yerine yüksek bir değer olan 9999999 değeri girilmiştir. Düşey rijitlik kontrolleri bu çalışma için kontrol edilmemektedir.

Hızlı ve yavaş sürtünme katsayıları için bu tezde hızlı sürtünme katsayısı yavaş sürtünme katsayısının %80'lik değeri olarak alınmıştır. Tezde bulunan tüm eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde bu oran korunmaktadır.



Şekil 6.28. Model-1 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitlik, Sürtünme ve Deplasman Tanımları

Girilen parametrelerde k1 rijitliği etkin rijitliğin 80 katı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.29. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZB Zemin Sınıfı İçin)

Analizler için yapılan tüm hesapların bulunduğu Excel çalışma sayfası aşağıda sunulmaktadır. Çizilen yükleme döngülerinde bileşen oluşturan eğik çizgiler tasarımsal amaçlıdır.

Şekil 6.29.'da belirtildiği üzere, modelin düşey doğrultudaki rijitliği için alt sınır değer, üst sınır değer ve nominal değer aynı şekilde tanımlanarak izolatör parametreleri düzenlenmiştir.

Şekil 6.28.'de verilen örnek tanımlama ekranında, alt sınır değerler kullanılarak tanımlama yapıldığı görülmektedir.

Deprem Spektral Verileri			
DD-1	ZB	ZC	
S _s	1.800	1.800	
S ₁	0.439	0.439	
S _{0.5}	1.620	2.160	
S _{0.1}	0.351	0.659	
DD-2	ZB	ZC	
S _s	0.962	0.962	
S ₁	0.224	0.224	
S _{0.5}	0.866	1.154	
S _{0.1}	0.179	0.336	

İzolatör Üstünde Yapıya Ait Kütler	
G	n
35955.02 kN	0.6
12961.60 kN	
640.64 kN	
44116.36 kN	

Yalıtım Birimi Özellikleri	
İzolatör Şekli	
Tek Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör	
Üst Değer	1.719
Alt Değer	0.595
μ(Nominal)	0.07
R _c	5.30 m

λ _{0.5t} Değerinde Hesap (Alt Yapı Tasarımı)			
P (İzolatör üstünde bulunan yapıya ait G+nQ değeri)		44116 kN	
İzolatör Sayısı	40	Tek İzolatöre Düşen Yük	1103 kN
D _(beklenen)	0.110 m		
F _Q =F _Y	132.73 kN	μ _(Nominal)	0.120
k ₁	113180 kN/m	k ₂	208 kN/m
β _e	54.30%	η _m	0.535
T _M	1.77 sn	β _e (Seçilen)	30.00%
S _{ae}	0.201	D _M	0.109 m

Efektif Yalıtım Periyodunun Seçimi (Nominal)			
P (İzolatör üstünde bulunan yapıya ait G+nQ değeri)		44116 kN	
İzolatör Sayısı	40	Tek İzolatöre Düşen Yük	1103 kN
D _(beklenen)	0.150 m		
F _Q =F _Y	77.20 kN	μ _(Nominal)	0.07
k ₁	57823 kN/m	k ₂	208 kN/m
β _e	45.33%	η _m	0.535
T _M	2.48 sn	β _e (Seçilen)	30.00%
S _{ae}	0.143	D _M	0.152 m

λ _{Alt} Değerinde Hesap (Alt Yapı Tasarımı)			
P (İzolatör üstünde bulunan yapıya ait G+nQ değeri)		44116 kN	
İzolatör Sayısı	40	Tek İzolatöre Düşen Yük	1103 kN
D _(beklenen)	0.190 m		
F _Q =F _Y	45.94 kN	μ _(Nominal)	0.04165
k ₁	35989 kN/m	k ₂	208 kN/m
β _e	34.21%	η _m	0.535
T _M	3.14 sn	β _e (Seçilen)	30.00%
S _{ae}	0.113	D _M	0.193 m

Ölçek Periyodu Aralığı		1.25 T _M (λ _{Alt})	
0.5 T _M		0.89	
3.93			

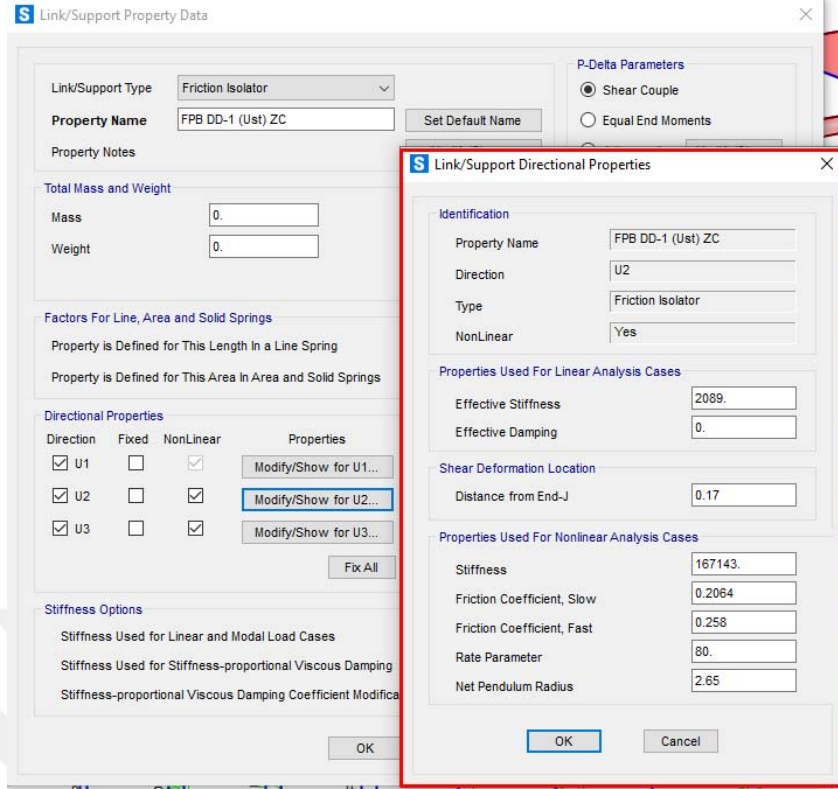
6.2.3.2. Model-1 T.E.Y.S.S.T.İ. (FPB) Hesabı (ZC Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası ile oluşturulan hesaplar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir. İzolatörlerin mekanik değerleri, Şekil 6.31 de ayrıntılı olarak gösterildiği üzere, çizgisel link eleman olarak SAP2000 programında modele eklenmiştir.

Analizde kullanılacak tüm izolatörlerin mekanik parametreleri Excel çalışma sayfasına ait ekran görüntüsü ile Şekil 6.33.'de sunulmuştur.

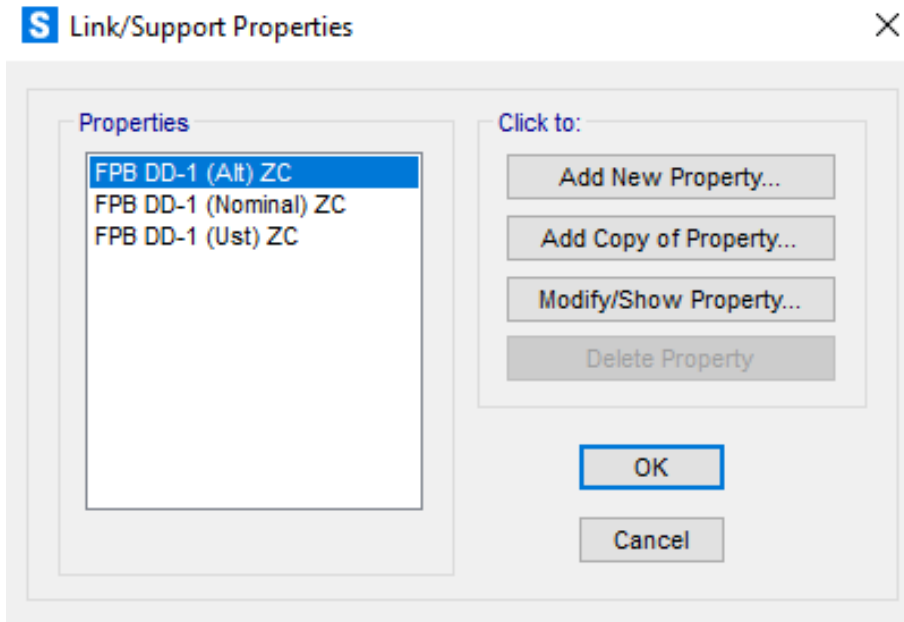
Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde düşey yöndeki rijitlikler çok yüksek bir değer olarak seçilmelidir. Hesabı basitçe çeliğin elastisite modülünün izolatör alanına çarpılıp izolatör yüksekliğine bölünmesiyle bulunabilir. Bu tezde ilgili değer hesabı yerine yüksek bir değer olan 9999999 değeri girilmiştir. Düşey rijitlik kontrolleri bu çalışma için kontrol edilmemektedir.

Hızlı ve yavaş sürtünme katsayıları için bu tezde hızlı sürtünme katsayısı yavaş sürtünme katsayısının %80'lik değeri olarak alınmıştır. Tezde bulunan tüm eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde bu oran korunmaktadır.



Şekil 6.31. Model-1 (DD-1) ZC Üst Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitlik, Sürtünme ve Deplasman Tanımları

Girilen parametrelerde k_1 rijitliği etkin rijitliğin 80 katı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.32. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZC Zemin Sınıfı İçin)

Analizler için yapılan tüm hesapların bulunduğu Excel çalışma sayfası aşağıda sunulmaktadır. Çizilen yükleme döngülerinde bileşen oluşturan eğik çizgiler tasarımsal amaçlıdır.

Şekil 6.32.'de belirtildiği üzere, modelin düşey doğrultudaki rijitliği için alt sınır değer, üst sınır değer ve nominal değer aynı şekilde tanımlanarak izolatör parametreleri düzenlenmiştir.

Şekil 6.31.'de verilen örnek tanımlama ekranında, alt sınır değerler kullanılarak tanımlama yapıldığı görülmektedir.

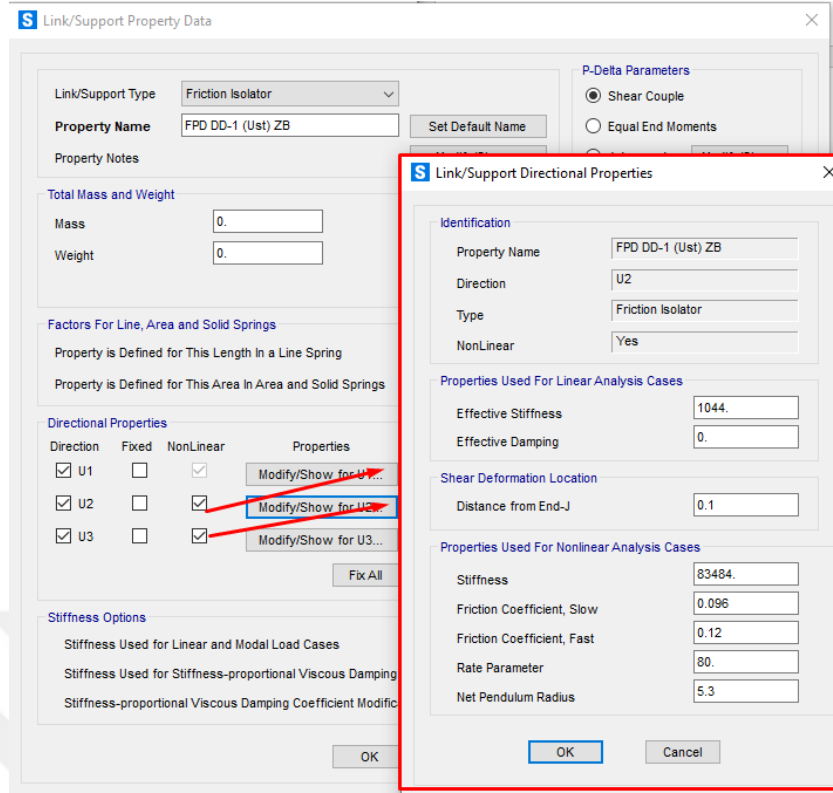


6.2.3.3. Model-2 T.E.Y.S.S.T.İ. (FPB) Hesabı (ZB Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası ile oluşturulan hesaplar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir. İzolatörlerin mekanik değerleri, Şekil 6.34'te ayrıntılı olarak gösterildiği üzere, çizgisel link eleman olarak SAP2000 programında modele eklenmiştir.

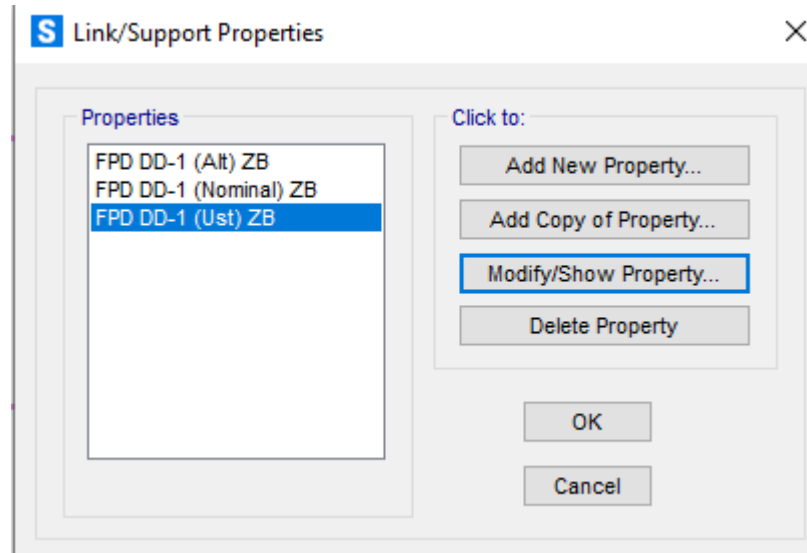
Analizde kullanılacak tüm izolatörlerin mekanik parametreleri Excel çalışma sayfasına ait ekran görüntüsü ile Şekil 6.36'da sunulmuştur. Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde düşey yöndeki rijitlikler çok yüksek bir değer olarak seçilmelidir. Hesabı basitçe çeliğin elastisite modülünün izolatör alanına çarpılıp izolatör yüksekliğine bölünmesiyle bulunabilir. Bu tezde ilgili değer hesabı yerine yüksek bir değer olan 9999999 değeri girilmiştir. Düşey rijitlik kontrolleri bu çalışma için kontrol edilmemektedir.

Hızlı ve yavaş sürtünme katsayıları için bu tezde hızlı sürtünme katsayısı yavaş sürtünme katsayısının %80'lik değeri olarak alınmıştır. Tezde bulunan tüm eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde bu oran korunmaktadır.



Şekil 6.34. Model-2 (DD-1) ZB Üst Sınır Değerli İzolator U2 ve U3 Rijitlik, Sürtünme ve Deplasman Tanımları

Girilen parametrelerde k_1 rijitliği etkin rijitliğin 80 katı olarak değerlendirilmiştir.



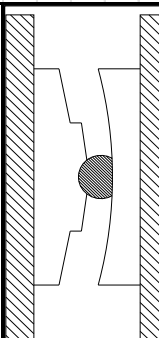
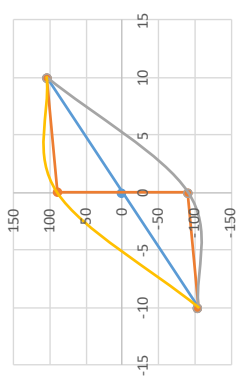
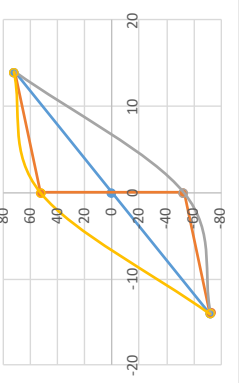
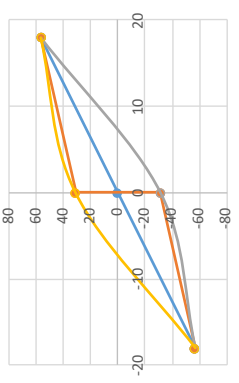
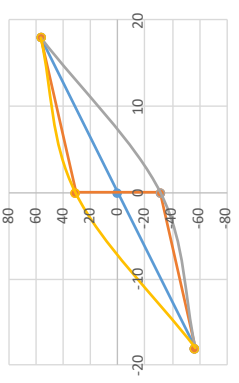
Şekil 6.35. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZB Zemin Sınıfı İçin)

Analizler için yapılan tüm hesapların bulunduğu Excel çalışma sayfası aşağıda sunulmaktadır. Çizilen yükleme döngülerinde bileşen oluşturan eğik çizgiler tasarımsal amaçlıdır.

Şekil 6.35'te belirtildiği üzere, modelin düşey doğrultudaki rijitliği için alt sınır değer, üst sınır değer ve nominal değer aynı şekilde tanımlanarak izolatör parametreleri düzenlenmiştir.

Şekil 6.34'te verilen örnek tanımlama ekranında, alt sınır değerler kullanılarak tanımlama yapıldığı görülmektedir.



Deprem Spektral Verileri		μ		$\lambda_{0.14}$ Değerinde Hesap (Alt Yapı Tasarımı)	
DD-1	ZB	ZC		P (izolatör üstünde bulunnan yapıya ait G+nQ değeri)	
S_s	1.800	1.800		izolatör Sayısı	35
S_1	0.439	0.439		D _(Beklenen)	0.100 m
S_{Ds}	1.620	2.160		$F_Q=F_Y$	90.21 kN
S_{D1}	0.351	0.659		k_1	83484 kN/m
DD-2	ZB	ZC		β_e	55.03%
S_s	0.962	0.962		T_M	1.70 sn
S_1	0.224	0.224		S_{ae}	0.198
S_{Ds}	0.866	1.154			
S_{D1}	0.179	0.336			
Yalıtım Birimi Özellikleri				Efektif Yalıtım Periyodunun Seçimi (Nominal)	
izolatör Şekli				P (izolatör üstünde bulunnan yapıya ait G+nQ değeri)	
Tek Sürtünme Yüzeyli Sarkaç Tipi İzolatör				izolatör Sayısı	35
				D _(Beklenen)	0.140 m
İzolatör Üstünde Yapıya Ait Kütle				$F_Q=F_Y$	52.47 kN
G	n	0.6		k_1	41298 kN/m
Q		21646.24 kN		β_e	46.22%
S		7166.63 kN		T_M	2.42 sn
G+nQ		482.63 kN		S_{ae}	0.14
Üst Değer		1.719			
Alt Değer		0.595			
μ (nominal)		0.07			
R_c		5.30 m			
Kuvvet - Yerdeğiştirme eğrisi				Kuvvet - Yerdeğiştirme eğrisi	
					
Kuvvet - Yerdeğiştirme eğrisi				Kuvvet - Yerdeğiştirme eğrisi	
					
Ölçek Periyodu Aralığı				Ölçek Periyodu Aralığı	
0.5 T _M (λ _{üst})				1.25 T _M (λ _{alt})	
0.850				0.563	

Şekil 6.36. Model-2 DD-1 (ZB) Excel Çalışma Sayfası

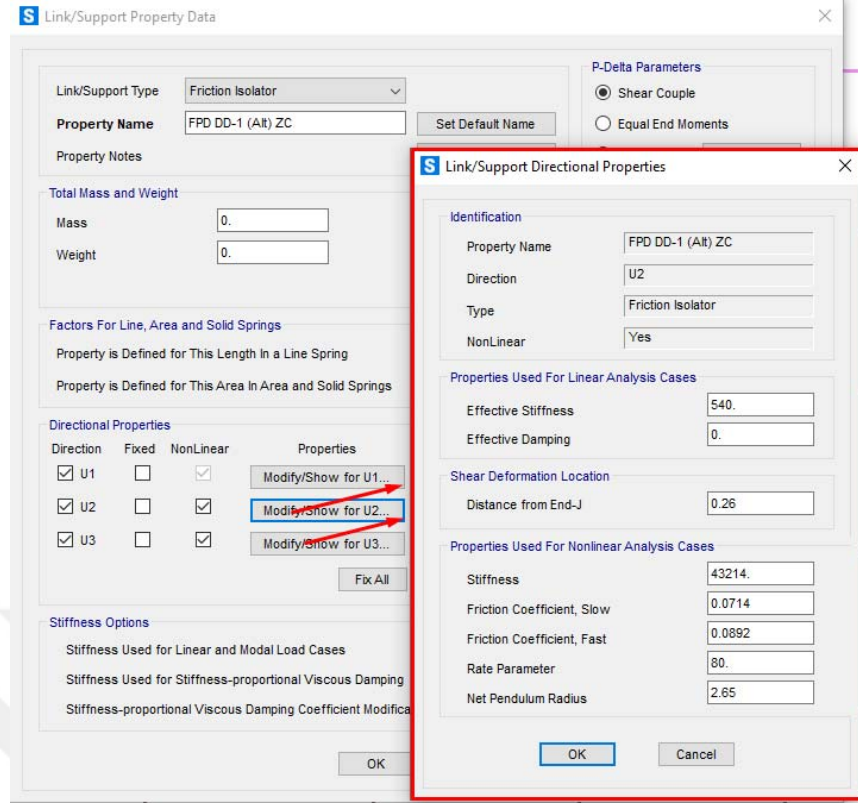
5.2.3.4. Model-2 T.E.Y.S.S.T.İ. (FPB) Hesabı (ZC Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası ile oluşturulan hesaplar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri detaylı bir şekilde belirlenmiştir. İzolatörlerin mekanik değerleri, Şekil 6.37’de ayrıntılı olarak gösterildiği üzere, çizgisel link eleman olarak SAP2000 programında modele eklenmiştir.

Analizde kullanılacak tüm izolatörlerin mekanik parametreleri Excel çalışma sayfasına ait ekran görüntüsü ile Şekil 6.38’de sunulmuştur.

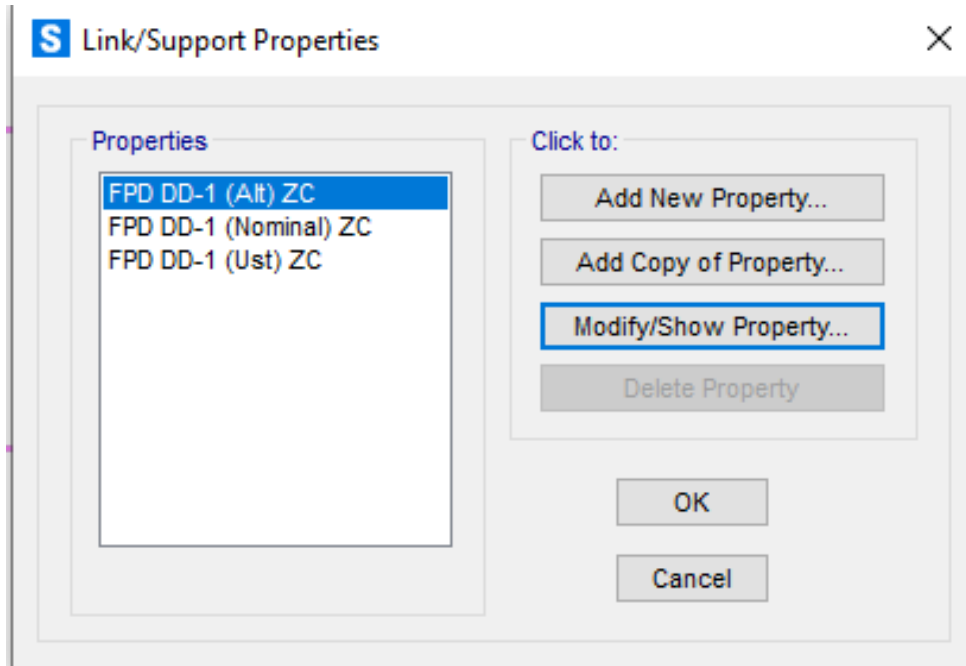
Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde düşey yöndeki rijitlikler çok yüksek bir değer olarak seçilmelidir. Hesabı basitçe çeliğin elastisite modülünün izolatör alanına çarpılıp izolatör yüksekliğine bölünmesiyle bulunabilir. Bu tezde ilgili değer hesabı yerine yüksek bir değer olan 9999999 değeri girilmiştir. Düşey rijitlik kontrolleri bu çalışma için kontrol edilmemektedir.

Hızlı ve yavaş sürtünme katsayıları için bu tezde hızlı sürtünme katsayısı yavaş sürtünme katsayısının %80 lik değeri olarak alınmıştır. Tezde bulunan tüm eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde bu oran korunmaktadır.



Şekil 6.37. Model-2 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör U2 ve U3 Rijitlik, Sürtünme ve Deplasman Tanımları

Girilen parametrelerde k_1 rijitliği etkin rijitliğin 80 katı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.38. Çizgisel Link Eleman Modelleri (ZC Zemin Sınıfı İçin)

Analizler için yapılan tüm hesapların bulunduğu Excel çalışma sayfası aşağıda sunulmaktadır. Çizilen yükleme döngülerinde bileşen oluşturan eğik çizgiler tasarımsal amaçlıdır.

Şekil 6.38'de belirtildiği üzere, modelin düşey doğrultudaki rijitliği için alt sınır değer, üst sınır değer ve nominal değer aynı şekilde tanımlanarak izolatör parametreleri düzenlenmiştir.

Şekil 6.37'de verilen örnek tanımlama ekranında, alt sınır değerler kullanılarak tanımlama yapıldığı görülmektedir.



6.2.4. Modellerin Oluşturulması (Protastructure 2025)

Modelleme arayüzü, SAP2000 modelleme platformundan yapısal bazı özellikleri açısından farklılık göstermektedir. Özellikle, SAP2000'de oluşturulabilen kaide sistemleri, incelenen paket programda aynı şekilde uygulanamamaktadır. Kolonların modellenmesi kat bazında gerçekleştirilmekte ve kolonların belirli seviyelerinde izolatör elemanları konumlandırılmaktadır. Yapısal modelleme açısından, bu husus SAP2000 modelinden ayrılan temel noktayı teşkil etmektedir.

Çalışma kapsamında modellenen yapılara ait kat planları Şekil 6.6. ve Şekil 6.7'de detaylı olarak gösterilmiştir. İzolatör elemanları, bodrum kat kolonlarının üst başlığına yakın bir konumda, giriş alt kotunda olarak yerleştirilmiştir.

Modelleme yaklaşımında, kolonlar ve kirişler çubuk eleman olarak, tabliyeler ise kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. Üstyapı ve altyapıda yer alan yapısal elemanlar doğrusal elastik malzeme özellikleri dikkate alınarak ve program tarafından otomatik olarak hesaplanan etkin rijitlik çarpanları kullanılarak modellenmiştir.

İzolatör modellemelerine ilişkin detaylı bilgiler, çalışmanın devam eden bölümlerinde alt başlıklar halinde sunulacaktır.

Malzeme

Varsayılan malzemeler

Temel Kat

Betonarme Kolonlar	C35	B420C
Perdeler	C35	B420C
Düşey Gövde Donatısı		B420C
Yatay Gövde Donatısı		B420C
Betonarme Kirişler	C35	B420C
Döşemeler	C35	B420C
Kompozit Döşemeler	C35	S500Q150
Nervür Döşemeler	C35	B420C
Etriyeler		B420C
Çelik Kolonlar	S275	
Çelik Kirişler	S275	
Makaslar	S235	
Aşıklar	S235	
Kuşak Kirişleri	S235	
Çapraz	S235	
Çubuk Elemanlar	S235	

Farklı Malzemeye Sahip Kat

Şekil 6.40. Protastructure Malzeme Tanımlı Arayüz

Beton

Beton

C10

C14

C15

C16

C18

C20

C25

C30

C35

C40

C45

C50

C55

C60

C70

C80

C100

Genel

Malzeme İsmi : C35

Malzeme Rengi : 255; 255; 0

Mekanik Özellikler

Elastisite Modülü : 33200.0 N/mm²

Kayma Modülü : 13833.3 N/mm²

Poisson Oranı : 0.20

Isıl Genleşme Katsayısı : 0.00001000 (1/°C)

Birim Ağırlık : 25.000 kN/m³

Beton Tipi : Normal Beton

Tasarım Parametreleri

Karakteristik Basınç Dayanımı (F_{ck}) : 35.00 N/mm²

Karakteristik Çekme Dayanımı (F_{ctk}) : 2.07 N/mm²

Malzeme Katsayısı : 1.50

Zamana Bağlı Özellikler

Zaman Modeli : CEB FIB 90

Basınç Dayanımı ve Rijitlik : 0.000

Sünme : 0.000

Büzülme : 0.000

☐ Bu katta bu malzeme kategorisindeki bütün elemanlara uygula

Şekil 6.41. C35 Beton Mekanik Özellikleri

Donatı Çeliği

Donatı Çeliği	
S220	
S420	
S500	
B420C	
B500C	
SBPDN 930/1080	
SBPDN 1080/1230	
SBPDN 1275/1420	

Genel	
Malzeme İsmi	: B420C
Malzeme Rengi	: 158; 96; 225

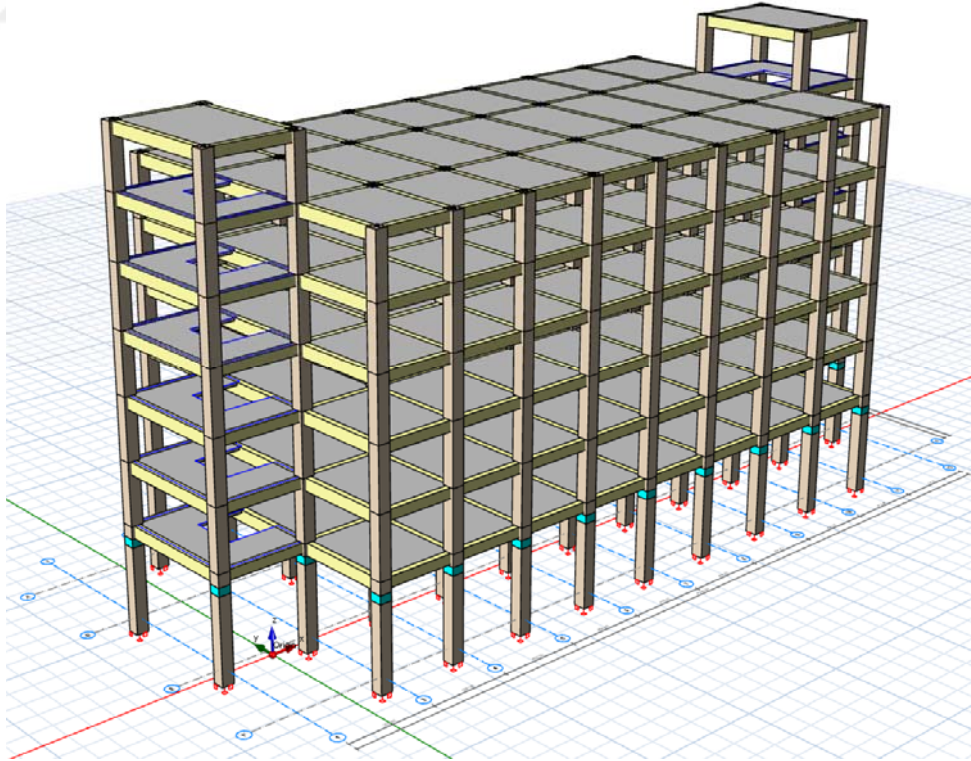
Mekanik Özellikler	
Elastisite Modülü	: 200000.0 N/mm ²
Kayma Modülü	: 76923.0 N/mm ²
Poisson Oranı	: 0.30
Isıl Genleşme Katsayısı	: 0.00001201 (1/°C)
Birim Ağırlık	: 78.000 kN/m ³

Donatı Çeliği Özellikleri	
Minimum Akma Dayanımı	: 420.00 N/mm ²
Kopma Dayanımı (Fu)	: 500.00 N/mm ²
Taşıma Dayanımı	: 500.00 N/mm ²
Malzeme Katsayısı	: 1.15
Donatı Simgesi	: Ø
Nervür Tipi	: Tip 2
Kanca	: ☐
Öngermeli	: ☐
Donatı Çapları	: Düzenle...

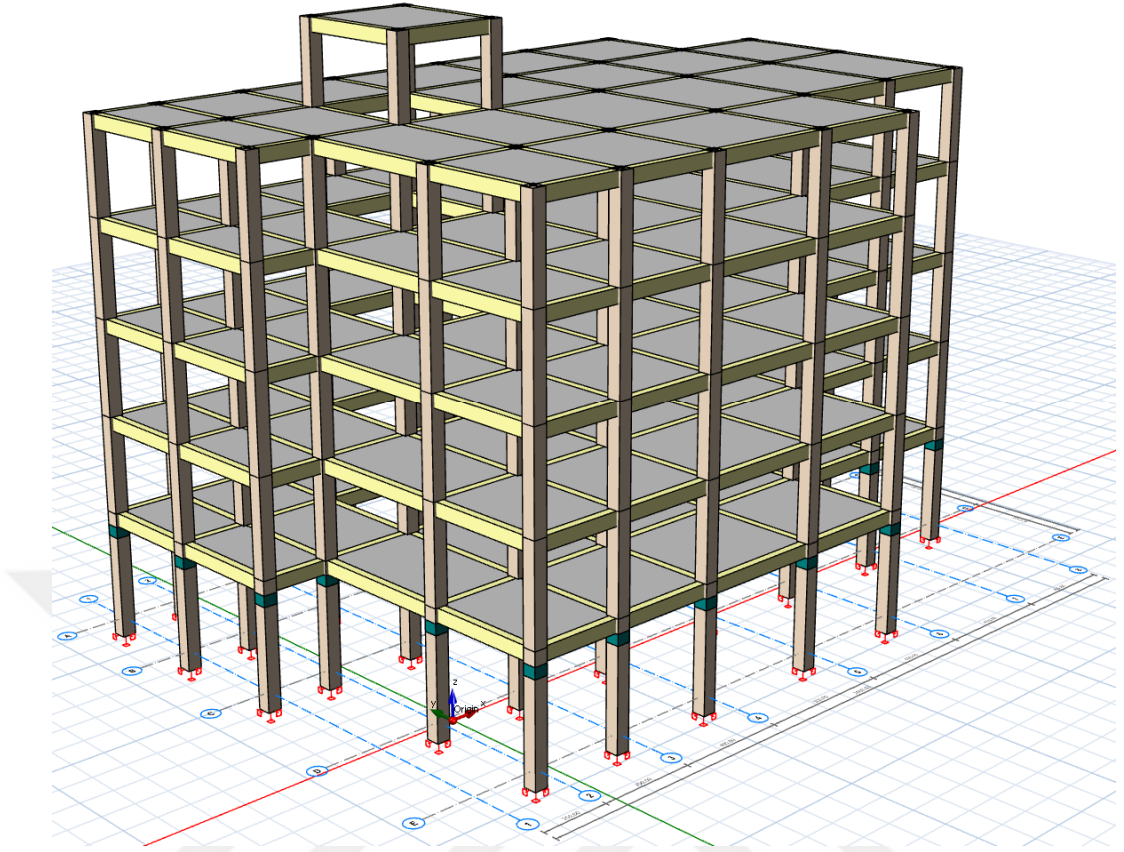
☐ Bu katta bu malzeme kategorisindeki bütün elemanlara uygula

☒ Tamam ☐ İptal

Şekil 6.42. B420C Donatı Mekanik Özellikleri



Şekil 6.43. Model-1 (Sismik İzolatör Tanımlaması Öncesi Modelleme)



Şekil 6.44. Model-1 (Sismik İzolatör Öncesi Modelleme)

6.2.4.1. Model-1 K.Ç.K.İ (LRB) Hesabı (ZB ve ZC Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası aracılığıyla gerçekleştirilen detaylı hesaplamalar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri kapsamlı bir şekilde tespit edilmiştir. Elde edilen izolatör mekanik değerleri, doğrusal olmayan analiz modeli için ilgili şekillerde (Şekil 6.45. ve Şekil 6.46.) gösterildiği üzere paket program içerisinde tanımlanmıştır.

SAP2000 modelleme yaklaşımından farklı olarak, incelenen paket program kullanıcıdan belirli parametrelerin girilmesini talep etmekte ve bu girilen değerler doğrultusunda yükleme döngülerini otomatik olarak oluşturmaktadır. Bu süreç, modelleme yaklaşımında metodolojik bir farklılığı ortaya koymaktadır.

Sismik İzolatörler

İzolatör İsmi: LRB (DD-1 / AÜst) ZB

Renk: 0; 255; 255

İzolatör Tipi: LRB

İzolatör Yüksekliği: 34.0 cm

Maksimum Yer Değiştirme Limiti: 0.11 m

Doğrusal Özellikler

K-x: 1500.0 kN/m

K-y: 1500.0 kN/m

K-Eksenel: 1000000000.0 kN/m

☒ Doğrusal Olmayan Özellikler

Eksenel Kuvvet: 1103.0 kN

Başlangıç Rijitliği (X): 3918.97 kN/m

Akma Sonrası Rijitlik (X): 391.9 kN/m

Başlangıç Rijitliği (Y): 3918.97 kN/m

Akma Sonrası Rijitlik (Y): 391.9 kN/m

Akma Kuvveti: 112.46 kN

Tamam İptal

Şekil 6.45. Model-1 (DD-1) ZB Üst Sınır Değerli İzolatör Tanımı (ProtaStructure2025)

Sismik İzolatörler

İzolatör İsmi: LRB (DD-1 / AÜst) ZC

Renk: 0; 255; 255

İzolatör Tipi: LRB

İzolatör Yüksekliği: 34.0 cm

Maksimum Yer Değiştirme Limiti: 0.26 m

Doğrusal Özellikler

K-x: 1500.0 kN/m

K-y: 1500.0 kN/m

K-Eksenel: 1000000000.0 kN/m

☒ Doğrusal Olmayan Özellikler

Eksenel Kuvvet: 1103.0 kN

Başlangıç Rijitliği (X): 3595.97 kN/m

Akma Sonrası Rijitlik (X): 359.6 kN/m

Başlangıç Rijitliği (Y): 3595.97 kN/m

Akma Sonrası Rijitlik (Y): 359.6 kN/m

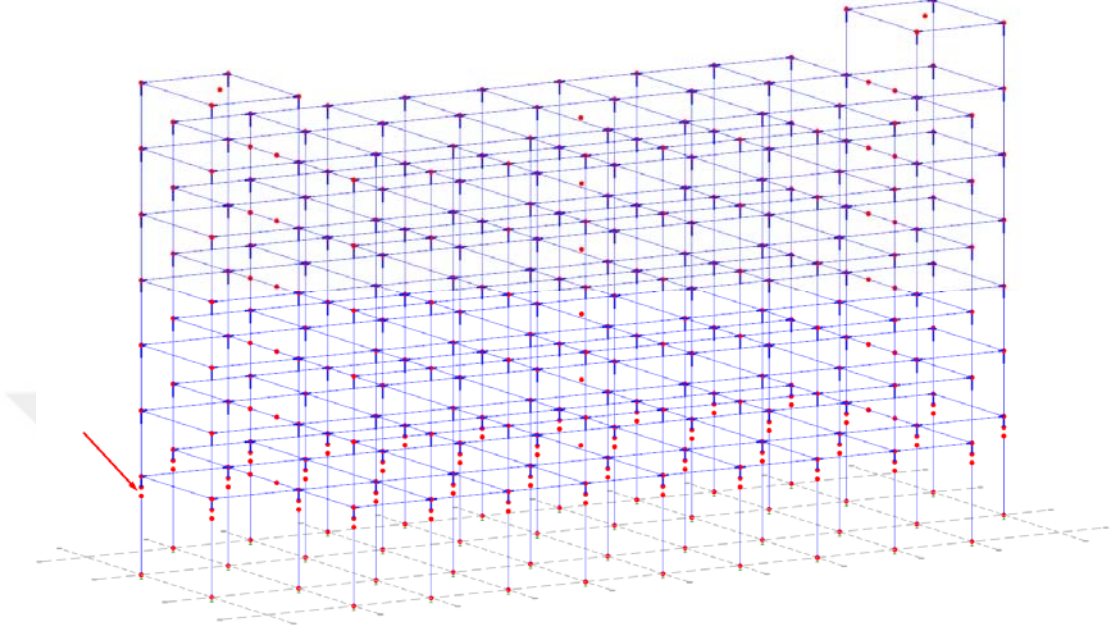
Akma Kuvveti: 148.56 kN

Tamam İptal

Şekil 6.46. Model-1 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)

SAP2000 modellemesi için kullanılan tüm model bilgileri aynıdır mekanik bilgilerdeki tek farklılık deplasman limitinde paket programda virgülden sonraki iki rakam yazılabilmektedir. Bu nedenle 0.105m olan değer 0.110m olarak girilmiştir. 5 cm oluşan bu fark analizlerde kontrol edilmiştir.

Modelle ait 3 boyutlu analitik görüntü Şekil 6.47’de verilmektedir. Verilen görseldeki ok ile işaretli bölümde izolatör yer almaktadır.



Şekil 6.47. Model-1 Analitik Model Görünümü

6.2.4.2. Model-2 K.Ç.K.İ (LRB) Hesabı (ZB ve ZC Zemin Sınıfı)

Excel çalışma sayfası aracılığıyla gerçekleştirilen detaylı hesaplamalar neticesinde, sismik izolatörlerin mekanik özellikleri kapsamlı bir şekilde tespit edilmiştir. Elde edilen izolatör mekanik değerleri, doğrusal olmayan analiz modeli için ilgili şekillerde (Şekil 6.48. ve Şekil 6.49.) gösterildiği üzere paket program içerisinde tanımlanmıştır.

SAP2000 modelleme yaklaşımından farklı olarak, incelenen paket program kullanıcıdan belirli parametrelerin girilmesini talep etmekte ve bu girilen değerler doğrultusunda yükleme döngülerini otomatik olarak oluşturmaktadır. Bu süreç, modelleme yaklaşımında metodolojik bir farklılığı ortaya koymaktadır.

Sismik İzolatörler

LRB (DD-1 (Alt)) ZB
LRB (DD-1 (Nominal)) ZB
LRB (DD-1 (Üst)) ZB
LRB (DD-1 (Alt)) ZC
LRB (DD-1 (Nominal)) ZC
LRB (DD-1 (Üst)) ZC

İzolator İsmi LRB (DD-1 (Üst)) ZB
Renk 0; 128; 128
İzolator Tipi LRB
İzolator Yüksekliği 24.0 cm
Maksimum Yer Değiştirme Limiti 0.11 m
Doğrusal Özellikler
K-x 1500.0 kN/m
K-y 1500.0 kN/m
K-Eksenel 1000000000.0 kN/m
Doğrusal Olmayan Özellikler
Eksenel Kuvvet 750.0 kN
Başlangıç Rijitliği (X) 3507.2 kN/m
Akma Sonrası Rijitlik (X) 350.72 kN/m
Başlangıç Rijitliği (Y) 3507.2 kN/m
Akma Sonrası Rijitlik (Y) 350.72 kN/m
Akma Kuvveti 68.03 kN
Tamam İptal

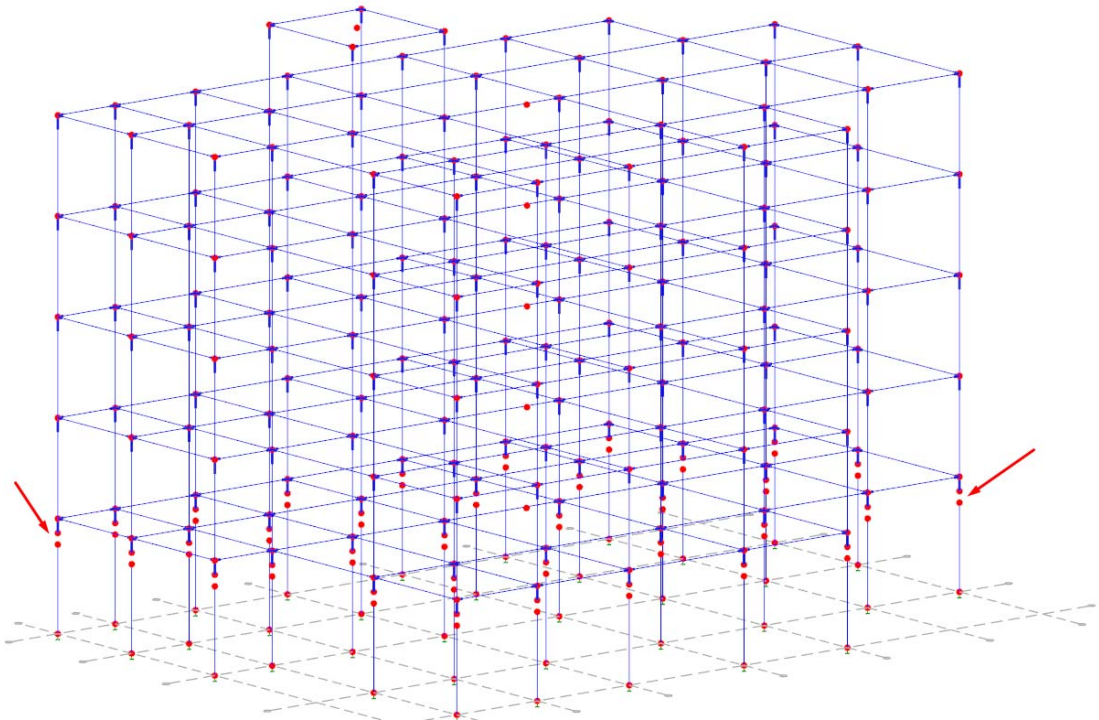
Şekil 6.48. Model-2 (DD-1) ZB Üst Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)

Sismik İzolatörler

LRB (DD-1 (Alt)) ZB	İzolator İsmi	LRB (DD-1 (Alt)) ZC
LRB (DD-1 (Nominal)) ZB	Renk	0; 128; 128
LRB (DD-1 (Üst)) ZB	İzolator Tipi	LRB
LRB (DD-1 (Alt)) ZC	İzolator Yüksekliği	24.0 cm
LRB (DD-1 (Nominal)) ZC	Maksimum Yer Değiştirme Limiti	0.22 m
LRB (DD-1 (Üst)) ZC	Doğrusal Özellikler	
	K-x	1500.0 kN/m
	K-y	1500.0 kN/m
	K-Eksenel	100000000.0 kN/m
	☒ Doğrusal Olmayan Özellikler	
	Eksenel Kuvvet	750.0 kN
	Başlangıç Rijitliği (X)	3205.18 kN/m
	Akma Sonrası Rijitlik (X)	320.52 kN/m
	Başlangıç Rijitliği (Y)	3205.18 kN/m
	Akma Sonrası Rijitlik (Y)	320.52 kN/m
	Akma Kuvveti	100.75 kN

Tamam İptal

Şekil 6.49. Model-2 (DD-1) ZC Alt Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)



Şekil 6.50. Model-2 Analitik Model Görünümü

6.2.4.3. Model-1 T.E.Y.S.S.T.İ. (FPB) Hesabı (ZB ve ZC Zemin Sınıfı)

SAP2000 üzerinde modellenmiş sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin mekanik özellik girdileri, incelenen paket programda kısmen farklılık göstermektedir. Program seçilen değerler doğrultusunda kendi hesaplamalarını gerçekleştirmekte; ancak başlangıç rijitliğini, elastik ötesi rijitliğin 100 katı olarak otomatik seçmektedir. SAP2000 modellemesiyle uyum sağlayabilmek amacıyla bu değerler, el ile düzenleme bölümü kullanılarak revize edilmiştir.

Veri giriş ekranında, SAP2000'den farklı olarak yavaş sürtünme katsayısı ve hızlı sürtünme katsayısı arasında bir ayrım bulunmamaktadır. Bu nedenle analizlerde yalnızca hızlı durum sürtünme katsayısı değeri dikkate alınmıştır.

Sismik İzolatörler

LRB (DD-1 / λ alt) ZB	İzolator İsmi	FPB (DD-1 / λ alt) ZB
LRB (DD-1 / λ nominal) ZB	Renk	0; 255; 255
LRB (DD-1 / λ üst) ZB	İzolator Tipi	FPS
LRB (DD-1 / λ alt) ZC		
LRB (DD-1 / λ nominal) ZC		
LRB (DD-1 / λ üst) ZC		
FPB (DD-1 / λ alt) ZB	İzolator Yüksekliği	34,0 cm
FPB (DD-1 / λ nominal) ZB	Maksimum Yer Değiştirme Limiti	0,19 m
FPB (DD-1 / λ üst) ZB		
FPB (DD-1 / λ alt) ZC		
FPB (DD-1 / λ nominal) ZC		
FPB (DD-1 / λ üst) ZC		

Doğrusal Özellikler

K-x	1500,0 kN/m
K-y	1500,0 kN/m
K-Eksenel	1000000000,0 kN/m

Doğrusal Olmayan Özellikler

Eksenel Kuvvet	1103,0 kN
Sürtünme Katsayısı	0,042
Net Sarkaç Yarıçapı	530,0 cm

El ile Düzenle

Başlangıç Rijitliği	35989,0 kN/m
Akma Sonrası Rijitlik	208,0 kN/m
Akma Kuvveti	45,94 kN

Tamam İptal

Şekil 6.51. Model-1 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)

Sismik İzolatörler

LRB (DD-1 / λ alt) ZB	İzolatör İsmi	FPB (DD-1 / λ üst) ZC
LRB (DD-1 / λ nominal) ZB	Renk	0; 255; 255
LRB (DD-1 / λ üst) ZB	İzolatör Tipi	FPS
LRB (DD-1 / λ alt) ZC	İzolatör Yüksekliği	34.0 cm
LRB (DD-1 / λ nominal) ZC	Maksimum Yer Değiştirme Limiti	0.17 m
LRB (DD-1 / λ üst) ZC	Doğrusal Özellikler	
FPB (DD-1 / λ alt) ZB	K-x	1500.0 kN/m
FPB (DD-1 / λ nominal) ZB	K-y	1500.0 kN/m
FPB (DD-1 / λ üst) ZB	K-Eksenel	1000000000.0 kN/m
FPB (DD-1 / λ alt) ZC		
FPB (DD-1 / λ nominal) ZC		
FPB (DD-1 / λ üst) ZC		

Doğrusal Olmayan Özellikler

☒ Doğrusal Olmayan Özellikler

Eksenel Kuvvet 1103.0 kN

Sürtünme Katsayısı 0.258

Net Sarkaç Yarıçapı 265.0 cm

☒ El ile Düzenle

Başlangıç Rijitliği 167143.0 kN/m

Akma Sonrası Rijitlik 416.0 kN/m

Akma Kuvveti 284.43 kN

Tamam İptal

Şekil 6.52. Model-1 (DD-1) ZC Üst Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)

5.2.4.4. Model-2 T.E.Y.S.S.T.İ. (FPB) Hesabı (ZB ve ZC Zemin Sınıfı)

SAP2000 üzerinde modellenmiş sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin mekanik özellik girdileri, incelenen paket programda kısmen farklılık göstermektedir. Program seçilen değerler doğrultusunda kendi hesaplamalarını gerçekleştirmekte; ancak başlangıç rijitliğini, elastik ötesi rijitliğin 100 katı olarak otomatik seçmektedir. SAP2000 modellemesiyle uyum sağlayabilmek amacıyla bu değerler, el ile düzenleme bölümü kullanılarak revize edilmiştir.

Veri giriş ekranında, SAP2000'den farklı olarak yavaş sürtünme katsayısı ve hızlı sürtünme katsayısı arasında bir ayrım bulunmamaktadır. Bu nedenle analizlerde yalnızca hızlı durum sürtünme katsayısı değeri dikkate alınmıştır.

Sismik İzolatörler

İzolatör İsmi: FPB (DD-1 (Alt)) ZB

Renk: 0; 128; 128

İzolatör Tipi: FPS

İzolatör Yüksekliği: 24.0 cm

Maksimum Yer Değiştirme Limiti: 0.18 m

Doğrusal Özellikler

K-x: 1500.0 kN/m

K-y: 1500.0 kN/m

K-Eksenel: 1000000000.0 kN/m

☒ Doğrusal Olmayan Özellikler

Eksenel Kuvvet: 750.0 kN

Sürtünme Katsayısı: 0.042

Net Sarkaç Yarıçapı: 530.0 cm

☒ El ile Düzenle

Başlangıç Rijitliği: 25190.0 kN/m

Akma Sonrası Rijitlik: 141.0 kN/m

Akma Kuvveti: 31.22 kN

Tamam İptal

Şekil 6.53. Model-2 (DD-1) ZB Alt Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)

Sismik İzolatörler

İzolatör İsmi: FPB (DD-1 (Üst)) ZC

Renk: 0; 128; 128

İzolatör Tipi: FPS

İzolatör Yüksekliği: 24.0 cm

Maksimum Yer Değiştirme Limiti: 0.16 m

Doğrusal Özellikler

K-x: 1500.0 kN/m

K-y: 1500.0 kN/m

K-Eksenel: 1000000000.0 kN/m

☒ Doğrusal Olmayan Özellikler

Eksenel Kuvvet: 750.0 kN

Sürtünme Katsayısı: 0.258

Net Sarkaç Yarıçapı: 265.0 cm

☒ El ile Düzenle

Başlangıç Rijitliği: 119285.0 kN/m

Akma Sonrası Rijitlik: 283.0 kN/m

Akma Kuvveti: 193.31 kN

Tamam İptal

Şekil 6.54. Model-2 (DD-1) ZC Üst Sınır Değerli İzolatör Tanımı (Protastructure)

6.2. Deprem Kayıtlarının Temini ve Ölçeklendirilmesi

Çalışmada kullanılan tüm deprem kayıtları aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Kullanılan deprem kayıtlarındaki çeşitlilik (TBDY-2018 Madde 2.5.1.3'e göre en az sayıda seçilecek olan kayıt sayısı 11 adettir [2]. Fakat tez genelinde 23 farklı deprem kaydı kullanılmıştır. zemin sınıfları için seçilecek olan $V_s(30)$ hızlarının farklılaşması nedeniyle oluşmaktadır. Projede kullanılan deprem kayıtlarını gösterir Tablo 6.12. olarak verilmiştir.

Tablo 6.12. Kullanılan Deprem Kayıtları ve Deprem Yılları

Deprem İsmi	Deprem Yılı	Deprem İsmi	Deprem Yılı	Deprem İsmi	Deprem Yılı
Kern County	1952	Nahanni	1985	Kocaeli	1999
Borrego Mtn	1968	Taiwan 1986	1986	Chi-Chi	1999
San Fernando	1971	N. Palm Springs	1986	Düzce	1999
Tabas	1978	Loma Prieta	1989	Hector Mine	1999
Irpinia, Italy-01	1980	Landers	1992	Tottori	2000
Ierissos, Greece	1983	Cape Mendocino	1992	El Mayor	2010
Coalinga-08	1983	Landers	1992	Darfield	2010
Morgan Hill	1984	Kobe	1995		

Oluşturulan tüm modeller bu deprem kayıtlarının farklı kombinasyonlarına göre analiz edilmiştir. Yapı tasarımında enerjinin korunumu esastır. Enerjinin korunumu yaklaşımının formülize edilmiş hali Denklem 6.14 ve Denklem 6.15 ile ifade edilir.

$$E\dot{I} = EE + EK + EH + EV \quad (1.1)$$

$$ED = EH + EV \quad (1.2)$$

$E\dot{I}$ = Yapıya giren sismik enerji

EE= Elastik enerji

EK= Kinetik enerji

ED= Sönümlenen enerji

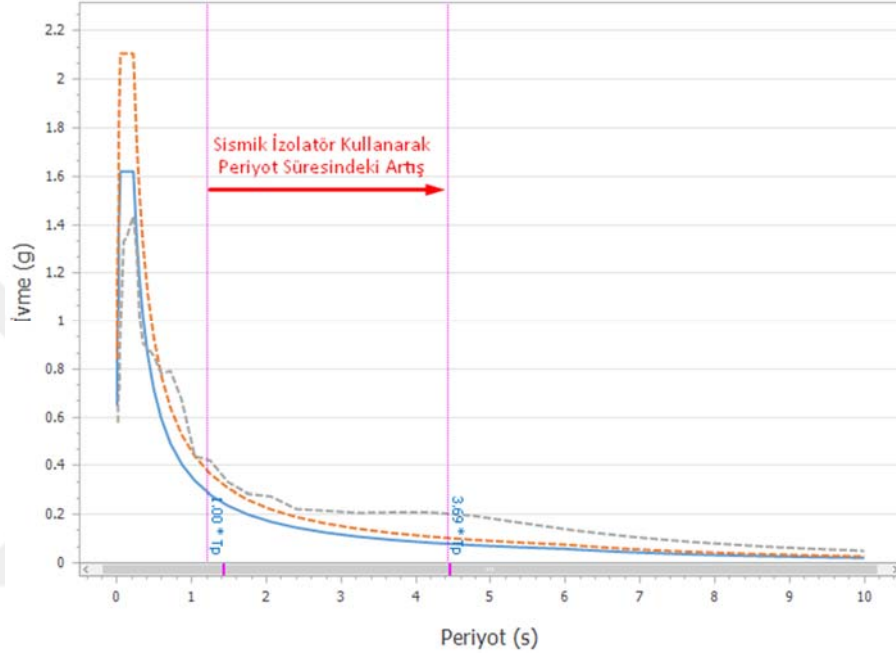
EH= Histerik enerji

EV= Viskoz enerji

$$E\dot{I} < EE + EK + EH + EV \quad (6.16)$$

$$EH + EV = ED \quad (6.17)$$

Olduğuna göre, Kapasite Talepten büyük olmalıdır. Genel anlamda sismik izolasyon kullanımındaki amaç yapıya giren sismik enerjinin ($E\dot{I}$) azaltılmasıdır [3].



Şekil 6.55. Yapı Periyodu ve İvme Değişimi

Şekil 6.55'te ankastre bir yapının izolatör ile periyodunun artırılması ve oluşan ivme değişimi gösterilmektedir. Periyot artırılarak sisteme gelen ivme değerleri değiştirilmektedir. Bu şekilde yapıda oluşacak olan kat ötelemeleri (yer değiştirmeler) ve taban kesme kuvvetleri değiştirilerek yapının en az deformasyona uğrayacağı tasarım yoluna gidilmektedir.

6.2.2. Deprem Kayıtlarının Temini

Çalışmada kullanılan tüm deprem kayıtları, "Pacific Earthquake Engineering Research Center" internet sitesinden, zemin sınıfı değerlerine göre filtrelenmek suretiyle elde edilmiştir (Şekil 6.65.). Kayıtların seçiminde herhangi bir ölçeklendirme yapılmamış olup, 90° aı oluşturan ivme-zaman kayıtları ham haliyle temin edilmiştir.

New Search

Load Sample Input Values

Clear Input Values

Search

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

Record Characteristics:

RSN(s) : RSN1,...RSNn

Event Name :

Station Name :

Search Parameters:

Fault Type :

Magnitude :
min,max

RJB(km) :
min,max

Rrup(km) :
min,max

Vs30(m/s) :
min,max

D5-95(sec) :
min,max

Pulse :

Additional Characteristics:

Max No. Records :
(<=100)

Suite

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

Suite Average :

Controls

Search Records

Şekil 6.56. Yakın Fay Depremi Kayıtları için Örnek Filtreleme

Temin edilen ivme-zaman kayıtları, yalnızca hedef spektrum oluşturma ve AFAD tarafından sağlanan hedef spektrumun zaman adımlarıyla uyumluluğunu sağlama amacıyla Seismomatch programı aracılığıyla işlenmiştir (Şekil 6.57. ve Şekil 6.58.). Zaman adımları bakımından uyumlu hale getirilen kayıtlar, Excel çalışma sayfasında detaylı bir şekilde analiz edilerek her bir izolatör için farklı zaman aralıklarına karşılık gelen basit ölçeklendirme katsayıları tespit edilmiştir.

Settings

General Matching Parameters Response Spectra Ground Motion Parameters Units

Integration Parameters

Gamma 0.5

Beta 0.25

Maximum dt/T 0.02

Period Range and Step

Min. Period 0.05

Max. Period 8

Period Step 0.05

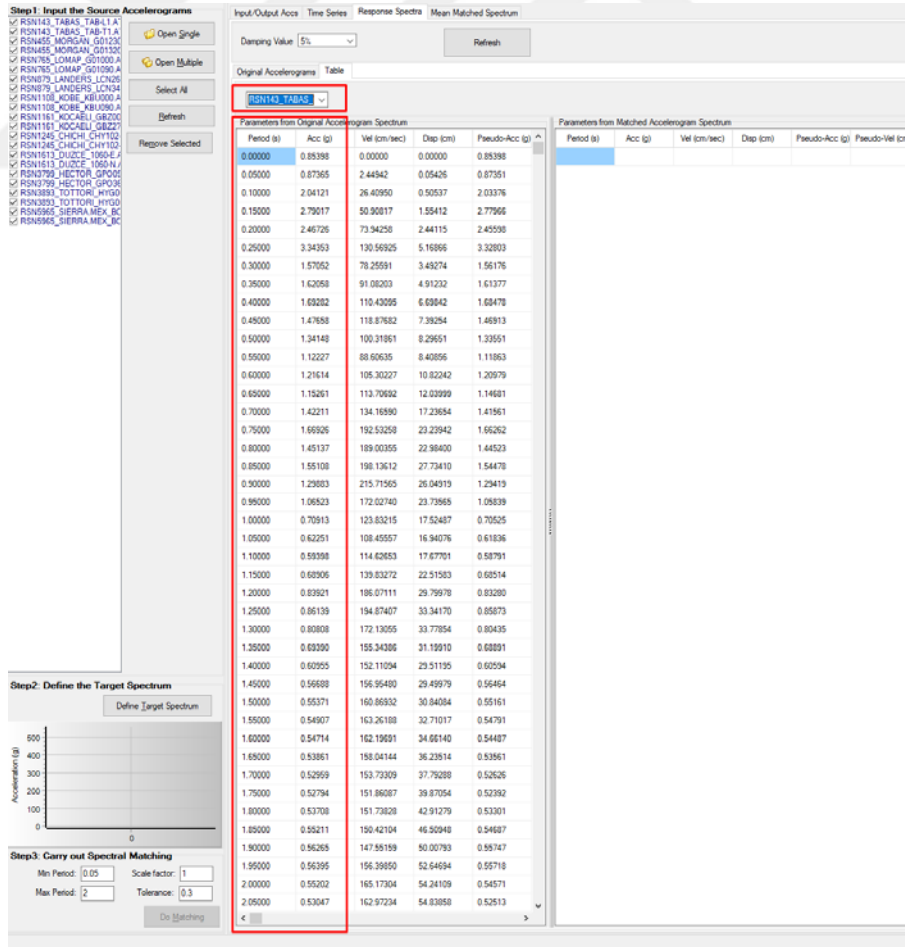
Program Defaults

Set As Default

OK

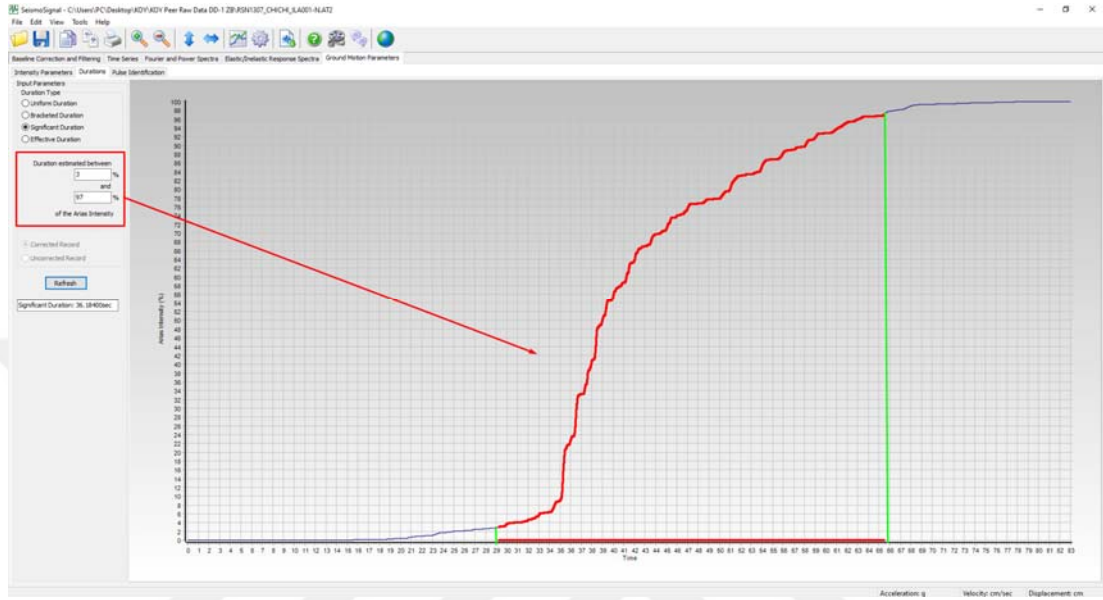
Cancel

Şekil 6.57. Periyot Adımının Düzenleme Ayarları (Seismomatch)



Şekil 6.58. Seismomatch İvme-Zaman Değerlerinin Temin Edilmesi (Örnek)

Spektral uyumu ve ölçeklendirme işlemlerinde Seismomatch programından kesinlikle yararlanılmamıştır. Uzun süreli deprem kayıtlarında analiz yoğunluğunu ve süresini azaltmak amacıyla Seismosignal programı kullanılarak kayıtlar, depremin kritik zaman dilimlerine indirgenmiştir (Şekil 6.59.).



Şekil 6.59. Seismosignal İndirgeme

Deprem kayıtlarının seçiminde, yakın fay durumunun incelenmesi kritik önem taşımıştır. Bu kapsamda, MTA (Maden Teknik ve Arama) Genel Müdürlüğünün resmî sitesinde [52] yer alan 1:250.000 Ölçekli Kütahya Paftası diri fay haritaları kullanılarak parsele en yakın diri fayın uzaklığı belirlenmiştir (Şekil 6.60). Diri fay hattının parsele yakınlığı (13 km) dikkate alınarak, deprem kayıtları arasında en az iki adet yakın fay deprem kaydı temin edilmiştir.

Tablo 6.13. Model-1 DD-1 ZB Deprem Kayıtları

Deprem Kayıt No	RSN No	Depremin Adı	Ölçüm Yapılan İstasyon	Deprem Yılı	Deprem Türü	Yakın Fay Durumu (Pulse Effect)	Deprem Büyüklüğü (Mw)	RJB (km)	Vs30 (m/sn)
1	143	Tabas	Tabas	1978	Reverse	Pulse Effect Var	7.35	1.79	766.77
2	879	Landers	Lucerne	1992	Strike Slip	Pulse Effect Var	7.28	2.19	1369.00
3	1161	Kocaeli	Gebze	1999	Strike Slip	Pulse Effect Var	7.51	7.57	792.00
4	1245	Chi-Chi	CHY01	1999	Reverse Oblique	-	7.62	36.06	804.36
5	1256	Chi-Chi	HWA002	1999	Reverse Oblique	-	7.62	53.30	789.18
6	1307	Chi-Chi	ILA001	1999	Reverse Oblique	-	7.62	101.24	909.09
7	1613	Düzce	Lamont 1060	1999	Strike Slip	-	7.14	25.78	782.00
8	3799	Hector Mine	LA - Griffith Park Observatory	1999	Strike Slip	-	7.13	185.92	1015.88
9	5965	El Mayor	Big Chuckawalla Mtns	2010	Strike Slip	-	7.20	112.83	763.00
10	5967	El Mayor	Blythe	2010	Strike Slip	-	7.20	164.38	1029.00
11	5993	El Mayor	El Monte County Park	2010	Strike Slip	-	7.20	104.90	805.00

Tablo 6.14. Model-1 DD-1 ZC Deprem Kayıtları

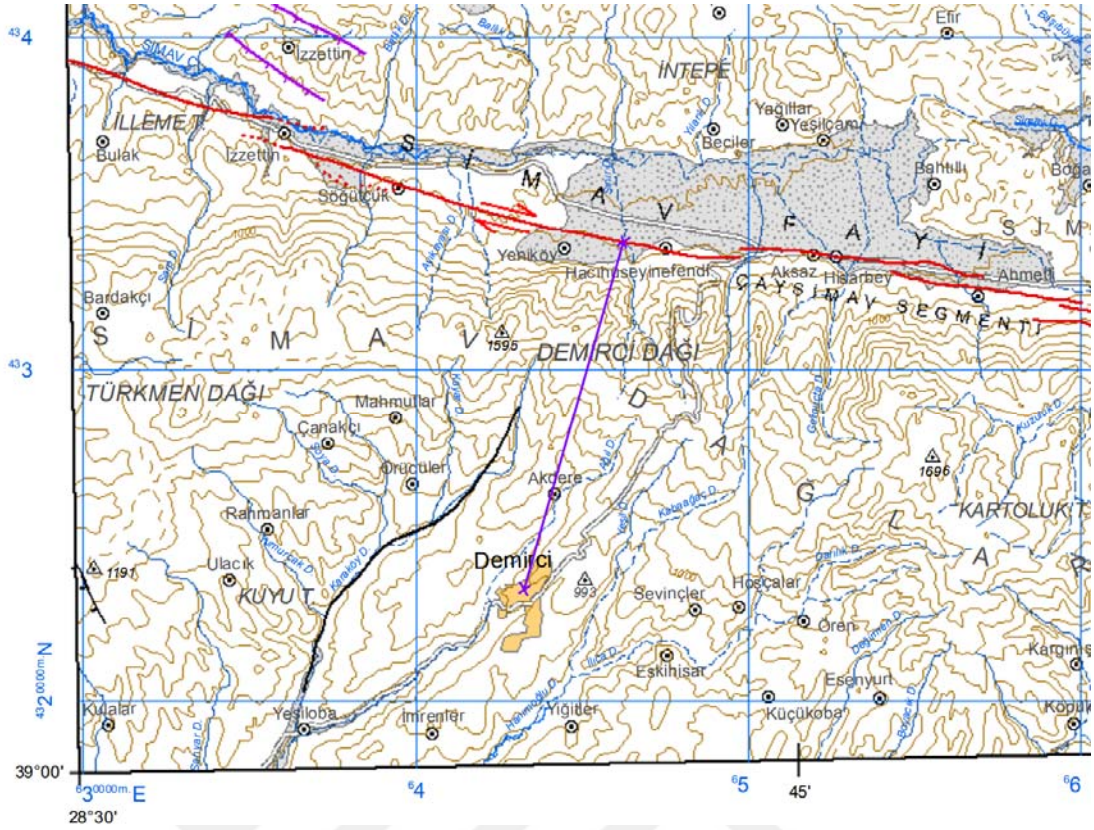
Deprem Kayıt No	RSN No	Depremin Adı	Ölçüm Yapılan İstasyon	Deprem Yılı	Deprem Türü	Yakın Fay Durumu (Pulse Effect)	Deprem Büyüklüğü (Mw)	RJB (km)	Vs30 (m/sn)
1	15	Kern County	Taft Lincoln School	1952	Reverse	Pulse Effect Var	7.36	38.42	385.43
2	139	Tabas	Dayhook	1978	Reverse	Pulse Effect Var	7.35	0.00	471.53
3	572	Taiwan 1986	SMART1 E02	1986	Reverse	Pulse Effect Var	7.30	51.35	671.52
4	825	Cape Mendocino	Cape Mendocino	1992	Reverse	-	7.01	0.00	567.78
5	828	Cape Mendocino	Petrolia	1992	Reverse	-	7.01	0.00	422.17
6	832	Landers	Amboy	1992	Strike Slip	-	7.28	69.21	382.93
7	838	Landers	Barstow	1992	Strike Slip	-	7.28	34.86	370.08
8	1148	Kocaeli	Arcelik	1999	Strike Slip	-	7.51	10.56	523.00
9	1160	Kocaeli	Fatih	1999	Strike Slip	-	7.51	53.34	386.75
10	1184	Chi-Chi	CHY010	1999	Reverse Oblique	-	7.62	19.93	538.69
11	1611	Duzce	Lamont 1058	1999	Strike Slip	-	7.14	0.21	529.18

Tablo 6.15. Model-2 DD-1 Deprem Kayıtları

Deprem Kayıt No	RSN No	Depremin Adı	Ölçüm Yapılan İstasyon	Deprem Yılı	Deprem Türü	Yakın Fay Durumu (Pulse Effect)	Deprem Büyüklüğü (Mw)	RJB (km)	V _{s30} (m/sn)
1	143	Tabas	Tabas	1978	Reverse	Pulse Effect Var	7.35	1.79	766.77
2	455	Morgan Hill	Gilroy Array #1	1984	Strike Slip	Pulse Effect Var	6.19	14.90	1428.14
3	765	Loma Prieta	Gilroy Array #1	1989	Reverse Oblique	Pulse Effect Var	6.93	8.84	1428.14
4	879	Landers	Lucerne	1992	Strike Slip	-	7.28	2.19	1369.00
5	1108	Kobe	Kobe University	1995	Strike Slip	-	6.90	0.90	1043.00
6	1161	Kocaeli	Gebze	1999	Strike Slip	-	7.51	7.57	792.00
7	1245	Chi-Chi	CHY102	1999	Reverse Oblique	-	7.62	36.06	804.36
8	1613	Duzce	Lamont 1060	1999	Strike Slip	-	7.14	25.78	782.00
9	3799	Hector Mine	LA - Griffith Park Observatory	1999	Strike Slip	-	7.13	185.92	1015.88
10	3893	Tottori	HYG004	2000	Strike Slip	-	6.61	108.34	834.56
11	5965	El Mayor	Big Chuckawalla Mtns	2010	Strike Slip	-	7.20	112.83	763.00

Tablo 6.16. Model-2 DD-1 ZC Deprem Kayıtları

Deprem Kayıt No	RSN No	Depremin Adı	Ölçüm Yapılan İstasyon	Deprem Yılı	Deprem Türü	Yakın Fay Durumu (Pulse Effect)	Deprem Büyüklüğü (Mw)	RJB (km)	V _{s30} (m/sn)
1	14	Kern County	Santa Barbara Courthouse	1952	Reverse	+	7.36	81.30	514.99
2	39	Borrego Mtn	Pasadena - CIT Athenaeum	1968	Strike Slip	+	6.63	207.14	415.13
3	81	San Fernando	Pearlblossom Pump	1971	Reverse	+	6.61	35.54	529.09
4	139	Tabas	Dayhook	1978	Reverse	-	7.35	0.00	471.53
5	294	Irpina, Italy-01	Tricarico	1980	Normal	-	6.90	51.74	496.46
6	420	Ierissos, Greece	Ierissos	1983	Strike Slip	-	6.70	65.67	463.92
7	424	Coalinga-08	Sulphur Baths	1983	Strike Slip	-	5.23	17.81	617.43
8	496	Nahanni	Site 2	1985	Reverse	-	6.76	0.00	605.04
9	528	N. Palm Springs	Murrieta Hot Springs	1986	Reverse Oblique	-	6.06	54.67	532.85
10	1182	Chi-Chi	CHY006	1999	Reverse Oblique	-	7.62	9.76	438.19
11	6928	Darfield	LPCC	2010	Strike Slip	-	7.00	25.21	649.67



Şekil 6.60. MTA Dirir Fay Haritası (Kütahya Paftası Parçası)

6.2.3. Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) 2.5.2 maddesine göre üç boyutlu hesaplamalar için seçilen her bir deprem kayıt takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Yönetmelikte, seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının, verilen periyot değerleri içerisinde hedef spektrumun en az 1.3 katı olması gerektiği belirtilmiştir.

Bu nedenle çalışmada, her bir izolatör tipi ve zemin sınıfı için ayrı ayrı olmak üzere 8 farklı durum için ivme ölçekleme değeri oluşturulan excel çalışma sayfası ile tanımlanmıştır.

Excel çalışma sayfalarıyla hesaplanan basit ölçeklendirme ölçek katsayısı değerleri Tablo 6.17’de sunulmuştur. Ölçeklendirme katsayılarının bulunduğu excel çalışma sayfalarına ait örnek ekran görüntüsü Şekil 6.61’de verilmiştir.

Bu ölçek katsayıları değerleri kullanılarak deprem kayıtları ölçeklendirilmiş ve SAP2000 de analiz için ölçekli deprem kayıtları kullanılmıştır.

Tablo 6.17. Basit Ölçeklendirme Katsayıları Değerleri

Yapı	Zemin Sınıfı	Ölçek Katsayısı	Yapı	Zemin Sınıfı	Ölçek Katsayısı
Model-1 (LRB)	ZB	2.1413	Model-1 (LRB)	ZC	2.7229
Model-1 (FPB)	ZB	2.1418	Model-1 (FPB)	ZC	2.7237
Model-2 (LRB)	ZB	1.5128	Model-2 (LRB)	ZC	1.7717
Model-2 (FPB)	ZB	1.5132	Model-2 (FPB)	ZC	1.8583

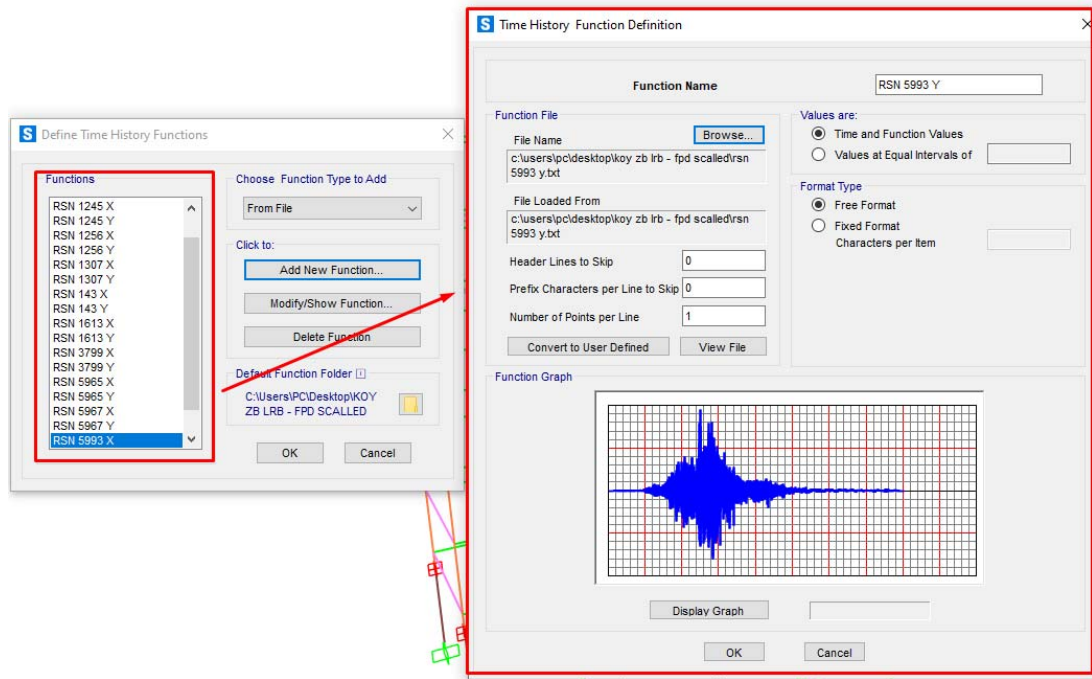
The screenshot displays a software interface with a large data table. The table has multiple columns, including 'Yapı', 'Zemin Sınıfı', 'Ölçek Katsayısı', and various numerical values. The data is organized into several sections, with the first section labeled '2.1782'. The table contains a wide range of numerical data, likely representing seismic analysis results or material properties. The interface includes standard software elements like a menu bar, toolbar, and status bar.

Şekil 6.61. Model-1 ZB DD-1 (Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör)

6.3. Kombinasyonların Tanımlanması ve Deprem İvmeleri Tanımlanması

SAP2000 programında, ivme-zaman kayıtları kullanılarak ivme tanımlamaları yapılmış ve bu ivme değerlerinden tepki spektrumu grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 6.62. ve Şekil 6.63.). Oluşturulan bu grafikler, yük kombinasyonlarına (Şekil 6.70) dahil edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Yönetmelik kapsamında hazırlanan yük kombinasyonları ile yapılan analizlerin sonuçları, bulgular bölümünde tablolar ile sunulmuştur.

Çalışmada daha kesin sonuçların elde edilmesi planlanan durumlar için analiz çözümleme tipi olarak “Doğrudan İntegrasyon Analizi (DIN)” yöntemi seçilmiştir. Daha hızlı ve çoklu sonuçların elde edilmesi planlanan bölümler içinse “Hızlı lineer Olmayan Analiz (FNA)” yöntemi seçilmiştir.



Şekil 6.62. Time-History Fonksiyon Tanımlamaları

S Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: EQx Set Def Name Modify/Show...

Initial Conditions
☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☐ Continue from State at End of Nonlinear Case
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case
 Use Modes from Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RSN 143 X	1000.

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data
 Number of Output Time Steps: 1650
 Output Time Step Size: 0.02

Other Parameters
 Damping: None Modify/Show...
 Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...
 Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

Load Case Type: Time History Design...
 Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear
 Solution Type: ☐ Modal ☒ Direct Integration
 Geometric Nonlinearity Parameters: ☒ None ☐ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements
 History Type: ☒ Transient ☐ Periodic Consider Collapse
 Mass Source: Previous

OK Cancel

Şekil 6.63. Load Case Data Oluşturulması

Deprem için oluşturulan kombinasyonlar TBDY-2018 Madde 14.10 uyarında belirtilen yalıtım arayüzünde bulunan ve altında kalan elemanlara etki eden yüklerin hesabında aşağıda verilen yük birleşimleri dikkate alınacaktır. Hükmü gereğince tanımlanmıştır. Alt yapı hesapları için kullanılacak kombinasyonlar DD-1 ile kullanılacak kombinasyonlarıdır (TBDY-2018 Madde 14.1-14.2-14.3). Ve Üst yapı analizleri için kullanılacak DD-2 ile kullanılacak standart kombinasyonlardır. (TBDY-2018 Madde 4.11. ve 4.12.)

Alt Yapı Kombinasyonları:

- 1.4 G + 1.6 Q
- 1.2 G + Q ± Ed
- 0.9 G ± Ed

Ed değeri EX+0.3EY , -EX+0.3EY , -EX-0.3EY , EX-0.3EY ve 0.3EX+EY , -0.3EX+EY , -0.3EX-EY , 0.3EX-EY olarak kombine edilmektedir.

Üst Yapı Kombinasyonları:

- $G + Q + 0.2S + Ed(H) + 0.3 Ed(Z)$
- $0.9G + H + Ed(H) - 0.3 Ed(Z)$

G = Ölü Yük Etkisi

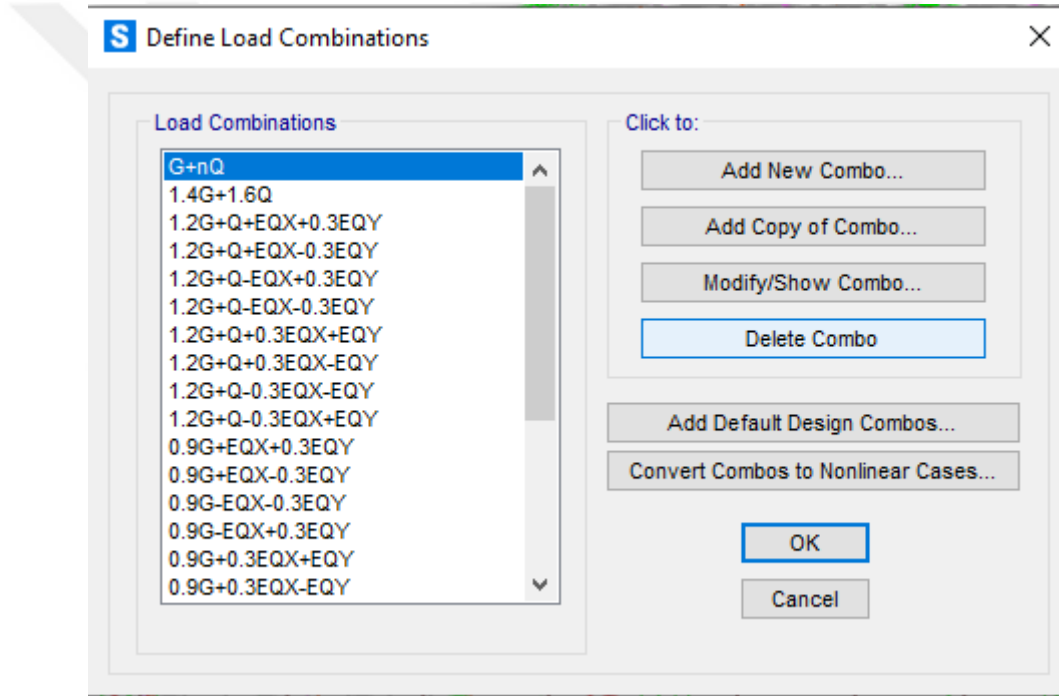
Q = Hareketli Yük Etkisi

S = Kar Yüğü Etkisi

H = Yatay İtki Yüğü

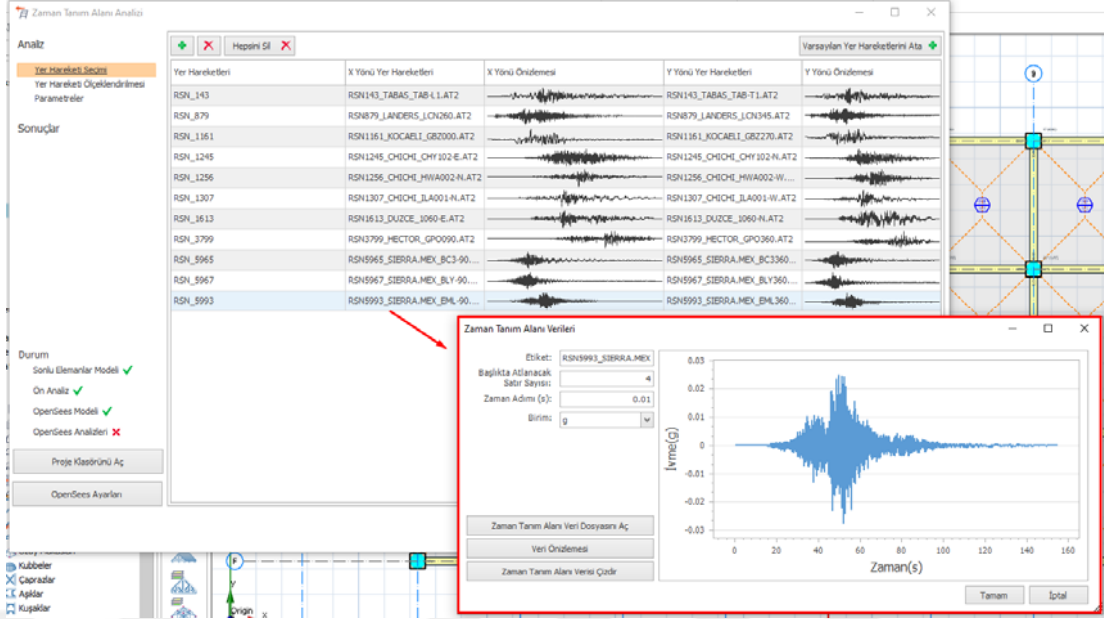
Ed(H) = Yatay Deprem Etkisi

Ed(Z) = Düşey Deprem Etkisi

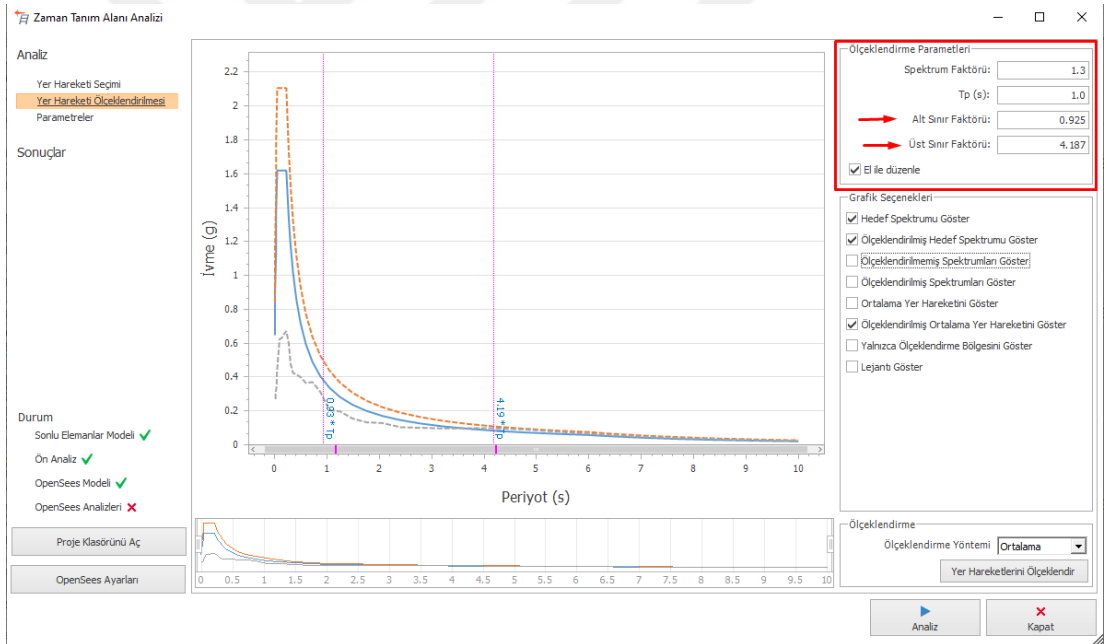


Şekil 6.64. SAP2000 Kombinasyonları

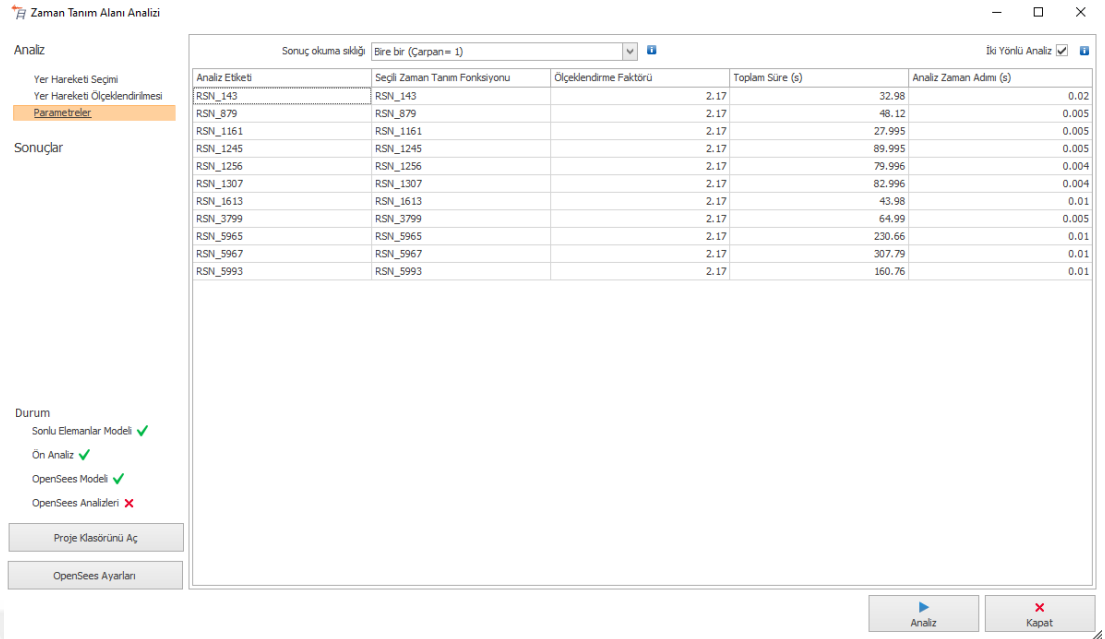
Protastructure 2025 programında ise ölçeklendirme işlemi, program tarafından belirlenen değer aralıklarında, girilen ivme-zaman kayıtları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.65., Şekil 6.66. ve Şekil 6.67.). Analizlerde kullanılan kombinasyonlar, SAP2000 programında tanımlanan kombinasyonlar (Şekil 6.68) ile aynı şekilde uygulanmıştır. Protastructure programı ile gerçekleştirilen analizlerin sonuçları da bulgular bölümünde detaylı olarak yer almaktadır.



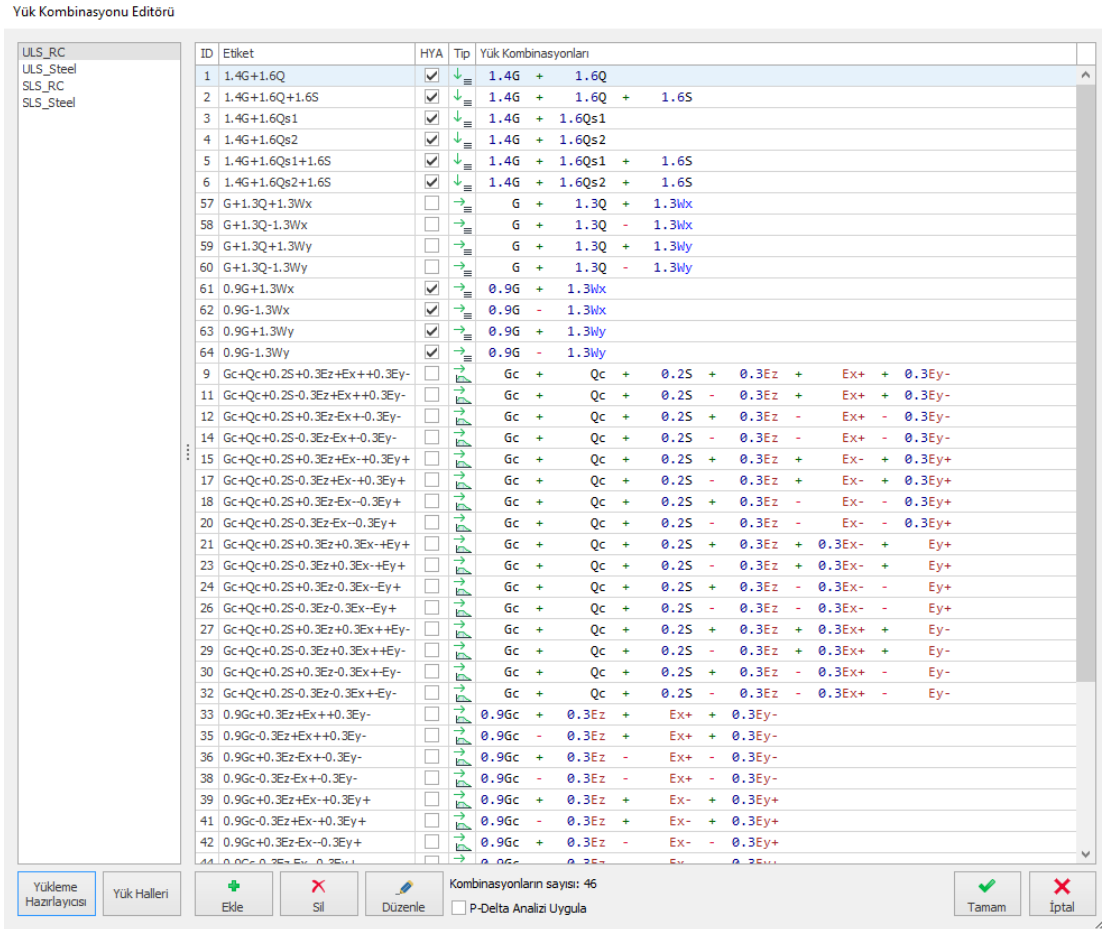
Şekil 6.65. Model-1 ZB DD-1 Deprem Kayıtlarının Tanımlanması



Şekil 6.66. Model-1 ZB DD-1 Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Değerinin Yapılması (Protastucture)



Şekil 6.67. Model-1 ZB DD-1 Ölçeklendirme Değerleri (Protastructure)



Şekil 6.68. Model-1 ZB DD-1 Modeli için Kombinasyonlar (Protastructure)

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için tasarımda kullanılan yük kombinasyonlarında E_d deprem yüküne düşey bileşen katkısı alt yapı olarak tasarlanan yapının izolatör ile bölünen bölümünden aşağıda kalan taşıyıcı sistem elemanlarında Denklem 6.1, üst yapı olarak tasarlanan yani yapının izolatör ile bölünen bölümünden üstünde kalan taşıyıcı sistem elemanlarında Denklem 6.2 uygulanacaktır.

$$E_d^{(z)} = \frac{2}{3} * S_{ds(DD-1)}g \quad (6.1)$$

$E_d(z)$ = Düşey Deprem Etkisi

$S_{ds(dd-1)}$ = Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı

g = Yer çekimi ivmesi

$$E_d^{(z)} = S_{ds(DD-2)}g \quad (6.2)$$

$E_d(z)$ = Düşey Deprem Etkisi

$S_{ds(dd-2)}$ = Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı

g = Yer çekimi ivmesi

7. BULGULAR

Bu çalışmanın bulgular bölümünde, farklı parametreler altında gerçekleştirilen kapsamlı yapısal analizlerin sonuçları sunulmaktadır. Analizler, iki farklı yapı tipinin (Model-1 ve Model-2), iki ayrı zemin grubunda ve iki farklı sismik izolatör sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, izolatörlerin alt ve üst sınır değerleri dikkate alınmıştır. Bu bölümde, modellerin teknik analiz sonuçları ve ilgili grafikler objektif bir yaklaşımla sunulmakta olup, detaylı değerlendirmeler Sonuçlar ve Öneriler bölümünde ele alınmaktadır.

Sismik izolasyonlu yapılarda kat ivmelerinin hassas değerlendirilmesi için bir model geliştirilmiştir. Bu modelde DD-2 deprem düzeyi altında izolatörlerin nominal özellikleri kullanılmıştır.

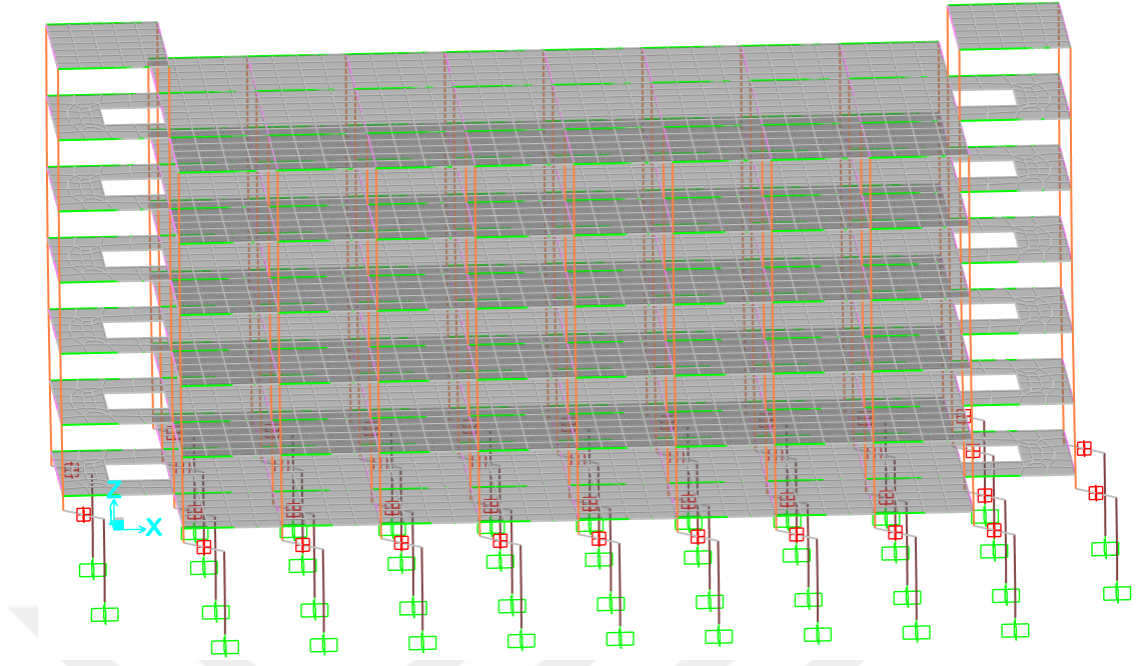
İzolatör deplasmanlarının optimum hesaplanması amacıyla geliştirilen modelde DD-1 deprem düzeyi dikkate alınmıştır. Bu analizlerde izolatörlerin alt sınır özellikleri kullanılmıştır.

Görelî kat ötelemelerinin detaylı incelenmesi için DD-2 deprem düzeyi altında bir model tasarlanmıştır. Bu modelde izolatörlerin üst sınır özellikleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

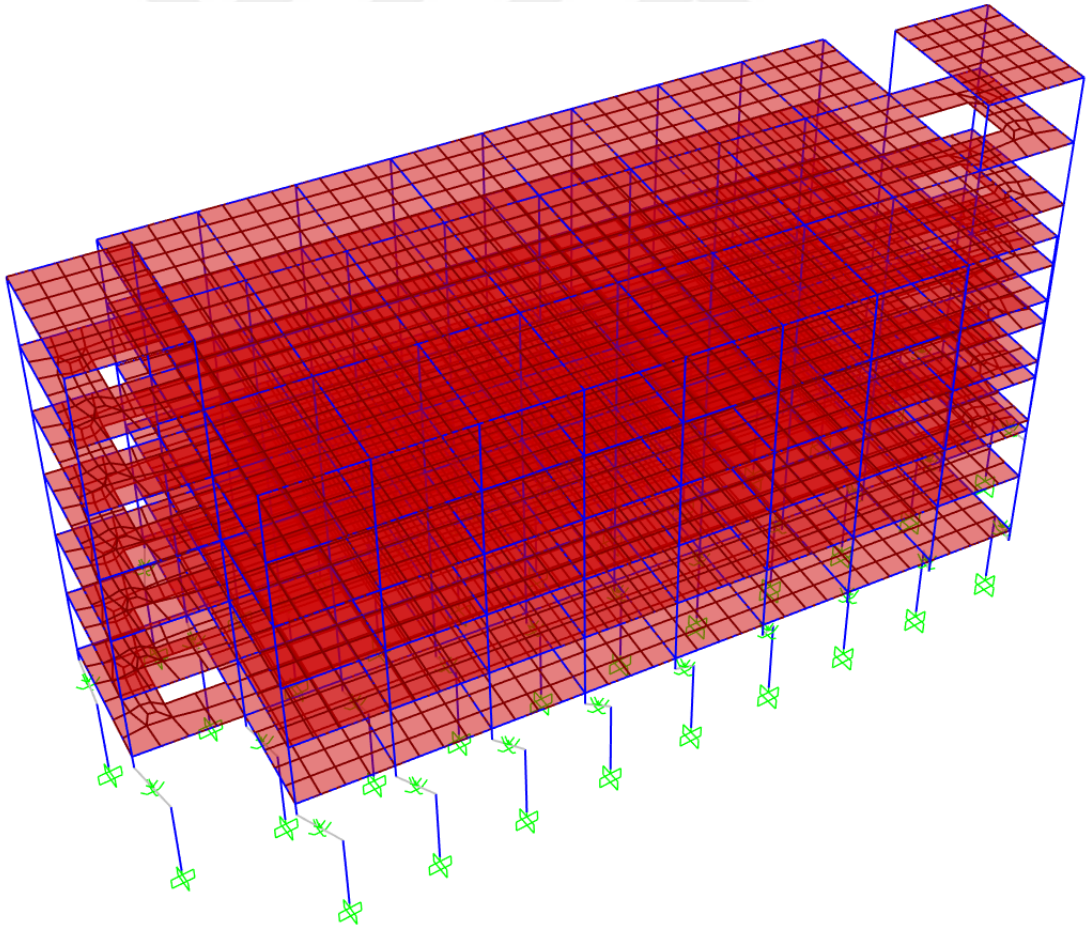
Sismik izolasyonlu yapılarda kat kesme kuvvetlerinin kapsamlı analizi için bir model geliştirilmiştir. Bu modelde DD-2 deprem düzeyi altında izolatörlerin üst sınır özellikleri kullanılmıştır.

Yapı modellerinin periyotları DD-1 Deprem düzeyi altında ve nominal izolatörler kullanılarak yapılmıştır.

Her bir analiz modeli, Model-1 ve Model-2 yapıları için ayrı ayrı uygulanmış olup, her yapı iki farklı zemin sınıfında ve iki farklı sismik izolatör sistemi ile modellenmiştir. Bu kombinasyonlar ile sismik izolasyonlu yapıların farklı performans parametrelerinin sistematik bir şekilde değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 7.2. Model-1 DD-1 ZC K.Ç.K.İ. (Nominal Değer)

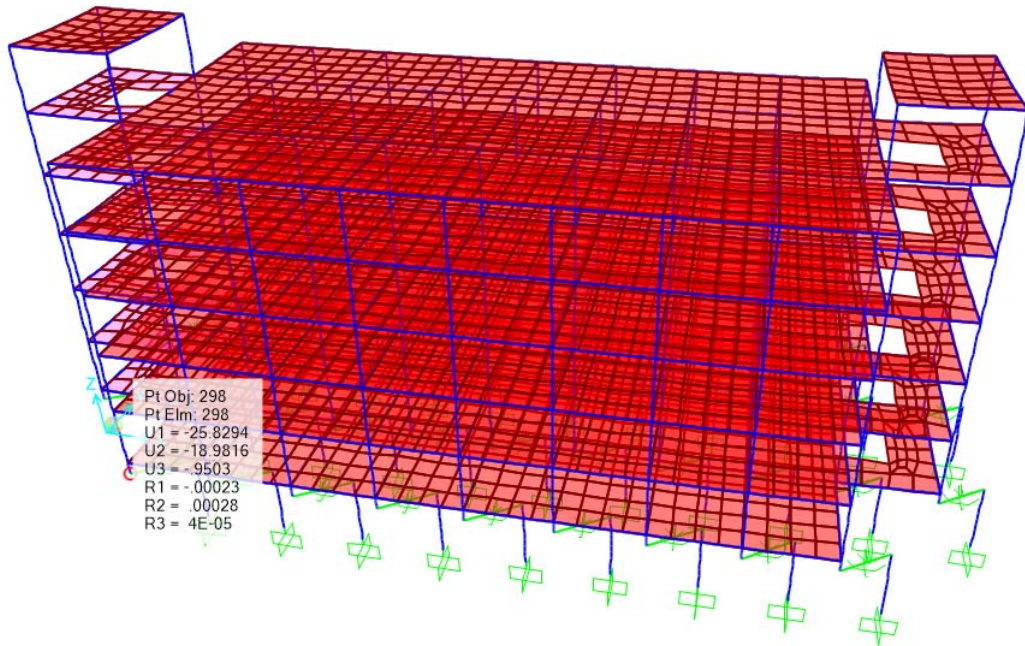


Şekil 7.3. Model-1 DD-1 ZC E.Y.S.S.T.İ. (Nominal Değer)

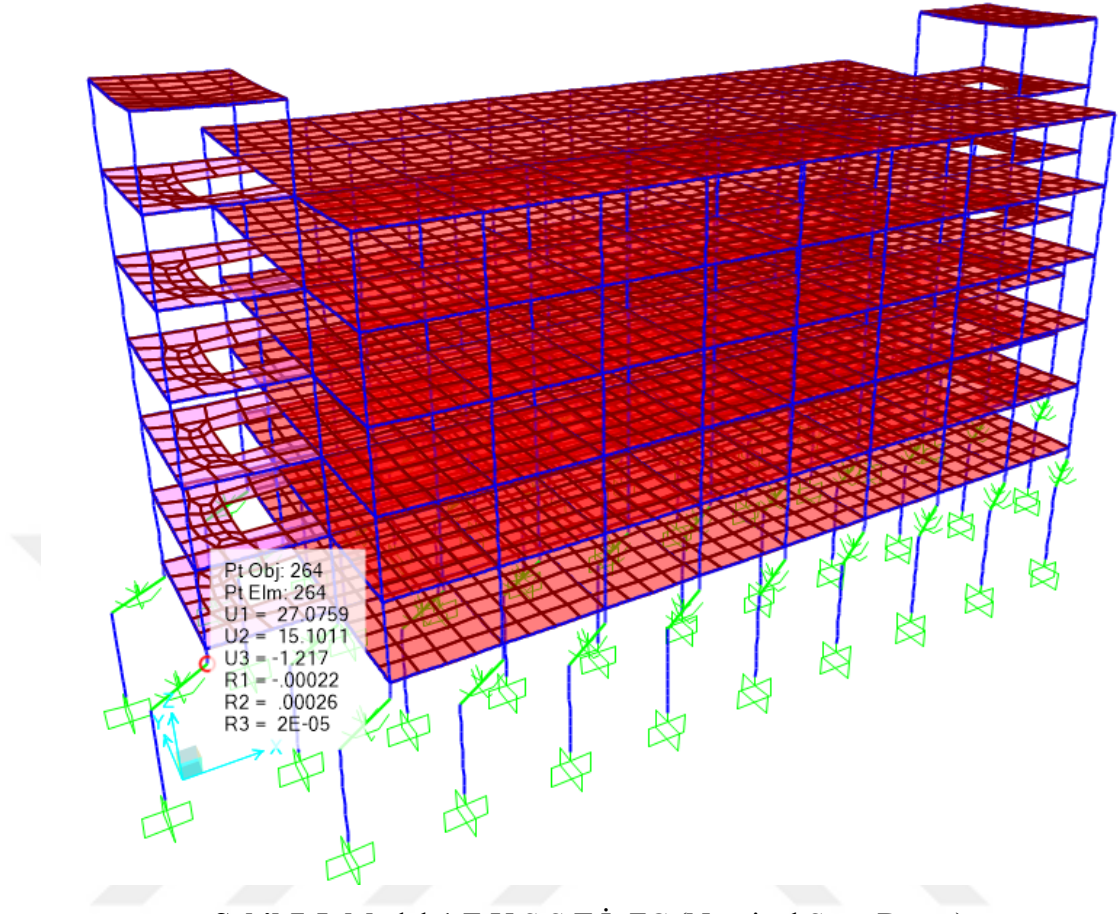
Yapısal analiz sonuçlarına göre, izolatörlerdeki en büyük yerdeğiştirmeler "1.2G+Q+EQX+0.3EQY" yük kombinasyonunda gözlenmiştir. İzolatörler için öngörölen yerdeğiştirme değerlerine ulaşan veya bu değerlere en çok yaklaşan deprem kayıtları, ölçölen yerdeğiştirmeler ve izolatörlerin tasarım yerdeğiştirme değerleri Tablo 7.2. de verilmiştir.

Tablo 7.2. Model-1 İzolatör Deplasman Değeri

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
KÇKİ (Üst Sınır Değer)	ZB	RSN-143	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	58.12	17.34	-1.55
KÇKİ (Nominal Değer)	ZB	RSN-143	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	70.54	21.09	-1.89
KÇKİ (Alt Sınır Değer)	ZB	RSN-143	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	78.71	23.56	-1.81
KÇKİ (Üst Sınır Değer)	ZC	RSN-825	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	32.69	3.49	-1.87
KÇKİ (Nominal Değer)	ZC	RSN-825	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	39.22	4.99	-1.87
KÇKİ (Alt Sınır Değer)	ZC	RSN-825	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	39.18	5.63	-1.69
EYSSTİ (Üst Sınır Değer)	ZB	RSN-143	0.9G+EQX+0.3EQY	-79.02	61.03	0.73
EYSSTİ (Nominal Değer)	ZB	RSN-143	0.9G+EQX+0.3EQY	-84.48	67.47	0.75
EYSSTİ (Alt Sınır Değer)	ZB	RSN-143	0.9G+EQX+0.3EQY	109.31	79.78	0.81
EYSSTİ (Üst Sınır Değer)	ZC	RSN-828	1.2G+Q+EQX-0.3EQY	-25.82	-18.98	-0.95
EYSSTİ (Nominal Değer)	ZC	RSN-828	1.2G+Q+EQX-0.3EQY	27.02	15.10	-1.25
EYSSTİ (Alt Sınır Değer)	ZC	RSN-828	1.2G+Q+EQX-0.3EQY	28.98	15.92	-1.21



Şekil 7.4. Model-1 E.Y.S.S.T.İ. ZC (Üst Sınır Değer)



Şekil 7.5. Model-1 E.Y.S.S.T.İ. ZC (Nominal Sınır Değer)

Analiz sonuçlarına göre, görelî kat ötelemeleri her bir modelde üç farklı deprem kaydı için izolatörlerin üst sınır değerlerine göre modellenen yapılarıdaki görelî kat öteleme değerleri için örnek bazı kolonların kat düzeyindeki deplasmanları Tablo 7.3., Tablo 7.4., Tablo 7.5. ve Tablo 7.6’da verilmiştir.

Görelî kat ötelemeleri hesabı DD-2 depremli durum için izolatörlerin üst sınır değerleri kullanılarak yapılmıştır. Her bir model için “Kesintisiz Kullanım” performans seviyesi için $0.005h_i$ den büyük olmama durumu en kritik değerleri veren ivme-zaman kaydı için kontrol edilmiştir. Sonuçların bulunduğu Tablo 7.7 olarak verilmiştir.

Tablo 7.3. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Yapının S10 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZB)

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	RSN-143	1	1.2G+Q+EQX+0.3E QY	58.12	17.34	-1.55
			2		70.54	21.09	-1.89
			3		78.71	23.56	-1.81
			4		58.12	17.34	-1.55
			5		70.54	21.09	-1.89
			6		78.71	23.56	-1.81
			M. Kulesi		58.12	17.34	-1.55
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	RSN-879	1	1.2G+Q+EQX+0.3E QY	70.54	21.09	-1.89
			2		78.71	23.56	-1.81
			3		58.12	17.34	-1.55
			4		70.54	21.09	-1.89
			5		78.71	23.56	-1.81
			6		70.54	21.09	-1.89
			M. Kulesi		78.71	23.56	-1.81
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	RSN-1161	1	1.2G+Q+EQX+0.3E QY	58.12	17.34	-1.55
			2		70.54	21.09	-1.89
			3		78.71	23.56	-1.81
			4		58.12	17.34	-1.55
			5		70.54	21.09	-1.89
			6		78.71	23.56	-1.81
			M. Kulesi		78.71	23.56	-1.81

Tablo 7.4 Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlü Yapının S10 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZB)

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi	ZB	RSN-143	1	1.2G+Q+0.3EQX+EQY	87.72	80.02	-1.37
			2		88.52	80.82	-1.60
			3		88.46	80.79	-1.80
			4		88.12	80.56	-1.96
			5		88.14	80.59	-2.08
			6		88.51	80.99	-2.16
			M. Kulesi		89.58	81.78	-2.20
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi	ZB	RSN-879	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	103.15	-43.33	-1.47
			2		104.08	-43.76	-1.72
			3		103.95	-43.76	-1.93
			4		103.61	-43.63	-2.10
			5		103.64	-43.65	-2.23
			6		104.05	-43.84	-2.32
			M. Kulesi		105.02	-44.35	-2.37
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi	ZB	RSN-1161	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	96.67	-61.75	-1.34
			2		97.54	-62.35	-1.53
			3		97.42	-62.32	-1.77
			4		97.11	-62.13	-1.93
			5		97.14	-62.19	-2.00
			6		97.65	-62.45	-2.13
			M. Kulesi		98.78	-63.15	-2.19

Tablo 7.5. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Yapının S10 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZC)

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZC	RSN-828	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	41.07	-14.45	-2.6
			2		45.54	-18.3	-2.98
			3		50.28	-17.5	-3.28
			4		54.22	-18.87	-3.52
			5		56.77	-19.73	-3.67
			6		58.09	-20.32	-3.76
			Merdiven Kulesi		60.33	-20.27	-3.79
Kurşun Çekirdekli Kauçuk	ZC	RSN-825	1	G+Q+0,2S-0,3EQX-EQY	-33.09	3.77	-1.95
			2		-37	4.07	-2.22

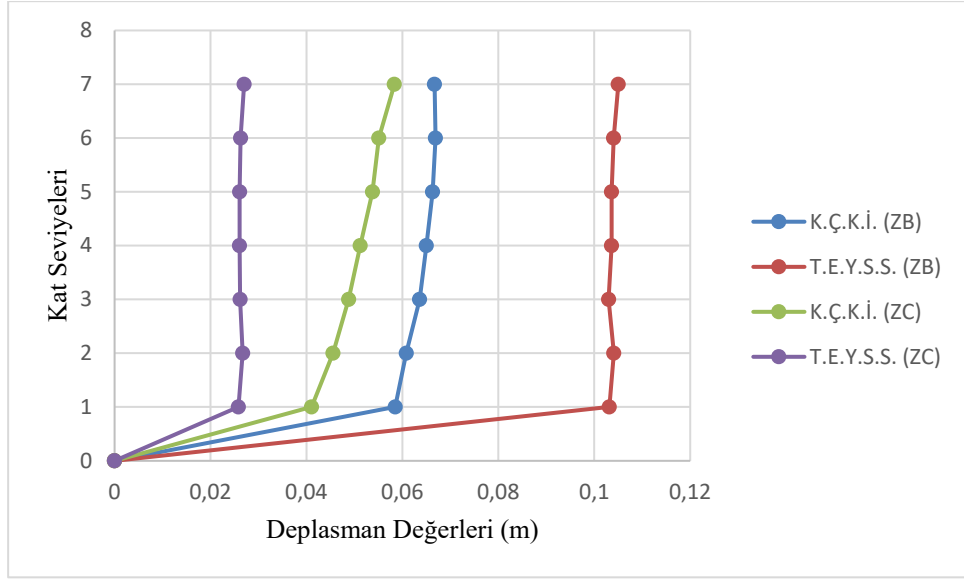
İzolatör			3		-40.02	4.52	-2.45
			4		-45.3	5.05	-2.62
			5		-45	5.02	-2.74
			6		-44	5.19	-2.81
			Merdiven Kulesi		-47.15	5.27	-2.85
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZC	RSN-1160	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	8.33	2.56	-1.62
			2		9.56	3.8	-1.86
			3		11.37	3.9	-2.06
			4		11.58	3.33	-2.22
			5		13.07	3.58	-2.33
			6		15.2	3.66	-2.4
			Merdiven Kulesi		-11	3.82	-2.47

Tablo 7.6. Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlü Yapının S10 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZC)

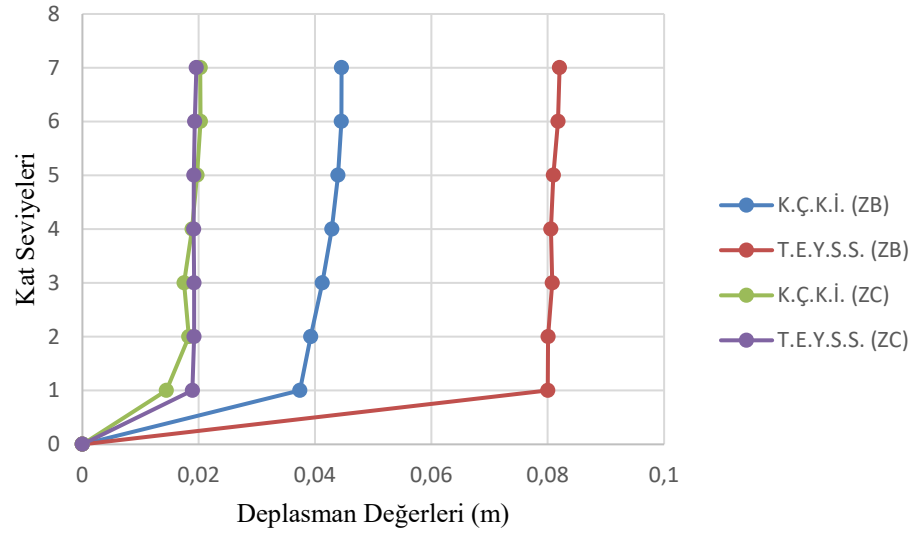
Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZC	RSN-825	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	25.82	18.93	-1.28
			2		26.71	19.22	-1.5
			3		26.17	19.22	-1.7
			4		26.06	19.15	-1.85
			5		26.07	19.17	-1.96
			6		26.27	19.32	-2.03
			Merdiven Kulesi		27	19.6	-2.06
Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZC	RSN-828	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	-24.61	18.04	-1.2
			2		18.01	18.32	-1.5
			3		-24.99	18.32	-1.69
			4		-24.95	18.25	-1.85
			5		-24.84	18.27	-1.96
			6		-24.16	18.4	-2.03
			Merdiven Kulesi		-25.05	18.69	-2.06
Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZC	RSN-139	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	11.52	-2.9	-1.26
			2		11.72	-2.95	-1.48
			3		11.7	-2.94	-1.67
			4		11.65	-2.92	-1.82
			5		11.65	-2.92	-1.93
			6		11.78	-2.96	-2
			Merdiven Kulesi		12.48	-2.97	-2.03

Tablo 7.7. Görelî Kat Ötelemesi Kontrolleri

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kat Yüksekliği (m)	X Yönü (m)	Y Yönü (m)	Sınır Değer	X - Görelî Öteleme	Y - Görelî Öteleme
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	X için RSN-143 Y için RSN-879	M.Kulesi	3	0.06671	0.04456	0.015	-0.0001	0.0000
			6	3	0.06691	0.04453	0.015	0.0002	0.0002
			5	3	0.0663	0.04396	0.015	0.0004	0.0004
			4	3	0.065	0.0429	0.015	0.0005	0.0005
			3	3	0.06361	0.04126	0.015	0.0009	0.0007
			2	3	0.06081	0.03926	0.015	0.0008	0.0006
			1	3	0.05851	0.0374	0.0225	0.0130	0.0083
			0	4.5					
Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZB	X için RSN-879 Y için RSN-879	M.Kulesi	3	0.10502	0.08205	0.015	0.0003	0.0001
			6	3	0.10405	0.08178	0.015	0.0001	0.0003
			5	3	0.10361	0.08099	0.015	0.0000	0.0001
			4	3	0.10361	0.08056	0.015	0.0002	-0.0001
			3	3	0.103	0.08079	0.015	-0.0004	0.0002
			2	3	0.10408	0.08008	0.015	0.0003	0.0000
			1	3	0.10315	0.08002	0.0225	0.0229	0.0178
			0	4.5					
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZC	X için RSN-828 Y için RSN-828	M.Kulesi	3	0.05833	0.02027	0.015	0.0011	0.0000
			6	3	0.05509	0.02032	0.015	0.0004	0.0002
			5	3	0.05377	0.01973	0.015	0.0008	0.0003
			4	3	0.05122	0.01887	0.015	0.0008	0.0005
			3	3	0.0488	0.0175	0.015	0.0011	-0.0003
			2	3	0.04554	0.0183	0.015	0.0015	0.0013
			1	3	0.04107	0.01445	0.0225	0.0091	0.0032
			0	4.5					
Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZC	X için RSN-825 Y için RSN-825	M.Kulesi	3	0.027	0.0196	0.015	0.0002	0.0001
			6	3	0.02627	0.01932	0.015	0.0001	0.0000
			5	3	0.02607	0.01917	0.015	0.0000	0.0000
			4	3	0.02606	0.01915	0.015	0.0000	0.0000
			3	3	0.02617	0.01922	0.015	0.0002	0.0000
			2	3	0.02671	0.01922	0.015	0.0003	0.0001
			1	3	0.02582	0.01893	0.0225	0.0057	0.0042
			0	4.5					



Şekil 7.6. X Yönü Kat Deplasmanları

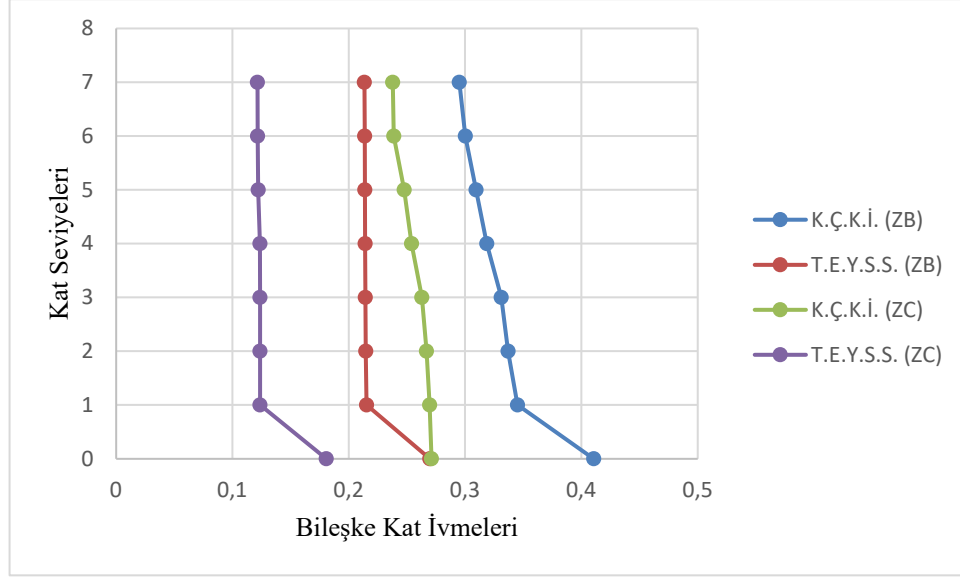


Şekil 7.7. Y Yönü Kat Deplasmanları

Analiz sonuçlarına göre, kat ivmeleri Tablo 7.8’de kaydedilmiştir. Kat bileşke ivmelerinin karşılaştırmalı görünümü Şekil 7.8’de verilmiştir.

Tablo 7.8. İvme Kayıtları ve Bileşke İvme

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kat Yüksekliği (m)	U1 (g)	U2 (g)	Bileşke İvme (g)
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	RSN-143	M.Kulesi	3	0.200448522	-0.216615698	0.29513043
			6	3	0.206293578	-0.21816208	0.300252782
			5	3	0.210525994	-0.226851172	0.309487719
			4	3	0.212593272	-0.237416922	0.318689024
			3	3	0.221864424	-0.245866463	0.331170863
			2	3	0.223491335	-0.252271152	0.337029837
			1	4.5	0.224783894	-0.261898063	0.345135328
			0	0	0.280340469	-0.299985729	0.410587647
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZB	RSN-879	M.Kulesi	3	0.163343527	-0.13748318	0.21350113
			6	3	0.163390418	-0.137908257	0.213810935
			5	3	0.16345158	-0.138024465	0.213932634
			4	3	0.163639144	-0.138092762	0.214120014
			3	3	0.163832824	-0.138154944	0.214308149
			2	3	0.164034659	-0.138522936	0.214699727
			1	4.5	0.164187564	-0.139340469	0.215344659
			0	0	0.195400612	0.185951208	0.269739227
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZC	RSN-828	M.Kulesi	3	0.138541	-0.1933565	0.237866233
			6	3	0.140109	-0.1933565	0.238782889
			5	3	0.14919	-0.1977495	0.247714596
			4	3	0.15944	-0.1977555	0.254024313
			3	3	0.1684645	-0.201808	0.26288164
			2	3	0.174675	-0.201812	0.266907173
			1	4.5	0.17809	-0.2023715	0.269574242
			0	0	0.1804265	-0.202372	0.271123862
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZC	RSN-825	M.Kulesi	3	-0.100890928	-0.067805301	0.121558784
			6	3	-0.101015291	-0.067915392	0.121723414
			5	3	-0.101539246	-0.067980632	0.122194864
			4	3	-0.102799185	-0.068849134	0.123725
			3	3	-0.102807339	-0.068897044	0.123758441
			2	3	-0.102815494	-0.068911315	0.12377316
			1	4.5	-0.102845056	-0.068942915	0.123815311
			0	0	-0.127420999	-0.128091927	0.180675545



Şekil 7.8. İzolatörlü Yapıların Bileşke İvme Değerleri

Yapılarda oluşan kat kesme kuvvetleri Tablo 7.9’da sunulmuştur. Kesintisiz Kullanım performans seviyesi için ilgili hesapta $R=1.2$ olarak ve sönüm oranı katsayısı excel çalışma sayfalarında bulunan değer olan 0.535 olarak alınmıştır.

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)W\eta_m}{R} \quad (7.1)$$

$S_{ae(TD)}$ = İzolatörlü Sistem Periyoduna denk ivme değeri

η_m = Sönüm Ölçeklendirme Katsayısı (DD-1)

W = Yapı Ağırlığı

R = Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Tablo 7.9. Kat Kesme Kuvveti Değerleri

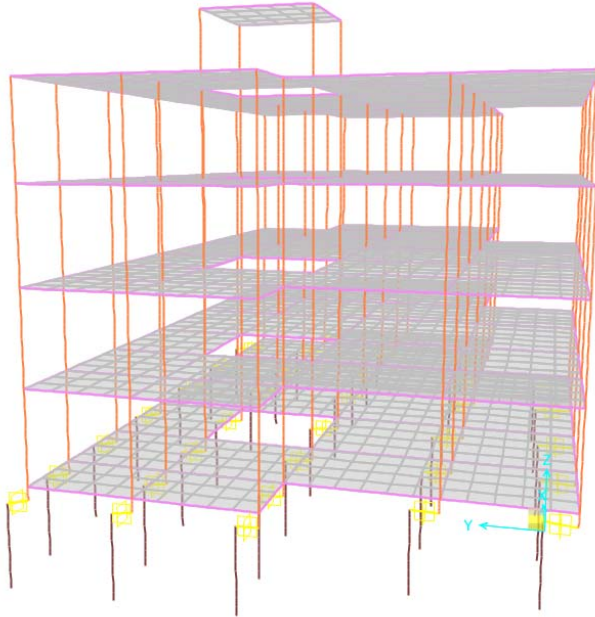
İzolatör Tipleri	Öngörülen İvme Değeri ($S_{ae(TD)}$)	Tahmin Edilen İvmeye Denk Gelen Taban Kesme Kuvveti (kN)	Modeldeki En yüksek İvme Değeri (Üst Yapı)	Modeldeki En yüksek Kat Kesme Kuvveti (Üst Yapı)
K.Ç.K.İ. (ZB)	0.190	3736.99	0.345	6788.25
T.E.Y.S.S. (ZB)	0.201	3953.35	0.215	4235.48
K.Ç.K.İ. (ZC)	0.537	11269.98	0.270	5302.09
T.E.Y.S.S. (ZC)	0.454	8929.45	0.124	2435.25

7.2. Model-2 İzolasyonlu Yapı Analiz Sonuçları (SAP2000)

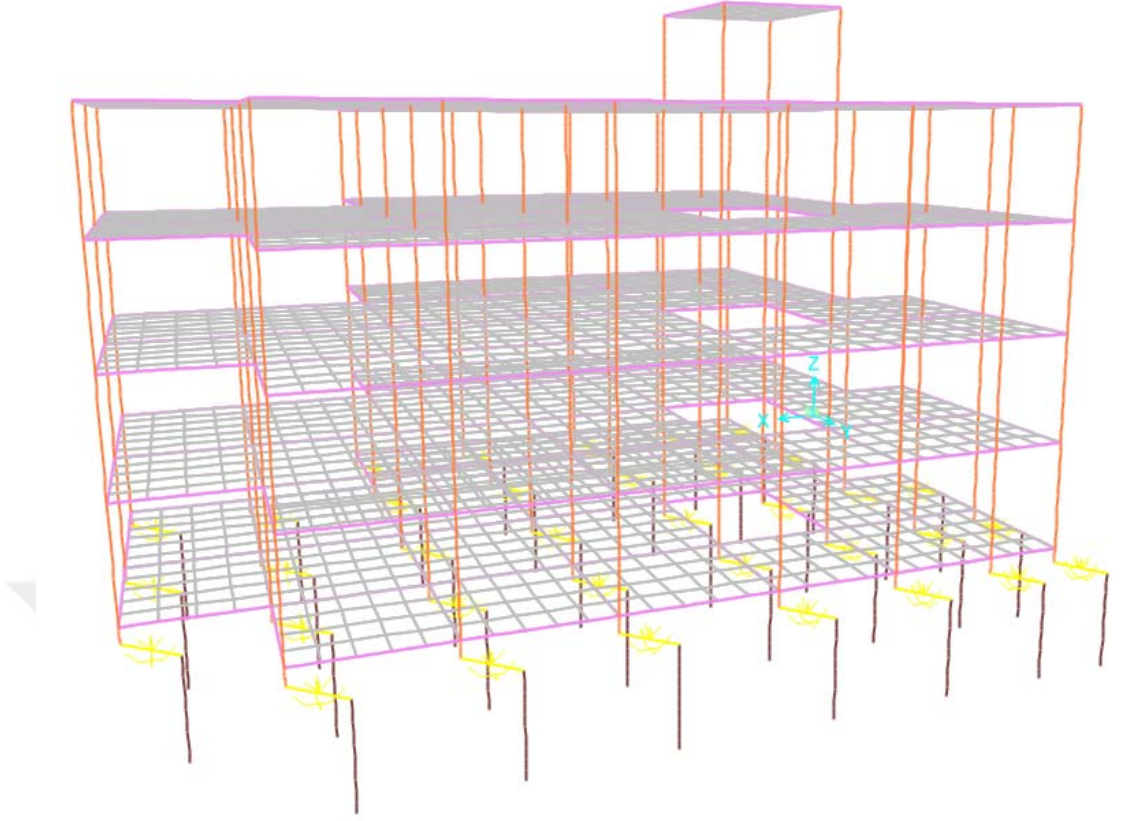
Model-2 için sınır değerlere bağlı olarak modellenen tüm yapı modellerinin izolasyonlu yapılar için elde edilen ilk üç modun periyot değerlerini içeren Tablo 7.10'da belirtilmiştir. İlgili modların birkaçına ait şekiller Şekil 7.9., Şekil 7.10., ve Şekil 7.11. olarak verilmiştir.

Tablo 7.10. Model-2 Yapı Periyotları

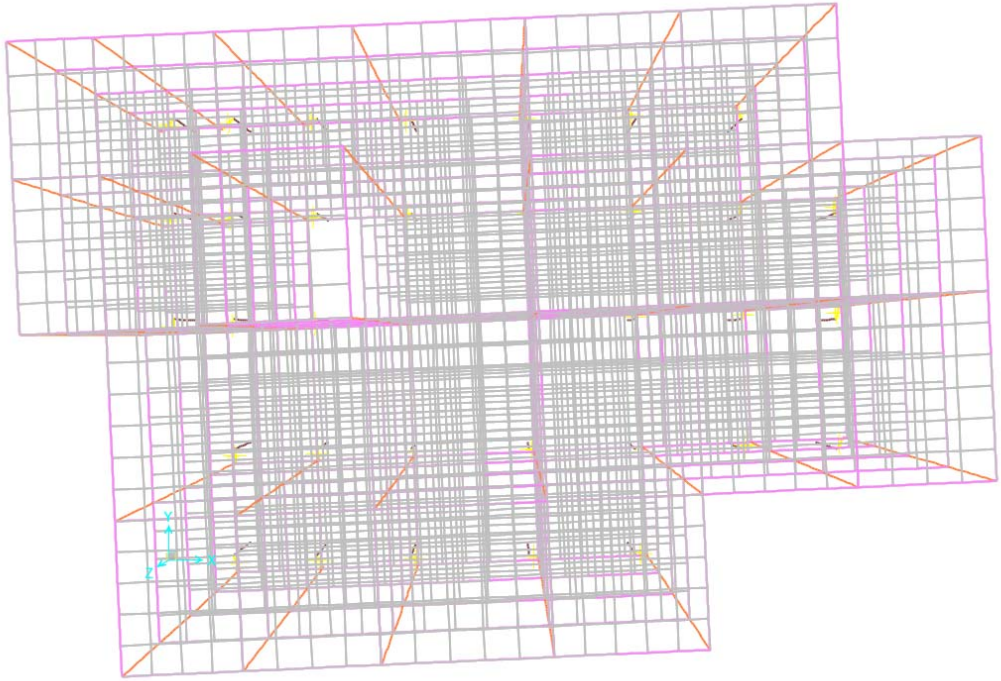
Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Mod-1 (saniye)	Mod-2 (saniye)	Mod-3 (saniye)
KÇKİ (Üst Sınır Değer)	ZB	1.78932	1.76908	1.51693
KÇKİ (Nominal Değer)	ZB	2.55291	2.52734	2.16414
KÇKİ (Alt Sınır Değer)	ZB	3.30007	3.26851	2.7974
KÇKİ (Üst Sınır Değer)	ZC	0.90933	0.89739	0.79757
KÇKİ (Nominal Değer)	ZC	1.28934	1.27703	1.13091
KÇKİ (Alt Sınır Değer)	ZC	1.69087	1.67693	1.48303
EYSSTİ (Üst Sınır Değer)	ZB	1.79664	1.77687	1.52415
EYSSTİ (Nominal Değer)	ZB	2.49715	2.47234	2.11759
EYSSTİ (Alt Sınır Değer)	ZB	3.16753	3.13735	2.68563
EYSSTİ (Üst Sınır Değer)	ZC	1.53214	1.51378	1.30019
EYSSTİ (Nominal Değer)	ZC	2.03774	2.01623	1.72843
EYSSTİ (Alt Sınır Değer)	ZC	2.44352	2.41902	2.07222



Şekil 7.9. Model-2 DD-1 ZB K.Ç.K.İ (Üst Sınır Değer)



Şekil 7.10. Model-2 DD-1 ZC K.Ç.K.İ. (Nominal Değer)

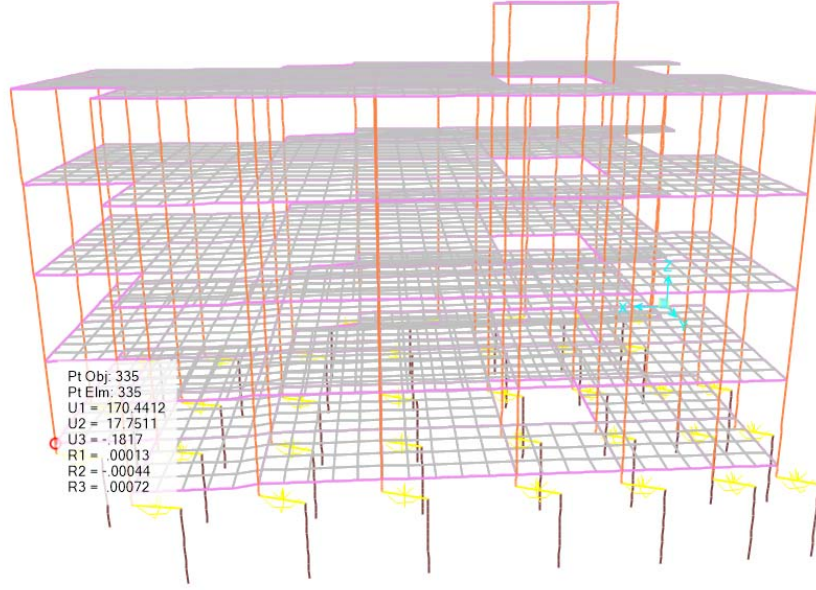


Şekil 7.11. Model-2 DD-1 ZC E.Y.S.S.T.İ. (Nominal Değer)

Yapısal analiz sonuçlarına göre, izolatörlerdeki en büyük yerdeğiştirmeler "1.2G+Q+EQX+0.3EQY" yük kombinasyonunda gözlenmiştir. İzolatörler için öngörülen yerdeğiştirme değerlerine ulaşan veya bu değerlere en çok yaklaşan deprem kayıtları, ölçülen yerdeğiştirmeler ve izolatörlerin tasarım yerdeğiştirme değerleri Tablo 7.11’de verilmiştir.

Tablo 7.11. Model-2 İzolatör Deplasman Değeri

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
KÇKİ (Üst Sınır Değer)	ZB	RSN-143	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	21.30	-5.82	-1.08
KÇKİ (Nominal Değer)	ZB	RSN-143	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	46.89	-10.95	-1.28
KÇKİ (Alt Sınır Değer)	ZB	RSN-143	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	52.10	-15.99	-1.19
KÇKİ (Üst Sınır Değer)	ZC	RSN-828	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	22.14	-10.84	-1.43
KÇKİ (Nominal Değer)	ZC	RSN-828	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	27.82	-12.57	-1.37
KÇKİ (Alt Sınır Değer)	ZC	RSN-828	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	26.17	-11.91	-1.25
EYSSTİ (Üst Sınır Değer)	ZB	RSN-879	0.9G+EQX+0.3EQY	170.45	-9.76	-0.10
EYSSTİ (Nominal Değer)	ZB	RSN-879	0.9G+EQX+0.3EQY	-214.68	-14.10	-0.12
EYSSTİ (Alt Sınır Değer)	ZB	RSN-879	0.9G+EQX+0.3EQY	-211.30	-11.69	-0.12
EYSSTİ (Üst Sınır Değer)	ZC	RSN-1182	1.2G+Q+EQX-0.3EQY	39.63	18.25	-0.09
EYSSTİ (Nominal Değer)	ZC	RSN-1182	1.2G+Q+EQX-0.3EQY	-33.50	14.46	-0.90
EYSSTİ (Alt Sınır Değer)	ZC	RSN-1182	1.2G+Q+EQX-0.3EQY	-37.58	13.45	-0.8



Şekil 7.12. Model-2 E.Y.S.S.T.İ ZC (Üst Sınır Değer)

Analiz sonuçlarına göre, görelî kat ötelemeleri her bir modelde üç farklı deprem kaydı için izolatörlerin üst sınır değerlerine göre modellenen yapılarıdaki görelî kat öteleme değerleri için örnek bazı kolonların kat düzeyindeki deplasmanları Tablo 7.12., Tablo 7.13., Tablo 7.14. ve Tablo 7.15’de verilmiştir.

Görelî kat ötelemeleri hesabı DD-2 depremli durum için izolatörlerin üst sınır değerleri kullanılarak yapılmıştır. Her bir model için “Kesintisiz Kullanım” performans seviyesi için 0.005h_i den büyük olmama durumu en kritik değerleri veren ivme-zaman kaydı için kontrol edilmiştir. Sonuçların bulunduğu Tablo 7.16. olarak verilmiştir.

Tablo 7.12. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Yapının S11 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZB)

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	RSN-143	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	-21.65	-6.81	-2.8
			2		-21.54	-7.45	-3.4
			3		-23.37	-8.12	-3.8
			4		-25.87	-9.5	-4
			5		-25.6	-8.88	-4.48
			M. Kulesi		-26.91	-9.45	-4.56

Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	RSN-1108	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	-22.23	-11.1	-1.34
			2		27.16	-13.46	-1.61
			3		31.74	-15.91	-1.8
			4		34.8	-17.59	-1.91
			5		36.38	-18.5	-1.95
			M. Kulesi		36.4	-17.47	-1.8
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	RSN-879	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	21.12	5.92	-1.3
			2		23.18	6.55	-1.53
			3		25.31	-7.2	-1.7
			4		26.37	-7.81	-1.8
			5		27.38	-8	-1.85
			M. Kulesi		28.13	-5.23	-3.5

Tablo 7.13. Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlü Yapının S11 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZB)

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZB	RSN-143	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	77.18	54.91	-0.13
			2		77.6	55.22	-0.2
			3		77.41	55.07	-0.3
			4		77.58	55.14	-0.4
			5		77.78	55.21	-0.42
			M. Kulesi		76.09	54.51	-1.34
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZB	RSN-1108	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	-25.39	4.07	-0.18
			2		-25.48	4.09	-0.36
			3		-25.33	4.06	-0.5
			4		-25.41	4.02	-0.6
			5		-25.43	4.04	-0.63
			M. Kulesi		-25.34	3.87	-1.92
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZB	RSN-879	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	-170.05	-10.1	-0.16
			2		-170.79	-10.13	-0.31
			3		-170.33	-10.1	-0.42
			4		-170.62	-10.13	-0.5
			5		-170.77	-10.12	-0.53
			M. Kulesi		-169.52	-9.88	-1.65

Tablo 7.14. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörlü Yapının S11 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZC)

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Kurşun	ZC	RSN-828	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	-22.23	-11.1	-1.34

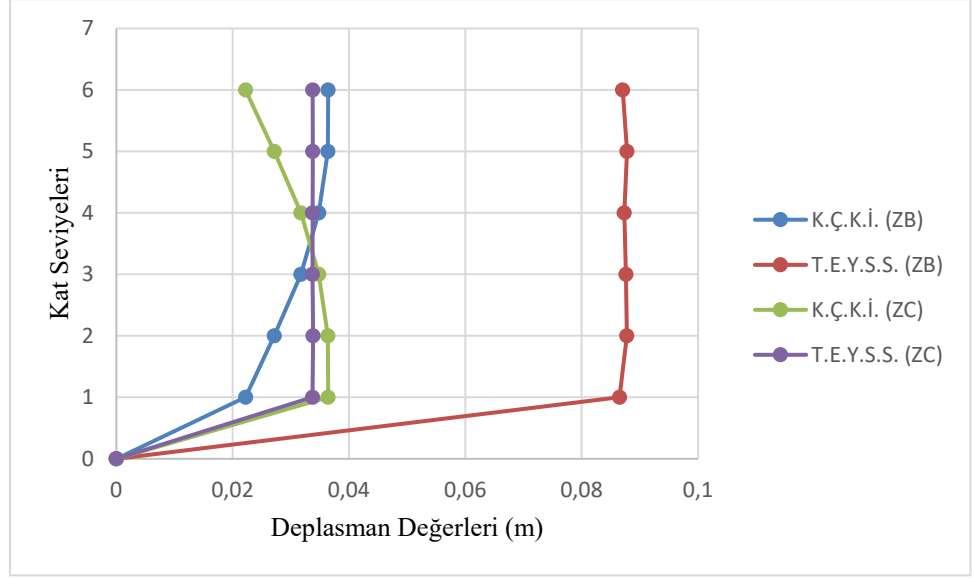
Çekirdekli Kauçuk İzolator			2		27.16	-13.46	-1.61
			3		31.74	-15.91	-1.8
			4		34.8	-17.59	-1.91
			5		36.38	-18.5	-1.95
			M. Kulesi		36.4	-17.47	-1.8
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolator	ZC	RSN-1182	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	12.34	6.05	-1.14
			2		14.94	7.34	-1.37
			3		17.53	8.55	-1.54
			4		19.28	9.33	-1.64
			5		20.17	-9.81	-1.68
			M. Kulesi		21.25	8.68	-3.27
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolator	ZC	RSN-496	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	-6.28	2.69	-1.13
			2		7.65	3.25	-1.36
			3		9.02	3.77	-1.52
			4		9.99	-4.08	-1.63
			5		10.46	-4.34	-1.67
			M. Kulesi		10.78	-4.75	-3.93

Tablo 7.15. Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç İzolatörlü Yapının S11 Kolonuna Ait Kat Uç Deplasmanları (ZC)

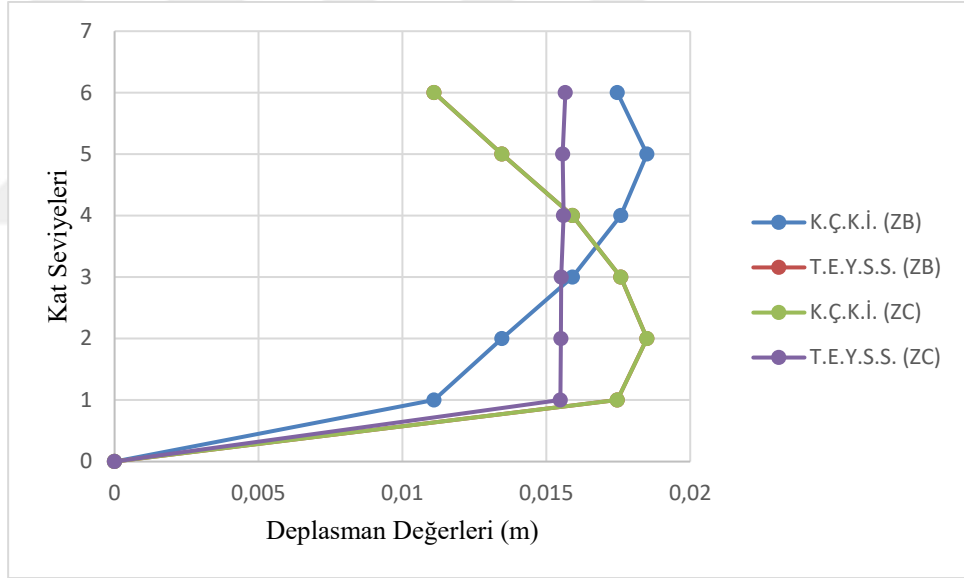
Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kombinasyon	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolator	ZC	RSN-828	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	-27.64	-15.49	-0.19
			2		-27.71	-15.51	-0.36
			3		-27.62	-15.52	-0.5
			4		-27.62	-15.6	-0.6
			5		-27.64	-15.57	-0.63
			M. Kulesi		-27.22	-15.66	-0.7
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolator	ZC	RSN-1182	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	-33.73	14.47	-0.19
			2		-33.83	14.49	-0.36
			3		-33.72	14.47	-0.5
			4		-33.74	14.56	-0.59
			5		-33.77	14.44	-0.63
			M. Kulesi		-33.76	14.69	-1.1
Tek Eğri Yüzeyleli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolator	ZC	RSN-496	1	1.2G+Q+EQX+0.3EQY	9.41	-2.65	-0.18
			2		9.45	-2.65	-0.36
			3		9.45	-2.66	-0.5
			4		9.49	-2.71	-0.58
			5		9.5	-2.7	-0.62
			M. Kulesi		9.51	-2.69	-1.1

Tablo 7.16. Görelî Kat Ötelemesi Kontrolleri

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kat Yüksekliği (m)	X Yönü (m)	Y Yönü (m)	Sınır Değer	X - Görelî Öteleme	Y - Görelî Öteleme
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	X için RSN-1108 Y için RSN-1108	M.Kulesi	3	0.0364	-0.01747	0.0175	0.0000	0.0003
			5	3.5	0.03638	-0.0185	0.0175	0.0005	-0.0003
			4	3.5	0.0348	-0.01759	0.0175	0.0009	-0.0005
			3	3.5	0.03174	-0.01591	0.0175	0.0013	-0.0007
			2	3.5	0.02716	-0.01346	0.0175	0.0141	-0.0007
			1	3.5	-0.02223	-0.0111	0.02	-0.0056	-0.0028
			0	4					
Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZB	X için RSN-143 Y için RSN-879	M.Kulesi	3	-0.08705	-0.0111	0.0175	0.0002	0.0007
			5	3.5	-0.08779	-0.01346	0.0175	-0.0001	0.0007
			4	3.5	-0.08733	-0.01591	0.0175	0.0001	0.0005
			3	3.5	-0.08762	-0.01759	0.0175	0.0000	0.0003
			2	3.5	-0.08777	-0.0185	0.0175	-0.0004	-0.0003
			1	3.5	-0.08652	-0.01747	0.02	-0.0216	-0.0044
			0	4					
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZC	X için RSN-828 Y için RSN-828	M.Kulesi	3	-0.02223	-0.0111	0.0175	-0.0141	0.0007
			5	3.5	0.02716	-0.01346	0.0175	-0.0013	0.0007
			4	3.5	0.03174	-0.01591	0.0175	-0.0009	0.0005
			3	3.5	0.0348	-0.01759	0.0175	-0.0005	0.0003
			2	3.5	0.03638	-0.0185	0.0175	0.0000	-0.0003
			1	3.5	0.0364	-0.01747	0.02	0.0091	-0.0044
			0	4					
Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZC	X için RSN-825 Y için RSN-825	M.Kulesi	3	-0.03376	-0.01566	0.0175	0.0000	0.0000
			5	3.5	-0.03377	-0.01557	0.0175	0.0000	0.0000
			4	3.5	-0.03374	-0.0156	0.0175	0.0000	0.0000
			3	3.5	-0.03372	-0.01552	0.0175	0.0000	0.0000
			2	3.5	-0.03383	-0.01551	0.0175	0.0000	0.0000
			1	3.5	-0.03373	-0.01549	0.02	-0.0084	-0.0039
			0	4					



Şekil 7.13. X Yönü Kat Deplasmanları

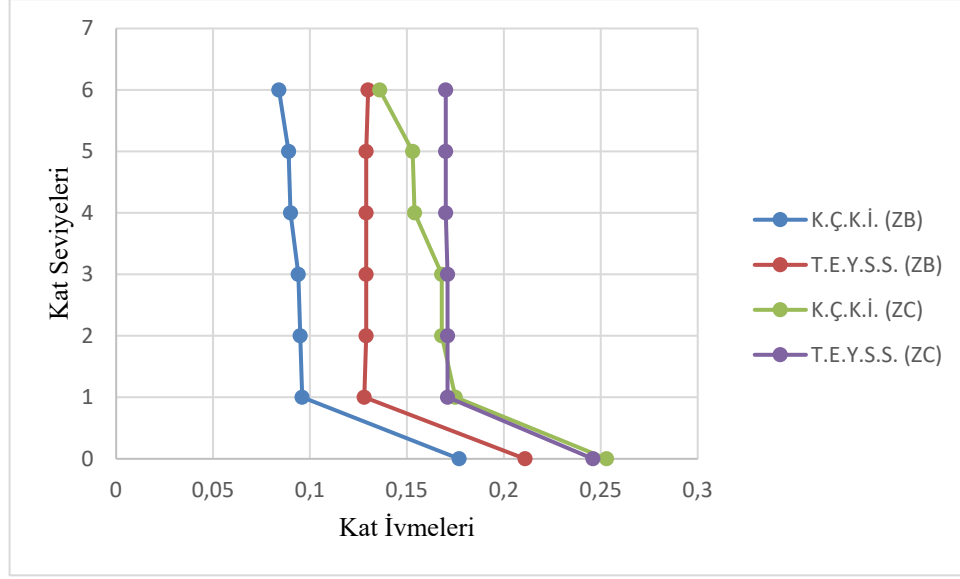


Şekil 7.14. Y Yönü Kat Deplasmanları

Analiz sonuçlarına göre, kat ivmeleri Tablo 7.17’de kaydedilmiştir. Kat bileşke ivmelerinin karşılaştırmalı görünümü Şekil 7.15’te verilmiştir.

Tablo 7.17. İvme Kayıtları ve Bileşke İvme

Yapı Bilgisi	Zemin Sınıfı	Deprem Kaydı	Kat	Kat Yüksekliği	U1 (g)	U2 (g)	Bileşke İvme (g)
				(m)			
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZB	RSN-1108	M.Kulesi	3	-0.084	-0.010	0.084
			5	3.5	-0.089	-0.010	0.089
			4	3.5	-0.089	-0.010	0.090
			3	3.5	-0.094	-0.010	0.094
			2	3.5	-0.094	-0.010	0.095
			1	3.5	-0.096	-0.011	0.096
			0	4	-0.160	-0.077	0.177
Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZB	RSN-879	M.Kulesi	3	-0.091	-0.093	0.130
			5	3.5	-0.091	-0.092	0.129
			4	3.5	-0.090	-0.092	0.129
			3	3.5	-0.090	-0.092	0.129
			2	3.5	-0.090	-0.092	0.129
			1	3.5	-0.090	-0.092	0.128
			0	4	-0.170	-0.126	0.211
Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör	ZC	RSN-828	M.Kulesi	3	-0.136	0.002	0.136
			5	3.5	-0.153	0.002	0.153
			4	3.5	-0.154	0.002	0.154
			3	3.5	-0.168	0.002	0.168
			2	3.5	-0.168	0.002	0.168
			1	3.5	-0.175	0.002	0.175
			0	4	-0.248	-0.050	0.253
Tek Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatör	ZC	RSN-1182	M.Kulesi	3	-0.111	-0.129	0.170
			5	3.5	-0.112	-0.129	0.170
			4	3.5	-0.112	-0.129	0.170
			3	3.5	-0.112	-0.129	0.171
			2	3.5	-0.112	-0.129	0.171
			1	3.5	-0.112	-0.129	0.171
			0	4	-0.165	-0.182	0.246



Şekil 7.15. İzolatörlü Yapıların Bileşke İvme Değerleri

Yapılarda oluşan kat kesme kuvvetleri Tablo 7.18’de sunulmuştur. Kesintisiz Kullanım performans seviyesi için ilgili hesapta $R=1.2$ olarak ve sönüm oranı katsayısı excel çalışma sayfalarında bulunan değer olan 0.535 olarak alınmıştır.

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)W\eta_m}{R} \quad (7.1)$$

$S_{ac(TD)}$ = İzolatörlü Sistem Periyoduna denk ivme değeri

η_m = Sönüm Ölçeklendirme Katsayısı (DD-1)

W = Yapı Ağırlığı

R = Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

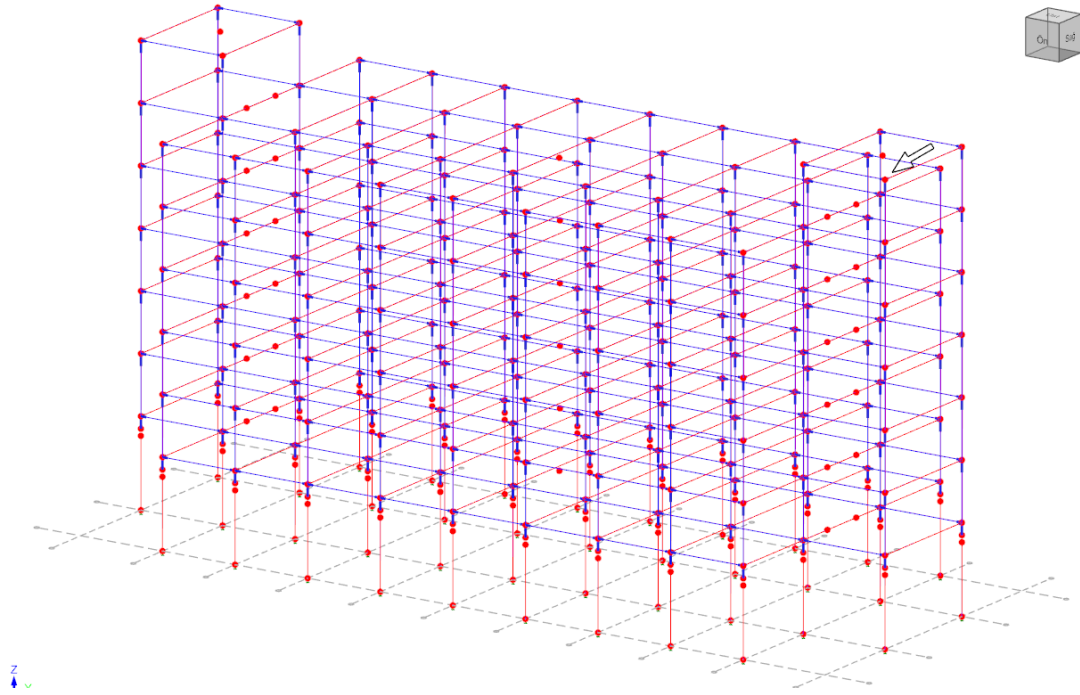
Tablo 7.18. Kat Kesme Kuvveti Değerleri

İzolatör Tipleri	Öngörülen İvme Değeri ($S_{ac(TD)}$)	Tahmin Edilen İvmeye Denk Gelen Taban Kesme Kuvveti (kN)	Modeldeki En yüksek İvme Değeri (Üst Yapı)	Modeldeki En yüksek Kat Kesme Kuvveti (Üst Yapı)
K.Ç.K.İ. (ZB)	0.187	2187.32	0.096	1122.90
T.E.Y.S.S. (ZB)	0.198	2315.98	0.128	1497.20
K.Ç.K.İ. (ZC)	0.601	7029.83	0.175	2046.95
T.E.Y.S.S. (ZC)	0.451	5275.29	0.171	2000.17

7.3. Model-1 İzolasyonlu Yapı Analiz Sonuçları (Protastucture 2025)

Program paket bir program olması nedeniyle dışarıdan bir hesap yapılmaksızın veya yönlendirme bulunmaksızın deprem ivme-zaman kayıtlarını tek seferde her iki yönü değiştirerek modele uygulamıştır.

Tablo 7.19 ile analizlerin tümüne ait tabloyu oluşturmuştur. En yüksek izolatör deplasmanları incelendiğinde en yüksek deplasmanın RSN-143 kaydında olduğu belirlenmiştir. Bu durum SAP2000 modellerimizde aldığımız sonuç ile benzerdir. Birebir aynı değerlerin bulunamama nedeninin paket programın izlediği analiz yolu olabileceği belirlenmektedir.



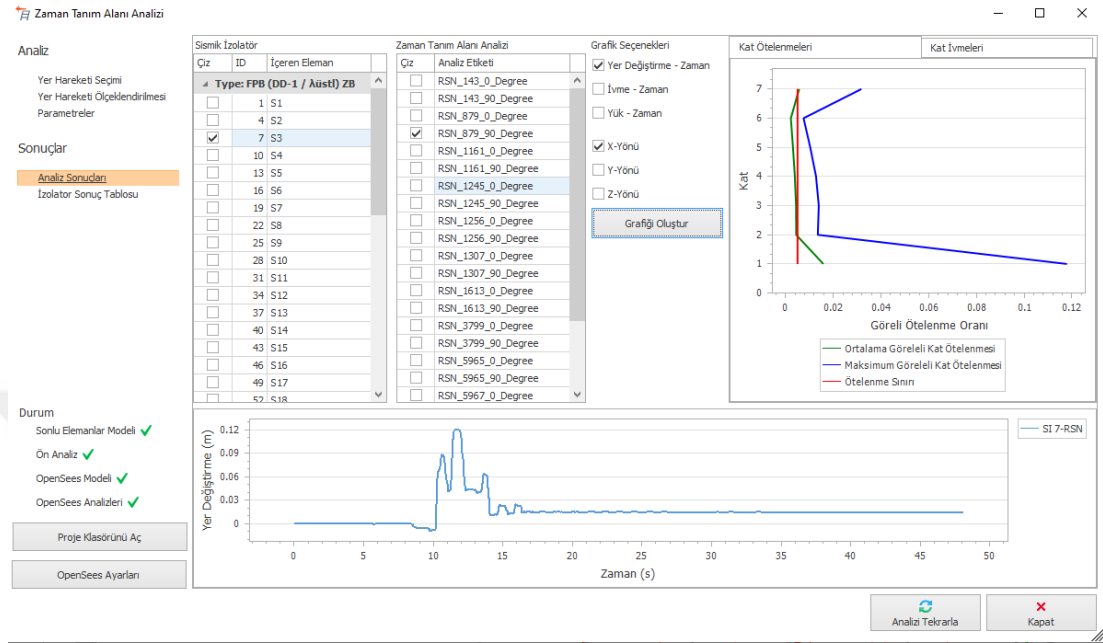
Şekil 7.16. 3D Model Zaman Tanım Analizi (Protastucture 2025)

Tablo 7.19. S1 Kolonu için Protastructure Analiz sonuçları

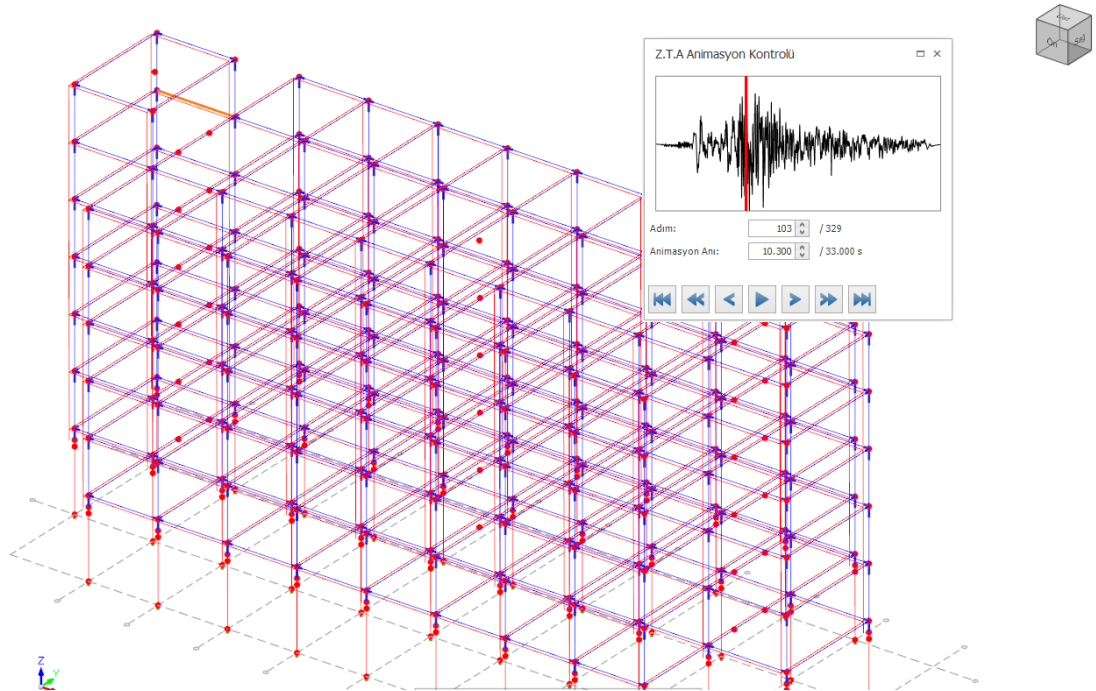
İzolator	X Eksen Yer Değiştirme (m)	Y Eksen Yer Değiştirme (m)	Vektörel Yer Değiştirme (m)	Maksimum Yer Değiştirme Limiti (m)	Kuvvet (x) (kN)	Kuvvet (y) (kN)	Vektörel Kuvvet (kN)	Analiz
1 S1	0.067568	0.018156	0.069964812	0.110000	331.95	428.42	468.75	RSN_143_0_Degree
1 S1	0.055515	0.018687	0.058575756	0.110000	441.51	335.01	474.26	RSN_143_90_Degree
1 S1	0.015819	0.087732	0.089146759	0.110000	377.63	150.44	394.21	RSN_879_0_Degree
1 S1	0.013065	0.086186	0.087170642	0.110000	157.44	368.05	397.98	RSN_879_90_Degree
1 S1	0.018818	0.053640	0.056845112	0.110000	163.65	143.60	211.26	RSN_1161_0_Degree
1 S1	0.050155	0.029945	0.058414271	0.110000	142.86	161.69	211.43	RSN_1161_90_Degree
1 S1	0.000937	0.001358	0.001649889	0.110000	106.00	132.77	149.55	RSN_1245_0_Degree
1 S1	0.003010	0.000853	0.003128531	0.110000	133.08	96.54	141.97	RSN_1245_90_Degree
1 S1	0.016283	0.001179	0.016325628	0.110000	135.87	132.73	173.03	RSN_1256_0_Degree
1 S1	0.001654	0.015931	0.016016631	0.110000	132.79	135.72	185.76	RSN_1256_90_Degree
1 S1	0.001058	0.000513	0.001175812	0.110000	119.72	58.08	121.80	RSN_1307_0_Degree
1 S1	0.000512	0.000892	0.001028498	0.110000	57.89	100.94	106.53	RSN_1307_90_Degree
1 S1	0.000530	0.000593	0.000795329	0.110000	59.94	67.13	80.52	RSN_1613_0_Degree
1 S1	0.000633	0.000526	0.000823022	0.110000	71.69	59.57	88.07	RSN_1613_90_Degree
1 S1	0.000294	0.000580	0.000650258	0.110000	33.31	65.62	65.65	RSN_3799_0_Degree
1 S1	0.000631	0.000305	0.000700847	0.110000	71.45	34.53	71.50	RSN_3799_90_Degree
1 S1	0.000208	0.000220	0.000302761	0.110000	23.49	24.92	30.41	RSN_5965_0_Degree
1 S1	0.000231	0.000185	0.000295949	0.110000	26.10	20.92	31.35	RSN_5965_90_Degree
1 S1	0.000260	0.000195	0.000325	0.110000	29.39	22.07	29.84	RSN_5967_0_Degree
1 S1	0.000228	0.000228	0.000322441	0.110000	25.83	25.80	25.94	RSN_5967_90_Degree
1 S1	0.000267	0.000232	0.000353713	0.110000	30.25	26.21	31.29	RSN_5993_0_Degree
1 S1	0.000238	0.000249	0.000344449	0.110000	26.89	28.18	32.58	RSN_5993_90_Degree

Program üzerinde yapılan karşılaştırmalı yer değiştirme zaman grafiğinde 12 cm'e varan yer değiştirme gözlemlenmiş ve ilgili durum SAP2000 sonuçlarıyla karşılaştırıldığında verilerin benzer (Merdiven Kulesi Deplasman Değeri 11.27 cm) değer olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7.17. Deprem kaydı incelendiğinde deprem ivmesinin pik yaptığı durumlardaki deprem kayıtlarındaki deplasman değerleri (6.18cm) SAP2000 modelindeki değer ile (5.74 cm) örtüştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 7.17. RSN879 Y Yönün Oluşturduğu Deplasman-Zaman Grafiği



Şekil 7.18. RSN-143 Kaydı için Oluşan deplasman Görünümleri

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, iki farklı zemin sınıfında, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü ve tek eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlü yapılar için izolatör sınır değerleri (alt sınır, nominal ve üst sınır) gözetilerek toplam 24 adet model oluşturulmuştur. Modeller, SAP2000 ve Protastructure 2025 programlarında tasarlanmış ve analiz edilmiştir. Yapıların analizinde, PEER Ground Motion veri tabanından seçilen 23 farklı deprem kaydı kullanılmış, bu kayıtlar DD-1 ve DD-2 tasarım deprem düzeyleri için ayrı ayrı ölçeklendirilerek, uygulanmıştır. Ölçeklendirme ve detaylandırma aşamalarında Seismosignal ve Seismomatch programları kullanılmıştır. SAP2000 programı kullanılarak, toplamda 24 adet model her bir model ayrı deprem kaydıyla farklı şekillerde analiz edilmek üzere toplamda 264 adet doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yapılmıştır.

Çalışmanın amacı, sismik izolatörlerin farklı zemin sınıflarındaki performansını incelemek, izolatör tiplerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarını belirlemek, yapı geometrisinin sistem davranışına etkisini değerlendirmek ve yakın fay durumunun, izolatör mekanik özelliklerine etkileri gözlemlemektir. İzolatörlerin farklı zemin sınıflarındaki davranışlarını daha net anlayabilmek için, bazı mekanik özellikleri sabit tutulurken, bazı özellikleri serbest bırakılmıştır. Analizler, doğrusal olmayan zaman tanım alanında gerçekleştirilmiş olup, deplasman ve kuvvet hesaplamalarında doğrudan integrasyon yöntemi (DIM), ivme hesabı ve izolatör deplasmanlarının belirlenmesinde ise hızlı doğrusal olmayan analiz yöntemi (FNA) kullanılmıştır.

Yakın fay durumunun incelenmek istenmesi nedeniyle çalışma bölgesinin MTA diri faylar haritasına göre özellikle puls etkisi içeren deprem kayıtları 11’li deprem kaydı kombinasyonlarına dahil edilmiştir. Tüm modeller için yükleme koşulları sabit tutulmuş, yalnızca model geometrisi, zemin sınıfları ve oluşturulan izolatör tipleri değiştirilerek bunların sistem performansına etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçları; yapıların periyotları, maksimum izolatör deplasmanları, taban kesme kuvvetleri ve görel kat ötelemeleri bakımından karşılaştırılmış, sonuçlar tablo ve grafiklerle değerlendirilmiştir. Sismik izolatörlü yapıların tasarımında, deprem etkisi altında kesintisiz kullanım performans düzeyinin sağlanması hedeflenmiştir.

Gerçekleştirilen sayısal analizlerde, özellikle yakın fay durumunun olduğu deprem kayıtlı analizlerde kritik bulgulara ulaşılmıştır. Tek eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerin ZC sınıfı zeminde maksimum yatay deplasmanlarının 110-120 mm seviyelerine ulaşması, sistemin beklenen davranışından önemli ölçüde saptığını göstermektedir. Yönetmelik gereği seçilen çoklu deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi sürecinde, özellikle birden fazla puls hızı içeren durumlar için (bu çalışmada en az üç adet puls hızlı deprem kaydı dahil edilmiştir.), elde edilen yüksek ortalama ölçek değerleri, izolatörlerde tasarım kapasitesini zorlayan deplasman talepleri oluşturmaktadır. Bu durum, özellikle uzun periyotlu izolasyon sistemlerinde, deprem moment büyüklüğünün artışıyla puls periyodu ve genliğinde belirgin artışlara yol açmaktadır. Kombinasyonlarda meydana gelen devasa ivmelere yol açan bu durum sorun oluşturmaktadır. Sistemin deprem kayıtlarında puls hızı bulunmayan kayıtlarda çok daha güvenli bir davranış sergilediği alınan kat ivmeleriyle belirlenmiştir. Sonuç olarak sistemlerin hesabında oluşan bu zorluklar, diri fay hattına yakın ve sismik izolatörlü tasarım düşünülen yapılarda sistem tasarımında hibrit çözümlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, aktif kontrol sistemleri ile desteklenmiş sismik izolatör uygulamalarının, deplasman genliklerinin kontrol edilebilir seviyelerde tutulması ve sistem rijitliğinin daha etkin yönetimi açısından optimum bir çözüm sunabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca ivme-zaman kayıtlarının yeni yönetmelikte belli standartlarda tutulması ve seçim kriterlerinin belirlenmesi, tasarım ve analiz çalışmaları için daha iyi bir kılavuz olacaktır. Bu düzenleme sayesinde zaman tanım alanında analizlerde

Kapsamlı analizler sonucunda gerçekleştirilen izolatör modellerinin periyot değerleri incelemesinde, hiçbir modelin izolatör mekanik özelliklerinde öngörülen periyot değerlerini mutlak doğrulukla karşılayamadığı tespit edilmiş olup, bu sapma teorik hesaplamalar ile deneysel sonuçlar arasındaki kaçınılmaz farklılıkların bir yansıması olarak değerlendirilmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için teorik olarak belirlenen sınır değerler, çoklu parametre analizleri kapsamında değerlendirildiğinde, izolatör sınır koşullarındaki oransal değişimlerin analiz sonuçlarında oluşan periyot değişkenliklerinde tutarlı bir eğilim sergilediği ve teorik hesaplanan izolatörlerin kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Teorik modelde ve analiz modelinde oransal olarak benzer bir korelasyon saptanması, tasarım parametrelerinin optimizasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini kanıtlar

niteliktedir. Sismik izolatörlerin temel amacı olan yapı periyodunun uzatılması ve yapının rezonans bölgesinden uzaklaştırılması hedefine ulaşılmıştır. Bu sayede, yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinde önemli ölçüde azalma sağlanmış ve yapının sismik performansında kayda değer bir iyileşme elde edilmiştir. Analiz sonuçları, tasarlanan izolatör sisteminin, yapının dinamik davranışını olumlu yönde etkileyerek, sismik yalıtım konusundaki temel hedefleri karşıladığını göstermektedir. Ayrıca Teorik modellerde hesaplanan model periyotlarının analizler sonucu oluşan periyotların birbirlerine olan yakınlığı incelendiğinde eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç Tipi izolatörlerin kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlere göre daha tutarlı olduğunu göstermiştir.

Model-1'in düzenli yapı geometrisine sahip olması nedeniyle, incelenen tüm deprem kayıtlarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yapının ilk iki modu beklendiği gibi x ve y yönlerinde baskın olarak gözlemlenmiş ve yapıda olağan dışı deplasman davranışlarına rastlanmamıştır. Model-2'nin analizlerindeyse simetrik olmayan ve değişken açıklıklara sahip bir yapısal modelin sismik izolatörlerin optimum dağılımda olmadığı ve yapı simetrisini bozduğu modellerde bile yapının hâkim modları x ve y yönlerinde oluşması başarılı izolatör davranışdır. Ancak burulma modu olan mod-3 değerimin mod-1'e oranı değeri, Model-1'in birinci ve üçüncü mod oranından önemli ölçüde üzerinde seyretmiştir. Bu farklılığa rağmen, yapının görece kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetlerinde belirgin tutarsızlık gözlemlenmemiş, her iki model de yönetmelik sınırlamaları neticesinde hesaplanan performans farkı oluşmamıştır. Yapı geometrisinin analizlerde tek fark oluşturduğu durum kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin burulma durumlarında daha iyi bir deplasman sağladığı gözlemdir.

Zemin sınıfı farklılıklarının izolatör tasarımı üzerindeki etkileri incelendiğinde, aynı ebatlarda analiz edilen izolatörler arasında önemli bulgular elde edilmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde, zemin sınıfı farkından oluşan yüksek ivme değerlerine karşı kurşun çekirdekli izolatörün ilk rijitliğinin bu ivme değerini sağlayabilmesi için, kurşun çekirdek çapı arttırılmalıdır, kauçuk sertlik değeri düzenlenmelidir ve elastomer malzemenin kayma dayanımı değiştirilmelidir. Buna karşın sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlerde yalnızca iki adet parametrenin

düzenlenmesinin yeterli olduğu belirlenmiştir. Eğrilik çapında yapılacak olan değişiklik ve eğrilik sürtünme katsayısının optimizasyonu yeterlidir.

Gerçekleştirilen bu çalışmanın ışığında, gelecek araştırmalarda özellikle odaklanılması gereken bazı kritik alanlar ortaya çıkmıştır. İzolatör sistemlerinin optimizasyonu kapsamında, yapay sinir ağları ve derin öğrenme algoritmaları kullanılarak izolatör mekanik özelliklerinin tahmin edilmesi ve parametrik optimizasyonunun gerçekleştirilmesi önemli bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, yakın fay etkisi altındaki yapılarda gözlemlenen yüksek deplasman taleplerinin kontrolü için, magnetoreolojik sönümleyiciler ile entegre edilmiş adaptif sürtünme kontrollü hibrit sistemlerin geliştirilmesi ve performanslarının deneysel olarak doğrulanması önerilmektedir. Zemin-yapı-izolatör etkileşiminin doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi ve farklı zemin profillerinin sistem davranışına etkisinin incelenmesi, özellikle yumuşak zemin koşullarında sistemin davranışının daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. İzolatör sistemlerinin uzun dönem performans değerlendirmesi kapsamında, çevresel etkilerin ve malzeme yaşlanmasının sistem karakteristiklerine etkisinin deneysel ve analitik yöntemlerle araştırılması, sürdürülebilir tasarım kriterleri açısından önem arz etmektedir. Ayrıca, çoklu afet senaryoları altında izolatör sistemlerinin bütünlük performans değerlendirmesi ve risk analizi metodolojilerinin geliştirilmesi, özellikle yüksek riskli bölgelerde bulunan kritik yapıların tasarımı için gerekli görülmektedir. Son olarak, farklı yapı tipolojileri için optimize edilmiş izolatör tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi ve yaşam döngüsü maliyet analizlerinin gerçekleştirilmesi, sistemin ekonomik ve teknik açıdan optimum çözümlerinin belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Bu önerilerin hayata geçirilmesi, sismik izolasyon teknolojisinin gelişimine ve depreme dayanıklı yapı tasarımı alanındaki bilgi birikimine önemli katkılar sunacaktır. İlerleyen dönemlerde, deneysel ve analitik çalışmaların entegrasyonu ile elde edilecek bulguların, tasarım yönetmeliklerine aktarılması ve pratik uygulamalara yansıtılması hedeflenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Tosun, M., ve Yalvaç, K. (1989). *Sumer, Babil, Assur Kanunları ve Ammi-Şaduqa Fermanı (2. Baskı)*. Türk Tarih Kurumu.
- [2] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- [3] Mum, N. (2006). *Betonarme köprülerde sismik izolasyon etkisinin incelenmesi ve bir uygulama örneği*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi]. İstanbul Kültür Üniversitesi Açık Erişim Sistemi <https://openaccess.iku.edu.tr/entities/publication/8347cf12-74f8-4f6e-b1bf-21f1cb33956f>
- [4] Öncü, S. (2011). *Puls periyotlarının sismik izolasyonlu binaların performansına etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Açık erişim Sistemi <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/152640>
- [5] Güner, G. (2012). *Bir hastane yapısının klasik yöntemle ve sismik izolatör kullanılarak tasarımının dinamik yönden karşılaştırılmasının yapılması*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Akademik Açık Arşiv <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/152640>
- [6] Doğru, A. (2014). *Hastane binasının sismik izolatörlerle depreme dayanıklı tasarımı*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Açık Erişim Sistemi <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/641902>
- [7] Sevim, E. (2016). *Sismik izolatörlerin bina türü yapıların dinamik davranışına etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=RJyJ6Zho03jm7wV5B86dkw&no=zekn2cPbl5Owfgd1OHHDNA>
- [8] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [9] Yurdakul, M. (2016). *Üç eğrilikli sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi ile sismik izolasyonu yapılan karayolu köprüsünün değişerek yayılan yer hareketi altında stokastik analizi*. [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Açık Erişim Sistemi <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/477662>
- [10] Çonay, B. (2021). *Yapıya özel sismik izolatör tiplerinin belirlenmesi ve test edilmesi*. [Yüksek Lisans, İstanbul Aydın Üniversitesi] Ulusal Tez Merkezi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

- [11] Kahvecoglu, B. (2021). *Sismik izolasyonlu binalarda eşdeğer doğrusal modellemenin iç kuvvetlere etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa]. Ulusal Tez Merkezi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [12] Kanbir, Z. (2020). *Kurşun Çekirdekdeki Isınmanın Sismik İzolasyonlu Yapıların Davranışına Etkisi*.
- [13] Özer, E. (2022). *Geleneksel ve taban izolatörlü betonarme binaların sismik davranışlarının karşılaştırılması*. [Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi]. Pamukkale GCRIS Veritabanı <https://gcris.pau.edu.tr/handle/11499/45633>
- [14] Öztürk, Ş. (2023). *TBDY 2018'e göre betonarme yapıların farklı tip sismik izolatör birimleri kullanılarak modellenmesi ve analizi*. [Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- [15] Baş, A. S. (2024). *Betonarme yapılarda sismik izolatör kullanımı ve sismik izolatör tiplerinin incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi]. Dspace@SUBÜ Kurumsal Akademik Arşiv <https://acikerisim.subu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.14002/2461>
- [16] Taipei 101 (Ayarlı Kütle Sönümleyici) Erişim Adresi: https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Taipei_101_Tuned_Mass_Damper.png
- [17] Coşkun, E. *Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyiciler [PowerPoint slayt]*. <https://www.scribd.com/document/393809026/Sismik-%C4%B0zolasyon>
- [18] Makris, N. (2019). Seismic isolation: Early history. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 48(2), 269-283.
- [19] Imperial Hotel Görseli Erişim Adresi: <https://tr.pinterest.com/pin/1113233601643019858/>
- [20] Doka Endüstri Kocaeli Üniversitesi Sismik İzolasyon Uygulaması Erişim Adresi: <https://www.dokaendustri.com.tr/pdf/izolatorler-Kocaeli.pdf>
- [21] Murota, N., Suzuki, S., Mori, T., Wakishima, K., Sadan, B., Tuzun, C., ve Erdik, M. (2021). Performance of high-damping rubber bearings for seismic isolation of residential buildings in Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 143, 106620.
- [22] Doğal Kauçuk İzolatör Görseli Erişim Adresi: <https://www.tiantiebuilding.com/products/natural-rubber-bearing.html>

- [23] Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Görseli Erişim Adresi: <https://www.arfen.com/Kopru-Genlesme-Profilleri-ve-Mesnetler-Dty.asp?LanguageID=1&cid=3&id=1528>
- [24] Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatör Görseli Erişim Adresi: <https://groupunique.com.tr/portfolio/sismik-izolasyon/>
- [25] Çapraz Raylı İzolatör Kesiti ve 3D Görünümü Görseli Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/370403681_Seismic_Isolation_Earthquake_Protection_of_Buildings
- [26] Ealangi, I. (2010). Earthquake protection of buildings by seismic isolation. devices and concepts. [Bildiri Sunumu]. The Young Researchers Conference, India.
- [27] Ealangi, I. O. N. U. T. (2010, January). Earthquake protection of buildings by seismic isolation. devices and concepts. In *Proceedings of the Young Researchers Conference, Mumbai, India*, 15-16.
- [28] Zulfakar, M. ve Karakaş, A. İ. (2022). Farklı Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin Yapı Sismik Davranışına Etkileri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(4), 1826-1837.
- [29] GERB İzolatörleri Görseli Erişim Adresi: <https://www.think-ing.de/unternehmen/gerb-schwingungsisolierungen-gmbh-co-kg-berlin>
- [30] X-Tip Metalik Sönümleyici Yerleşimi Görseli Erişim Adresi: <https://www.think-ing.de/unternehmen/gerb-schwingungsisolierungen-gmbh-co-kg-berlin>
- [31] Mohammadi, R. K., Nasri, A., ve Ghaffary, A. (2017). TADAS dampers in very large deformations. *International Journal of Steel Structures*, 17, 515-524.
- [32] Han, Q., Jia, J., Xu, Z., Bai, Y., ve Song, N. (2014). Experimental evaluation of hysteretic behavior of rhombic steel plate dampers. *Advances in Mechanical Engineering*, 6, 185629.
- [33] Javanmardi, A., Ghaedi, K., Ibrahim, Z., Huang, F., ve Xu, P. (2020). Development of a new hexagonal honeycomb steel damper. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20, 1-19.
- [34] Oh, S. H., Kim, Y. J., ve Ryu, H. S. (2009). Seismic performance of steel structures with slit dampers. *Engineering Structures*, 31(9), 1997-2008.
- [35] F. Behnamfar, M. Almohammad-albakkar. (2023). Development of Steel Yielding Seismic Dampers Used to Improve Seismic Performance of Structures: A

Comprehensive Review, *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 36(04), 746-775.

[36] Li, H. N. ve Li, G. (2007). Experimental study of structure with “dual function” metallic dampers. *Engineering Structures*, 29(8), 1917-1928.

[37] Li, H., Du, Y., Han, J., Li, F. ve Chi, P. (2024). Experimental and numerical study of low-yield-point steel corrugated pipe dampers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 180, 108615.

[38] Bajaj, M. ve Agrawal, P. (2022, November). A state-of-the-art review on metallic dampers based on different yielding mechanism. in symposium in earthquake engineering (pp. 569-586). Singapore: Springer Nature Singapore.

[39] Çaprazlar arasına yerleştirilmiş X Tip Sürtünmeli Sönümleyici Görseli Erişim Adresi: <https://quaketek.com/es/amortiguadores-de-friccion-rotacional/>

[40] Sato, D., Osabel, D. M., ve Kasai, K. (2022). Evaluation method for practical application of viscoelastic damper using equivalent sinusoidal waveforms of long-duration random excitations in along-and across-wind directions. *Engineering Structures*, 254, 113735.

[41] Janbazi Rokni, H. ve Tabeshpour M.R. (2019). Spectral fatigue analysis of jacket platform under wave load equipped with viscous damper. *Journal of Marine Science and Technology* 24, 855–870. <https://doi.org/10.1007/s00773-018-0592-9>

[42] Cammarere, J. (2019). *Architectural application of seismic control through tuned mass damping. Roof garden project on the Ex Ceat complex in Turin*. [Doktora Tezi, Torino Politeknik Üniversitesi]. Webthesis Libraries <https://webthesis.biblio.polito.it/13336/1/tesi.pdf>

[43] Ocak, A., Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., Kim, S., ve Geem, Z. W. (2022). *Optimization of tuned liquid damper including different liquids for lateral displacement control of single and multi-story structures*. *Buildings*, 12(3), 377.

[44] Heaton, T. H., Hall, J. F., Wald, D. J. ve Halling, M. W. (1995). Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical M w 7.0 blind thrust earthquake. *Science*, 267(5195), 206-211.

[45] Hall, J. F. (1998). Seismic response of steel frame buildings to near-source ground motions. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 27(12), 1445-1464.

[46] Alhan, C. ve Öncü-Davas, S. (2016). Performance limits of seismically isolated buildings under near-field earthquakes. *Engineering Structures*, 116, 83-94.

- [47] Şahin, F. (2008). *Sönümün sismik taban izolasyonu ve sönümleyicilerin kullanıldığı binaların deprem performansına etkisi* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Açık Erişim Sistemi.
- [48] American Society of Civil Engineers (ASCE). (2022). ASCE/SEI 7-22 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. <https://amplify.asce.org/content/standard/9780784415788/part/provisions/standard-chapter/s17>
- [49] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). Özellik Arz Eden Binaların Tasarım Gözetimi ve Kontrolü Hizmetlerine Dair Yönetmelik. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/09/20220928-1.htm>
- [50] Güler, M. D. ve Erkuş, B. (2017). Türk bina deprem yönetmeliği kapsamında performansa dayalı tasarım sismik taban yalıtımı ve PERFORM-3D ile mühendislik uygulamaları. [PowerPoint Slayt]. Erişim Adresi: https://web.itu.edu.tr/bariserkus/pdf/GulerErkus_Baselso-Intro.pdf
- [51] Arguç, S. (2015). *Effects of lead core heating on the superstructure response of seismic isolated buildings* [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi]. ProQuest <https://www.proquest.com/docview/2564172266?fromopenview=true&pq-origsite=gscholar&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- [52] Madeni Teknik Arama. Diri Fay Hatları <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>